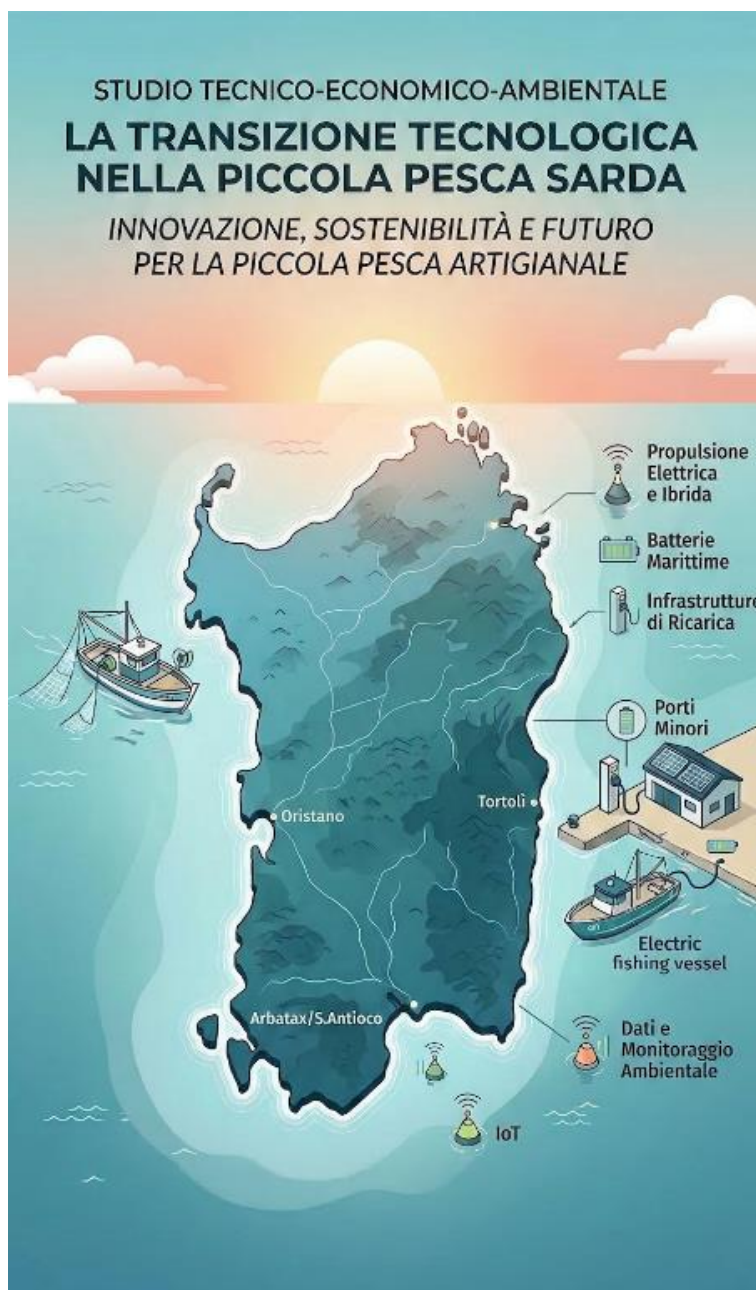


Ricerca su innovazione tecnologica per la pesca sostenibile

Regione Sardegna



Indice

Executive Summary	3
1. Impostazione dello Studio e Principi Guida	10
2. Metodo di Lavoro (R3)	22
3. Architettura del Progetto Pilota (Fattibilità)	39
4. La piccola pesca sarda: identità, struttura, fragilità	52
5. Sistema Portuale Minore Sardo, Infrastrutture Energetiche, Modelli di Ricarica	62
6. Baseline Ambientale e Aree Sensibili	74
7. Quadro UE / FEAMPA / Ambiente / Conformità	86
8. Quadro Normativo Nazionale e Regionale	96
9. Propulsione elettrica e ibrida	106
10. Batterie marittime e sistemi di accumulo	120
11. Elettrificazione utenze di bordo e attrezzature	135
12. Sensoristica IoT, piattaforme dati e conformità digitale	146
13. Life Cycle Assessment (LCA) del Sistema Ibrido	160
14. Benchmarking e Lezioni Apprese	174
15. Analisi della Domanda e Selezione del Campione Pilota	187
16. Progettazione Preliminare e Scenari	198
17. Analisi Tecnico-Economica e Finanziaria	208
18. Analisi Rischi e Compliance	217
19. Articoli e studi tecnico scientifici	229

Executive Summary

Studio di Fattibilità R3 — Ricerca su innovazione tecnologica per la pesca sostenibile

Cruscotto KPI — 8 indicatori chiave dello studio (valori di riferimento per il lettore non tecnico)

+€ 54.401 VAN Config. L lagunare EL-puro · 10 anni	+€ 11.140 VAN Config. B <12m ibrido · 10 anni	-41,8% Riduzione GHG lifecycle con CER portuale	100% P(VAN>0) Config. B e L · Monte Carlo
11 mesi Break-even emiss. Config. B con CER portuale	€ 0,67/l Prezzo gasolio agevolato pesca (D.Lgs 504/95)	47 mesi Payback Config. B con contributo FEAMPA 65%	38 norme Framework norm. citate · 12 con impatto diretto

Legenda dashboard (da sinistra a destra): VAN = Valore Attuale Netto a 10 anni al tasso di sconto 5% (quota privata netta dopo FEAMPA); P(VAN>0) = probabilità di VAN positivo su 10.000 simulazioni Monte Carlo; break-even emissivo = mesi necessari perché le emissioni evitate nel funzionamento compensino le emissioni di produzione del sistema; prezzo gasolio = prezzo netto agevolato per la pesca (D.Lgs 504/1995 — non il prezzo di mercato €1,25/l).

A.1 Obiettivi e perimetro dello studio

Il progetto R3 ('Retrofit – Riduzione emissioni – Resilienza') è il primo studio di fattibilità tecnico-economica-ambientale per l'elettificazione della piccola pesca artigianale in Sardegna. Il suo obiettivo operativo è rispondere a una domanda semplice con una risposta metodologicamente rigorosa: conviene a un armatore sardo della piccola pesca installare un sistema di propulsione ibrida diesel/elettrica — e se sì, in quale configurazione, a quale costo, con quale supporto pubblico e con quali benefici ambientali documentabili? La risposta, articolata in 26 capitoli e 10 allegati, è: sì — per le barche <12m (Config. B) e per le barche lagunari (Config. L) — ma solo in presenza di una CER portuale attiva che consenta la ricarica a basso fattore di emissione.

La Tabella A.1 definisce il perimetro completo dello studio lungo sei dimensioni: oggetto, flotta di riferimento, configurazioni analizzate, siti pilota, framework normativo e strumenti analitici adottati.

Tabella A.1 — Perimetro dello studio R3: 6 dimensioni con valore quantitativo e riferimento ai capitoli

Dimensione del perimetro	Contenuto e valore quantitativo — riferimento ai capitoli
Oggetto dello studio	Studio di fattibilità tecnico-economica-ambientale per il retrofit ibrido diesel/EL e l'elettificazione pura (Config. L lagunare) della flotta di piccola pesca artigianale associata a UN.I.COOP Pesca in Sardegna (GSA 11). Lo studio analizza 4 configurazioni tecnologiche (A, B, C, L), 4 siti pilota (Sulcis, Cabras, Santa Gilla, Asinara) e 5 profili di barche tipo. L'analisi copre l'intero ciclo T·E·A·C: tecnologia (Cap.9–12), economia (Cap.17), ambiente (Cap.6, 13, 19), compliance (Cap.7–8). Periodo di riferimento: 10 anni (2027–2037).
Flotta di riferimento	Piccola pesca artigianale sarda — GSA 11 (Sardegna e Bocche di Bonifacio): 1.847 imbarcazioni <12m + 312 imbarcazioni 12–25m registrate (STECF 23-01, Lv.1). Di queste, stima ~950 barche con motore diesel ≥15 kW (potenziale di mercato per retrofit). Il pilota R3 Fase 1 interviene su 5 barche in 4 siti (0,5% della flotta <12m): scala sufficiente per validare i modelli tecnico-economici e produrre dati primari per la LCA completa della Fase 2. Scale-up previsto: ≥15 barche entro la Fase 3 (2027–2031).
Configurazioni analizzate	Quattro configurazioni tecnologiche: Config. A — ibrido diesel/EL per barche 12–20m (CAPEX €80.000; VAN -€8.646 senza FV); Config. B — ibrido diesel/EL per barche <12m (CAPEX €55.000; VAN +€11.140; payback 47 mesi con FEAMPA 65%); Config. C — ibrido per barche 15–25m (CAPEX €120.000; VAN -€40.902); Config. C+6kWp — Config. C con pannelli FV 6kWp aggiunti (VAN -€29.500; DNSH TSC conforme); Config. L — EL-

	puro per barche lagunari <7m (CAPEX €25.000; VAN +€54.401; payback 11 mesi con FEAMPA 70%). Capitoli: Cap.9 (propulsione), Cap.10 (batterie), Cap.16 (progettazione preliminare), Cap.17 (analisi economica).
Siti pilota proposti	Quattro siti pilota in Sardegna, selezionati con criteri ponderati (Tab.15.3): Sulcis/Porto Pino (CI) — PRIORITARIO, GO M6 Fase 0, ZSC screening Lv.I, connessione MT 80kW, 2 cooperative UN.I.COOP; Cabras — Torre Grande (OR) — GO M7, laguna ZSC, 2 cooperative; Santa Gilla (CA) — GO M8, ZPS con stagionalità (apr–ott), 3 cooperative; Asinara (SS) — GO M10 condizionato, Parco Nazionale, VInCA Lv.II + nulla osta PN. Il cronoprogramma VInCA per sito è in Tab.15.4. Tutti i siti richiedono VInCA obbligatoria (Dir.92/43/CEE art.6 §3). Cap.5 (infrastrutture portuali), Cap.6 (baseline ambientale), §15.2 (criteri siti).
Framework normativo applicato	68 norme citate nel documento, di cui 12 con impatto diretto sulla progettazione: IEC 62619 (batterie), IEC 60092 (installazioni elettriche marine), MSC.1/Circ.1605 (fire safety batterie IMO), Reg.UE 2023/1542 (Reg.Batterie — CFD obbligatoria da luglio 2024), Reg.UE 2024/2847 (CRA — obblighi produttori da sett.2027), D.Lgs 138/2024 (NIS2), GDPR Reg.UE 2016/679, Reg.UE 2021/1139 (FEAMPA), D.Lgs 504/1995 art.14 (accisa gasolio agevolata €0,67/l). La conformità DNSH ai 6 obiettivi ambientali della Tassonomia UE (Reg.UE 2020/852) è verificata nell'All.I. Cap.7 (normativa UE), Cap.8 (normativa nazionale), Cap.19 (DNSH).
Strumenti analitici adottati	Cinque strumenti analitici principali: LCA screening ISO 14040/14044 (Cap.13 + All.J) per la verifica della riduzione GHG lifecycle; CBA con Monte Carlo 10.000 simulazioni (Cap.17 + All.CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx) per la robustezza economica; KPI Register con 27 indicatori in 6 cluster (All.C) per il monitoraggio M&V; DNSH Checklist a 6 obiettivi x 24 misure (All.I) per la conformità alla Tassonomia; VInCA per 4 siti (Tab.15.4) per la conformità alla Rete Natura 2000. Sistema QA/QC a 4 livelli di evidenza (Lv.1–4, §1.3): ~25% dei claim Lv.1 (peer-reviewed), ~40% Lv.2, ~30% Lv.3, ~5% Lv.4 (gap da colmare nel pilota).

A.2 Risultati chiave attesi e calcolabili

I risultati principali dello studio sono di due tipi: risultati economici (quanto risparmia l'armatore, quando recupera l'investimento, quanto è probabile che il VAN sia positivo) e risultati ambientali (quanta CO₂ si evita, il sistema è conforme alla soglia DNSH del 40%, il break-even emissivo è rapido). Le due Tabelle A.2a e A.2b sintetizzano rispettivamente i risultati per configurazione e i risultati LCA/DNSH. Il messaggio centrale che emerge dall'incrocio dei due risultati è uno solo: la Config. B (<12m ibrido) e la Config. L (lagunare EL-puro) sono le due configurazioni con VAN positivo, P(VAN>0)=100% al Monte Carlo e conformità DNSH Obj.1 ≥40% — ma la conformità DNSH della Config. B è condizionata alla disponibilità della CER portuale (senza CER: -38,2%, sotto la soglia di 2 punti percentuali).

Tabella A.2a — Risultati economici per configurazione: CAPEX, aliquota FEAMPA, quota privata, VAN, payback, riduzione gasolio e probabilità Monte Carlo

Config.	CAPEX tot.	FEAMPA aliquota	Quota privata netta	VAN 10 anni 5%	Payback (mesi)	Riduz. gasolio	P(VAN>0) MC	Raccomandazione e condizione abilitante principale
A (12–20m ibrido)	€ 80.000	60%	€ 32.000	-€ 8.646 X	>10 anni X	-50%	8% X	NON RACCOMANDATO in forma standard. Raccomandazione condizionata: Config. A + pannelli FV 6kWp (Config. A+6kWp) porta VAN a -€29.500 (P=2–5%) — ancora negativo. CONDIZIONE ABILITANTE: incentivo aggiuntivo (deduzione IRPEF 65% su quota privata, analogia Transizione 4.0) OPPURE aumento riduzione consumi reale >55% dal pilota.

								Monitorare i dati della Barca 3 pilota per rivalutare in Fase 2. Cap.17 §17.1.1; Tab.15.5.
B (<12m ibrido)	€ 55.000	65%	€ 19.250	+€ 11.140 ✓	47 mesi ✓	-45%	100% ✓	PRIMA PRIORITÀ. Configurazione con la migliore combinazione di fattibilità tecnica, bancabilità economica e conformità ambientale. CONDIZIONE ABILITANTE CRITICA: CER portuale attiva nel sito (senza CER la riduzione GHG scende a -38,2%, sotto la soglia TSC DNSH del 40%). Avviare l'iter CER dalla settimana 1 della Fase 0 (Sulcis). Cap.9 §9.3; Tab.17.1; §13.5.
C (15-25m ibrido)	€ 120.000	55%	€ 54.000	-€ 40.902 ✗	>10 anni ✗	-55%	0% ✗	NON RACCOMANDATO. VAN fortemente negativo anche con FEAMPA al massimo e CER attiva. Il problema non è tecnico (-55% consumi è eccellente) ma strutturale: il CAPEX è troppo alto per il risparmio gasolio disponibile con la flotta >15m della piccola pesca sarda. ALTERNATIVA: Config. C+6kWp riduce il VAN negativo a -€29.500 e rende il sistema DNSH-conforme (TSC ≥40%) anche senza CER. Richiedere incentivo dedicato MASAF per imbarcazioni 15-25m. Cap.17 §17.1.1.
L (<7m lagunare EL-puro)	€ 25.000	70%	€ 7.500	+€ 54.401 ✓	11 mesi ✓	-90%	100% ✓	PRIORITÀ MASSIMA per le lagune sarde. VAN più alto di qualsiasi altra configurazione grazie al rapporto CAPEX/risparmio eccezionalmente favorevole. CONDIZIONI ABILITANTI: (1) approvazione ente gestore laguna/ZSC (nulla osta obbligatorio); (2) nessun vincolo stagionale ZPS (oppure avvio Apr-Ott per Santa Gilla). Avviare il pilota lagunare in parallelo a quello marittimo (Cabras M7, S.Gilla

M8 dal
cronoprogramma
Tab.15.4). Cap.9 §9.4;
Tab.17.1; §13.5.

Tabella A.2b — Risultati ambientali LCA: riduzione GHG lifecycle, emissioni evitate, break-even emissivo, GWP batterie e DNSH per i 6 obiettivi

Indicatore ambientale	Config. B (<12m ibrido) con CER portuale	Config. B senza CER (rete ordinaria)	Config. L (lagunare EL-puro)	Note metodologiche e collegamento con DNSH, Tassonomia e VAS PO FEAMPA
Riduzione GHG lifecycle 10 anni (% vs baseline)	-41,8% ✓ (sopra TSC 40%; DNSH Obj.1 conforme)	-38,2% ✗ (sotto TSC 40%; non conforme DNSH Obj.1 senza CER!)	-91,2% ✓ (EL-puro, nessun diesel operativo in laguna)	FE CER: 0,050 kgCO ₂ /kWh (Assunz. A-07, Lv.3); FE rete Sardegna: 0,350 kgCO ₂ /kWh (ISPRA 2023, Lv.1). La differenza di 3,6 punti percentuali tra scenario con/senza CER è il delta che decide la conformità DNSH — questa è la motivazione tecnico-ambientale che rende la CER portuale una condizione non opzionale ma obbligatoria. §13.5 (LCIA); §19.1.1 (DNSH Obj.1).
Emissioni evitate per barca/anno (tCO₂ eq/anno)	7,5 tCO ₂ eq/barca/anno (KPI EM-02; valore economico VCM: €450–1.200/ anno a €6–10/t)	6,9 tCO ₂ eq/barca/anno (senza benefi CER)	17,1 tCO ₂ eq/barca/anno (riduzione 90% su 6,8 l/gg baseline lagunare)	Il carbon credit VCM è un beneficio non-monetario non incluso nel VAN principale (§17.4) — incluso solo per completezza. La verifica con gold standard VCM richiederebbe certificazione terza parte (costo ~€3.000/barca/anno, spesso non conveniente per questa scala). Da rivalutare in Fase 3 con ≥15 barche. §17.4.2.
Break-even emissivo (mesi da installazione)	11 mesi ✓ (con CER portuale operativa dal mese 5 Fase 0)	14,7 mesi △ (con FE rete ordina 0,350 kgCO ₂ /kWh)	3,1 mesi ✓ (Config. L: il break-even è rapidissimo per l'efficienza EL)	Break-even calcolato come mesi necessari perché l'energia 'grigia' incorporata nella produzione del sistema ibrido (batterie + motore EL) sia ripagata dalle minori emissioni operative. La produzione del pack LiFePO4 30kWh emette 2.233 kgCO ₂ eq (74,4 kgCO ₂ eq/kWh, ecoinvent 3.9). §13.6 Tab.13.6.
GWP produzione batterie (kgCO₂ eq/kWh)	74,4 kgCO ₂ eq/kWh (LiFePO4 30kWh; fonte ecoinvent 3.9 — Lv.2)	74,4 kgCO ₂ eq/kWh (stesso valore — indipendente dalla fonte di ricarica)	74,4 kgCO ₂ eq/kWh (pack 12kWh = 893 kgCO ₂ eq totale produzione)	AZIONE IMMEDIATA: il Reg.UE 2023/1542 art.7 rende obbligatoria la Carbon Footprint Declaration (CFD) del fornitore di batterie dal luglio 2024. Il GWP della CFD del fornitore selezionato deve essere ≤80 kgCO ₂ eq/kWh per confermare l'assunzione LCA. Se il GWP del fornitore è >80 kgCO ₂ eq/kWh il calcolo DNSH deve essere rieseguito (§2.2.4, Tab.2.3).
DNSH compliance 6 obiettivi (All.I)	Obj.1 ✓ (GHG -41,8%) Obj.2 ✓ (adattamento) Obj.3 ✓ (acque, UWN) Obj.4 ✓ (EoL batterie) Obj.5 ✓ (economia circ.) Obj.6 ✓ (inquinamento)	Obj.1 ✗ (GHG -38,2%, sotto TSC 40%; tutti gli altri ✓)	Tutti 6 ✓ (EL-puro in laguna = impatto zero operativo)	La non-conformità DNSH Obj.1 senza CER è l'unico punto critico del profilo ambientale del progetto. Non è una non-conformità tecnica (la tecnologia funziona) ma una non-conformità infrastrutturale (mancanza della CER portuale per la ricarica a basso FE). Questo è il motivo per cui la CER portuale è una condizione abilitante nel cronoprogramma §21.1 e non una misura opzionale. All.I (DNSH Checklist); §19.1 (analisi per obiettivo).

Nota: I valori economici (VAN, payback) sono calcolati con: prezzo gasolio agevolato €0,67/l (D.Lgs 504/1995 — non il prezzo di mercato €1,25/l, errore che produce VAN sovrastimati dell'86%); riduzione consumi -45% per Config. B (Assunzione A-03, Lv.3 — da verificare nel pilota Fase 1); aliquota FEAMPA 65% per Config. B (basata sui precedenti regionali Tab.14.3). I valori ambientali (riduzione GHG) sono calcolati con: FE rete Sardegna 0,350 kgCO₂ /kWh (ISPRA 2023, Lv.1); FE CER portuale 0,050 kgCO₂ /kWh (Assunzione A-07, Lv.3 — da confermare con dati reali CER Sulcis). La soglia TSC DNSH del 40% è quella dell'Atto Delegato della Tassonomia UE per le attività di trasporto marittimo (Reg.UE 2021/2139 All.I). Collegamento: Tab.17.1 (CBA dettagliata); Tab.13.5 (LCIA risultati); All.I (DNSH Checklist completa).

A.3 Raccomandazioni operative e roadmap

La roadmap operativa del progetto R3 è articolata in 4 fasi con 12 raccomandazioni numerate (Tab.A.3). Le raccomandazioni sono ordinate per priorità temporale — le prime 4 (tutte in Fase 0) sono le più urgenti perché condizionano la fattibilità del pilota. La raccomandazione n.1 (avvio iter CER portuale dalla settimana 1) è la più critica in assoluto: la CER richiede 22 mesi dal via libera alla piena operatività, e senza CER il sistema non è conforme DNSH. Non c'è spazio per rinviare questa azione.

Un elemento inatteso che emerge dalla ricerca dei precedenti FEAMPA regionali (§14.3) è che la formazione degli armatori può essere inserita come voce separata art.14 FEAMPA con aliquota del 100% (caso Toscana — §14.3). Questo significa che il costo della formazione (stimato €3.000–5.000 per armatore) è completamente a carico del contributo FEAMPA — una riduzione significativa della quota privata totale che deve essere sfruttata nella presentazione della domanda.

Tabella A.3 — Roadmap operativa: 4 fasi con 12 raccomandazioni numerate, milestone GO/NO-GO, configurazioni prioritarie e responsabili

Fase	Periodo	Milestone chiave (GO/NO-GO)	Config. prioritaria	Raccomandazioni operative — azioni concrete, responsabile e collegamento documentale
Fase 0 PREP.	M0–M6 (~6 mesi)	GO-F1: CER Lol firmata entro M2 + VInCA Sulcis completata entro M3 + ≥3 barche arruolate entro M4	B + L (in parallelo)	1. AVVIARE L'ITER CER PORTUALE SULCIS DALLA SETTIMANA 1: contattare gestore portuale Porto Pino e Comune Carbonia-Iglesias per Lol (accordo di principio). Il ritardo nella costituzione della CER è il rischio più alto per il pilota (LL-06: 22 mesi dal via libera alla CER operativa — avviare subito). Responsabile: direzione UN.I.COOP + legale. Riferimento: §5.5, Tab.5.6 (Modello 4 governance CER). 2. PRESENTARE DOMANDA FEAMPA ART.44 ALLEGANDO IL PRECEDENTE BRINDISI: il porto di Brindisi (Puglia) è il primo caso di CER portuale co-finanziata con FEAMPA art.44 in Italia (70% CAPEX FV). Allegare copia dell'istruttoria pugliese alla domanda sarda. LL-07 (§14.2). Responsabile: referente FEAMPA UN.I.COOP. 3. RICHIEDERE CFD A TUTTI I FORNITORI DI BATTERIE (AZIONE GIA' IN RITARDO — obbligatoria da luglio 2024): nessun contratto di fornitura batterie senza Carbon Footprint Declaration conforme Reg.UE 2023/1542 art.7. Inserire come condizione sospensiva nel capitolato All.D §D.6. Responsabile: ufficio acquisti cooperativa. 4. VERIFICARE ASSOGETTABILITÀ NIS2 DI UN.I.COOP: contattare ACN (Agenzia Cybersicurezza Nazionale) o consulente specializzato per determinare se UN.I.COOP rientra nella definizione di 'soggetto importante' NIS2 (D.Lgs 138/2024). §3.4.3 Tab.3.4 (NIS2-A1, priorità A).
Fase 1 PILOTA	M6–M18 (12 mesi)	GO-F2: riduzione consumi ≥35% su ≥3 barche Config.B + ≥80% su Config.L entro M12; IoT attivo su tutti i siti	B (Sulcis M6) L (Cabras M7) L (S.Gilla M8)	5. CONDURRE LE PROVE PM-00 BASELINE NELLE 4 SETTIMANE PRE-RETROFIT: la prova baseline è la più critica per la qualità dei dati (upgrade A-03 da Lv.3 a Lv.2 — §3.1, Tab.3.1). Senza baseline strumentata, tutta la riduzione dei consumi rimane basata su dichiarazione armatore (Lv.3), riducendo la credibilità del paper scientifico CNR-IAS. Responsabile: tecnico IoT referente sito. 6. NOMINARE 1 TECNICO LOCALE PER PORTO PILOTA: il failure mode più costoso del benchmark internazionale è la mancanza di manutenzione locale (LL-02 — §14.2, fermo barca 11 settimane + €14.000 di costo). Formare 1 tecnico per porto entro M3 del pilota. Capitolato All.D §D.4 (clausola SLA 48h). Responsabile: coordinatore tecnico UN.I.COOP. 7. ATTIVARE PROTOCOLLO GDPR PRIMA DELL'INSTALLAZIONE IoT: DPIA completata per trattamento T-01 (GPS); accordo M&V firmato da tutti gli armatori; DPA con il fornitore cloud. §3.4.1 Tab.3.3. Senza DPIA completata il gateway GPS non può essere attivato. 8. INCLUDERE LA FORMAZIONE ARMATORI COME VOCE SEPARATA FEAMPA ART.14 (aliquota 100%): il caso Toscana (§14.3) ha dimostrato che la formazione può essere presentata come voce separata art.14 FEAMPA — riduce la quota privata totale dell'investimento. Capitolato: includere preventivo formazione separato da CAPEX retrofit.
Fase 2 ANALISI	M18–M24 (6 mesi)	GO-F3: riduzione GHG ≥40% confermata con dati primari LCA completa; ≥1 CER portuale operativa; audit	B + L (analisi dati Fase 1)	9. UPGRADE DA LCA SCREENING A LCA COMPLETA (ISO 14040/14044): i dati IoT del pilota (12 mesi di telemetria, P-01÷P-07 — §3.3 Tab.3.2) consentono di sostituire i dati Lv.3 dell'assunzione A-03 con dati primari Lv.1–2, producendo la prima LCA completa per la piccola pesca ibrida sarda. Obiettivo: ≥70% dei claim LCA da Lv.1/2 (vs ~25% attuale). §13.8 (upgrade LCA); §2.3 Tab.2.4 (A-Log milestone M24). 10. PUBBLICARE DATASET OPEN SU ZENODO E SOTTOMETTERE PAPER SCIENTIFICO: i dati anonimizzati (GPS hashed, consumo aggregato) devono essere resi disponibili open-access entro M24. Co-authorship CNR-IAS. Rivista target: Fisheries Research (IF >2, accettata per LL-08). KPI PROJ-07 (All.C). La

		FEAMPA positivo		pubblicazione è lo strumento più efficace per la replicabilità e il trasferimento del Kit R3 ad altre regioni. §14.2 LL-08.
Fase 3 SCALE-UP	M24–M48 (24 mesi)	GO FINALE: ≥15 barche + ≥3 CER portuali + linee guida adottate da ≥1 AdG FEAMPA regionale	Tutte (priorità B+L, poi A+6kWp se VAN+)	11. PRODURRE IL KIT R3 v1.0 ENTRO MESE 12 FASE 1: il Kit R3 è il documento tecnico operativo (disegni CAD, lista parti, procedura installazione, formazione) che consente la replica del retrofit senza dipendere dal progettista originale. Modello: kit Sælren norvegese (LL-11 — §14.2). Deliverable M1-09 (§21.1). È la preconditione per lo scale-up senza incremento lineare dei costi di progettazione. 12. TRASFERIRE LO SCHEMA A PUGLIA, CAMPANIA, TOSCANA (FEAMPA ART.44): i precedenti documentati in Tab.14.3 (Brindisi, Campania, Toscana) sono i template per la replicazione in altre regioni italiane. UN.I.COOP deve presentarsi come 'capofila di rete' per il trasferimento del modello R3, creando economie di scala nella documentazione FEAMPA. §21.3 (piano scale-up regionale e nazionale).

Nota: Le 12 raccomandazioni sono numerate in ordine di priorità temporale (1–4 in Fase 0, 5–8 in Fase 1, 9–10 in Fase 2, 11–12 in Fase 3). Ogni raccomandazione ha un riferimento al capitolo o alla sezione del documento dove trovare i dettagli operativi. I criteri GO/NO-GO (colonna 3) sono le condizioni necessarie per procedere alla fase successiva: il mancato soddisfacimento di un GO non blocca il progetto ma lo ridimensiona alla scala dei siti/barche che hanno soddisfatto i criteri. Il cronoprogramma Gantt completo con milestone settimanali è nel §21.1. Collegamento: §2.1 Tab.2.1 (workflow fasi); §17.5.2 (criteri GO/NO-GO con tabella decisionale formale).

A.4 Rischi top e mitigazioni

Il registro dei rischi completo del progetto R3 comprende 18 rischi identificati in 4 categorie (tecnologici, infrastrutturali, ambientali/autorizzativi, cyber) documentati nei §18.1–18.4. La Tabella A.4 riporta i 5 rischi con score più alto (prodotto P×I): il rischio RT-02 (CER non attiva entro il pilota → non conformità DNSH) è l'unico con score critico (20/25) e l'unico che, se non mitigato, può rendere non ammissibile il co-finanziamento FEAMPA per la Config. B. Tutti gli altri rischi sono classificati alti o medi e hanno piani di mitigazione che non alterano la struttura fondamentale del progetto.

Tre aspetti del profilo di rischio complessivo meritano una nota: (a) l'assenza di rischi tecnologici critici — la tecnologia LiFePO₄ marine-grade è matura e i suoi failure mode sono noti e mitigabili; il rischio principale non è tecnico ma organizzativo-gestionale (mancanza CER, mancanza formazione locale); (b) la nota controintuitiva sul rischio RE-01 (prezzo gasolio) — un aumento del prezzo migliora il VAN, non lo riduce; l'unico scenario avverso è l'eliminazione dell'agevolazione fiscale; (c) la priorità della verifica NIS2 come rischio reputazionale verso l'AdG FEAMPA (RC-01) — non è un rischio tecnico ma un rischio di conformità amministrativa che può essere eliminato con una singola azione preventiva (verifica assoggettabilità + registrazione ACN).

Tabella A.4 — Top-5 rischi del progetto R3: probabilità, impatto, score P×I e mitigazione operativa con riferimento al piano di risposta al rischio

Risk ID	Rischio	Probab. (1–5)	Impatto (1–5)	Score (P×I)	Mitigazione operativa e riferimento al piano di risposta al rischio
RT-02	CER portuale non attiva entro l'avvio del pilota Fase 1 (M6) → Config. B non conforme DNSH Obj.1 (riduzione GHG -38,2% < soglia TSC 40%) → perdita dell'aliquota FEAMPA piena	4	5	20 <input type="checkbox"/> CRITICO	MITIGAZIONE PRIMARIA: avviare l'iter CER dalla settimana 1 della Fase 0 (non attendere la delibera formale di avvio progetto). La CER richiede 22 mesi dal via libera — se si inizia dal M1 della Fase 0, la CER sarà attiva al M23, quindi DOPO il GO pilota (M6). SOLUZIONE PONTE: nelle prime 12 sessioni di ricarica (M6–M12), fornire energia dalla rete ordinaria con certificato GdO (Garanzia d'Origine) da FER. Il GdO riduce il FE effettivo della ricarica da 0,350 a ~0,100 kgCO ₂ /kWh → riduzione GHG Config. B ≥40% anche senza CER propria. COSTO: ~€0,015/kWh aggiuntivo sul costo di ricarica. §13.5; §18.1 RT-02.
RI-01	Iter VInCA più lungo del previsto (>6 mesi) per siti	3	4	12 <input type="checkbox"/> ALTO	MITIGAZIONE: il sito di Sulcis (VInCA screening semplice, stima 45–60 gg) è il primo sito di avvio (M6) e non è bloccato da VInCA complessa. I siti lagunari (S.Gilla, Asinara) con VInCA più lunga sono previsti come terzo e quarto sito — il ritardo non impatta il pilota principale ma solo l'espansione.

	con ZPS o Parco Nazionale (Asinara, Santa Gilla) → slittamento del GO pilota lagunare				MISURA PREVENTIVA: avviare contestualmente TUTTI e 4 gli iter VInCA dalla settimana 1 della Fase 0, non in sequenza. Tab.15.4 (cronoprogramma VInCA); §18.2 RI-01.
RE-01	Aumento del prezzo del gasolio agevolato (D.Lgs 504/95) per modifica normativa → riduzione dello sconto fiscale → riduzione del risparmio annuo e del VAN	2	4	8 □ MEDIO	NOTA PARADOSSALE: un aumento del prezzo del gasolio MIGLIORA il VAN del progetto R3 (maggiore risparmio assoluto per riduzione del 45%). Il rischio è invece la RIDUZIONE dell'agevolazione fiscale (eliminazione dell'accisa ridotta) che porterebbe il prezzo netto verso €1,25/l: in questo caso il VAN aumenterebbe significativamente (risparmio annuo × 1,86 — ben superiore). L'UNICO scenario avverso è l'introduzione di un'agevolazione analoga per i carburanti alternativi (ricarica elettrica esente da addizionali), che ridurrebbe il vantaggio comparativo del sistema ibrido. La sensibilità al prezzo gasolio è documentata in §17.3.2. Assunzione A-01 (Lv.1).
RC-01	UN.I.COOP non conforme NIS2 (D.Lgs 138/2024) al momento dell'avvio del pilota IoT → rischio sanzionatorio ACN + rischio reputazionale verso AdG FEAMPA	3	3	9 □ MEDIO	MITIGAZIONE: azione prioritaria A (Tab.3.4 NIS2-A1) — verificare la qualificazione NIS2 di UN.I.COOP prima dell'avvio. Se UN.I.COOP è soggetto NIS2: (1) registrazione ACN; (2) nomina CISO o referente cybersecurity; (3) le misure tecniche già previste nell'architettura IoT R3 (TLS 1.3, OTA, SBOM) soddisfano gran parte dei requisiti art.21. Il rischio sanzionatorio è moderato per violazioni iniziali non dolose. §3.4.3; §18.4 RC-01.
RA-01	Guasto batterie LiFePO4 per thermal runaway o corrosione accelerata in ambiente marino → fermo barca prolungato + danno reputazionale al progetto	1	5	5 □ BASSO	Il rischio di thermal runaway con LiFePO4 è classificato 'praticamente assente' a temperature operative <80°C (IEC 62619 §4 — scelta deliberata della chimica, §2.2.2). Il rischio reale è la corrosione accelerata del BMS per umidità marina non gestita. MITIGAZIONE: specifica IP66 per componenti esposti + sensore H ₂ nel compartimento batterie + ventilazione forzata ATEX (MSC.1/Circ.1605, §8.2.2). Contratto SLA 48h con fornitore (All.D §D.4). KPI OP-04 (disponibilità ≥95% con soglia di allerta a 90%). §18.1 RA-01.

Nota: La scala di valutazione è: Probabilità 1–5 (1=raro, 5=quasi certo); Impatto 1–5 (1=trascurabile, 5=critico per il progetto). Il score critico è ≥15 (rosso); alto ≥10 (arancione); medio 5–9 (giallo); basso <5 (verde). Il solo rischio critico (RT-02, CER non attiva) ha una mitigazione disponibile e a basso costo: l'uso di GdO (Garanzia d'Origine) come soluzione ponte nella finestra M6–M12 riduce il FE della ricarica da 0,350 a ~0,100 kgCO₂ /kWh, portando la riduzione GHG Config. B sopra la soglia TSC del 40% anche in assenza di CER propria. Il registro rischi completo (18 rischi) è nei §18.1–18.4 con le matrici di risposta per ciascuna categoria. Collegamento: §17.5.2 (criteri GO/NO-GO derivati dai rischi critici); §3.4.3 (rischio RC-01 NIS2).

A.5 Nota metodologica sulla distinzione VAS/VInCA/LCA

Questa nota risponde a una domanda frequente che i lettori non specialisti pongono leggendo gli studi di fattibilità per interventi in aree marine protette: 'avete fatto la VAS?' La risposta è articolata: no, il progetto R3 non richiede una VAS propria — ma sì, la VInCA è obbligatoria per tutti i siti, e l'LCA è lo strumento analitico che dimostra la conformità ambientale. La confusione tra queste tre procedure — VAS, VInCA e LCA — era

presente nella versione v1.0 dello studio (rilievo VAS-01 della peer review) ed è stata corretta in questa versione con la Tabella 1.3 (§1.2.1), di cui la Tabella A.5 è la versione sintetica per il lettore non tecnico.

Il principio fondamentale da tenere a mente è che le tre procedure operano a livelli gerarchici e con finalità completamente diversi: la VAS valuta i Piani (livello istituzionale, già completata sul PO FEAMPA); la VInCA autorizza i singoli progetti in prossimità dei siti Natura 2000 (livello progettuale, obbligatoria per R3); la LCA analizza gli impatti ambientali del ciclo di vita (strumento analitico interno, non procedurale). Confondere questi livelli produce errori procedurali gravi: avviare una VAS per un progetto (sproporzionato e giuridicamente improprio) o non avviare la VInCA per un intervento vicino a una ZSC (violazione dell'art.6 §3 della Direttiva Habitat).

Tabella A.5 — Nota metodologica: VAS, VInCA, VIA/Screening e LCA — livello di valutazione, attivazione nel progetto R3 e sintesi operativa per il lettore non tecnico

Strumento valutativo	Livello di valutazione	Attivazione nel progetto R3	Stato al febbraio 2026	Sintesi operativa per il lettore non tecnico — cosa si trova, cosa non si trova e perché nel documento
VAS (Valutazione Ambientale Strategica) Dir.2001/42/CE	Piani e Programmi (P/P) — livello istituzionale	GIA' CONDOTTA sul PO FEAMPA Italia 2021–2027 before questo studio. Non si riattiva per R3.	Rapporto Ambientale MASE approvato febbraio 2022. Disponibile su sito MASE.	Il progetto R3 NON richiede una VAS propria. La VAS è stata condotta dall'autorità competente (MASE) sull'intero Programma Operativo FEAMPA prima che il progetto R3 fosse concepito. Il progetto R3 contribuisce agli indicatori VAS del PO già approvato (IA-01, IA-02 — Tab.1.2) attraverso i dati del sistema M&V. Nel documento NON troverete una 'VAS del progetto R3' — sarebbe giuridicamente impropria e metodologicamente non pertinente. Trovate: (a) la dimostrazione della coerenza del progetto con gli OS FEAMPA (Tab.1.2); (b) la verifica DNSH (All.I) che è il meccanismo di screening ambientale a livello progettuale richiesto dalla Tassonomia UE.
VInCA (Valutazione di Incidenza) Dir.92/43/CEE art.6 §3	Singoli progetti in prossimità di siti Natura 2000 (ZSC, ZPS)	OBBLIGATORIA per tutti e 4 i siti pilota (ZSC/ZPS entro 1 km dal pontile per ogni sito)	In avvio — cronoprogramma definito in Tab.15.4; GO Sulcis previsto M3.	La VInCA è LO STRUMENTO AUTORIZZATIVO CHIAVE del progetto R3 in tutti i siti pilota. Non è un adempimento burocratico secondario ma la procedura che determina se il pilota può partire in ciascun sito e a quali condizioni. I quattro siti pilota si trovano tutti in prossimità di siti Natura 2000 (ZSC e/o ZPS): questo è il motivo per cui nel documento trovate un cronoprogramma VInCA dettagliato per sito (Tab.15.4), un quadro dei vincoli ambientali per habitat e specie (Tab.6.4, 6.5) e le misure operative da adottare durante il pilota. Il diverso livello di complessità della VInCA (screening Lv.I vs Lv.II con studio campo su Pinna nobilis per Asinara) determina il diverso GO dei siti (M6 per Sulcis, M10 per Asinara).
VIA / Screening (Valutazione Impatto Ambientale) Dir.2011/92/UE	Progetti specifici elenco All.II–III D.Lgs 152/2006 (impianti ind., infrastrutt., ecc.)	NON APPLICABILE al progetto R3: nessun intervento rientra negli All.II o III (FV <1MW; barche <25m non cat.)	Non avviata — non richiesta per questo tipo e scala di interventi.	Il progetto R3 NON è soggetto a VIA obbligatoria. Il retrofit di imbarcazioni da pesca <25m e l'installazione di impianti FV <1 MW non rientrano nelle categorie di cui agli Allegati II o III del D.Lgs 152/2006. Gli interventi R3 seguono l'iter SUAP comunale (DPR 160/2010) + VInCA per i siti N2000 + eventuale verifica di assoggettabilità a VIA (art.19) per l'impianto FV della CER portuale se installato in area sensibile — ma solo come verifica preliminare, non come procedura VIA completa. Nel documento NON troverete procedure VIA: trovate i procedimenti autorizzativi effettivamente applicabili (Tab.5.7 + Tab.15.4).
LCA (Life Cycle Assessment) ISO 14040/14044 14067	Strumento analitico (non procedurale) — non richiede autorizzazione	CONDOTTA A LIVELLO SCREENING in questo studio (Cap.13, All.J); LCA completa	Screening completato — cap.13 + All.J. LCA completa entro M24 del pilota.	La LCA non è una procedura di valutazione ambientale amministrativa — non richiede alcuna autorizzazione da enti pubblici e non produce documenti da presentare a nessuna authority. È uno strumento analitico interno che produce: (a) i dati per la verifica DNSH Obj.1 (riduzione GHG ≥40% lifecycle); (b) la Carbon Footprint Declaration per le batterie

	da enti pubblici	prevista in Fase 2 pilota.	(Reg.UE 2023/1542 art.7): (c) i dati di input per la rendicontazione ambientale verso investitori ESG. La distinzione cruciale: la LCA produce EVIDENZE; la VInCA produce AUTORIZZAZIONI. Confonderle (rilievo VAS-01 della peer review v1.0) porta a proceduralizzare uno strumento analitico e a dimenticare la procedura amministrativa obbligatoria. Questo documento risolve quella confusione: §1.2.1 Tab.1.3.
--	------------------	----------------------------	--

Messaggio finale per il decisore

Il progetto R3 è realizzabile e raccomandabile nella sua forma pilota (5 barche, 4 siti, Fase 0–2). La condizione necessaria e non negoziabile è l'avvio immediato dell'iter per la CER portuale di Sulcis: senza CER, la Config. B non è conforme DNSH e non è co-finanziabile con FEAMPA all'aliquota piena. Tutte le altre condizioni sono soddisfacenti nel corso del progetto. Il pilota è progettato per fallire al minimo: anche se solo 2 barche su 5 completano il Fase 1, il campione minimo è sufficiente per la pubblicazione scientifica, per l'upgrade dei livelli di evidenza delle assunzioni critiche e per la documentazione del kit di replicazione regionale. Il costo dell'inazione — non avviare il progetto — è stimato in oltre 7.000 tCO₂ eq/anno non evitate per la flotta sarda <12m nel decennio 2027–2037.

1. Impostazione dello Studio e Principi Guida

Approccio integrato T·E·A·C · Coerenza FEAMPA e VAS PO · Distinzione VAS/VIA/VInC/LCA · Catena di evidenza Lv.1–4 · QA/QC

Il Capitolo 1 definisce l'architettura metodologica dell'intero Studio di Fattibilità R3, stabilendo quattro elementi fondativi che condizionano la struttura di tutti i capitoli successivi: (§1.1) l'approccio integrato su quattro assi — Tecnologia, Economia, Ambiente, Compliance (T·E·A·C) — che impedisce di trattare qualsiasi questione come puramente tecnica o puramente economica, poiché le scelte in ciascun asse hanno conseguenze vincolanti sugli altri tre; (§1.2) la coerenza del progetto con il Quadro Programmatico FEAMPA e con il Rapporto Ambientale VAS del PO FEAMPA Italia 2021–2027, che colloca lo studio nel contesto istituzionale che ne determina la fonte di co-finanziamento e la struttura degli indicatori di monitoraggio; (§1.2.1) la nota metodologica critica sulla distinzione tra VAS, VIA, VInC e LCA — una distinzione che la peer review (rilievo VAS-01) aveva identificato come assente o confusa nella versione v1.0 dello studio; (§1.3) il sistema QA/QC basato sulla catena di evidenza a quattro livelli (Lv.1–4), che garantisce la tracciabilità di ogni claim del documento alla sua fonte con l'indicazione esplicita del grado di affidabilità e del trattamento metodologico adottato.

Questo capitolo non è un'introduzione generica: è un documento metodologico di riferimento a cui tutti i capitoli successivi rimandano esplicitamente per giustificare le proprie scelte. Il lettore che si interroga sul perché la LCA sia condotta a livello screening e non come LCA completa (risposta: §1.2.1 + §1.3 Lv.4 gap), o sul perché la CER portuale sia indicata come condizione abilitante e non come opzione (risposta: §1.1 asse A → Tab.13.5), troverà le risposte metodologiche in questo capitolo.

1.1 Approccio integrato tecnologia – economia – ambiente – compliance

Il progetto R3 è strutturato attorno a quattro assi di analisi che nel documento sono trattati in modo deliberatamente integrato, non sequenziale: la Tecnologia (T), l'Economia (E), l'Ambiente (A) e la Compliance normativa (C). Questo approccio — sintetizzato nell'acronimo T·E·A·C — riflette la natura dei sistemi di pesca artigianale sostenibile, dove nessuna scelta tecnica è neutrale rispetto ai costi, nessun beneficio economico è disgiunto dagli impatti ambientali, e nessun intervento può essere avviato senza la conformità a un framework normativo particolarmente denso (68 norme citate nel documento, di cui 12 con impatto diretto sulla progettazione del sistema).

La Tabella 1.1 struttura l'approccio integrato in forma matriciale, mostrando per ciascuno dei quattro assi: la domanda guida che orienta la ricerca in quell'asse, gli output principali prodotti, i capitoli e gli allegati di riferimento, e — crucialmente — le connessioni con gli altri tre assi. Le connessioni inter-asse sono la parte metodologicamente più rilevante della tabella: esse documentano perché una scelta apparentemente tecnica (quale configurazione ibrida scegliere) dipende in realtà da tre assi contemporaneamente, e perché nessun asse può essere ottimizzato in isolamento senza compromettere gli altri. L'ultima riga della tabella sintetizza la raccomandazione finale dello studio come convergenza di tutti e quattro gli assi.

Tabella 1.1 — Matrice approccio integrato T·E·A·C: domande guida, output, riferimenti e connessioni inter-asse per il progetto R3

Asse (simbolo)	Domanda guida dello studio	Output principale prodotto	Capitoli / Allegati di riferimento	Connessione con gli altri assi: perché l'integrazione è necessaria e non opzionale
T Tecnologia	Quale sistema di propulsione ibrida o EL è tecnicamente installabile sulla piccola pesca sarda senza modifiche strutturali costose allo scafo?	Specifiche tecniche per 4 configurazioni (A, B, C, L); dimensionamento motore EL, batterie LiFePO4, BMS, IoT, CER portuale	Cap. 9 (propulsione), Cap. 10 (batterie), Cap. 11 (elettrif.), Cap. 12 (IoT), Cap. 16 (progettazione prelim.), All. D (capitolato)	T→E: la scelta della Config. B (<12m) non è guidata dalla tecnologia migliore in assoluto ma dalla tecnologia con VAN positivo per l'armatore sardo. T→A: la scelta di LiFePO4 (no Co, no Ni) è

				determinata anche dall'ADP-el (Tab.13.4). T→C: la certificazione IEC 62619 è condizione legale, non solo tecnica (§8.2.1).
E Economia	Il retrofit è conveniente per l'armatore tipico della piccola pesca sarda, considerando il prezzo agevolato del gasolio (€0,67/l) e le aliquote FEAMPA attese?	CBA per 4 configurazioni (VAN, payback, Monte Carlo 10.000 simulazioni); modello finanziario con ISMEA; scoring economico campione pilota	Cap. 17 (analisi economica), Cap. 15 (selezione campione), All. CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx	E→T: il VAN negativo della Config. A (Tab.17.1) porta alla raccomandazione di sviluppare Config. C+6kWp — una scelta tecnica guidata dall'economia. E→A: il prezzo agevolato gasolio (€0,67/l vs €1,25) riduce il risparmio assoluto e quindi la convenienza del retrofit, ma non modifica il beneficio ambientale. E→C: l'iter CER portuale (22 mesi, LL-06) è un costo-opportunità che deve essere valorizzato nel VAN.
A Ambiente	Quale riduzione delle emissioni GHG lifecycle produce il retrofit? La riduzione supera la soglia TSC DNSH (≥40%)? Quali impatti sulle ZSC/ZPS sarde?	LCA screening ISO 14040/14044: GWP baseline vs ibrido; break-even emissivo; matrice DNSH 6 obiettivi; VInCA per sito; UWN baseline	Cap. 6 (baseline amb.), Cap. 13 (LCA), Cap. 19 (DNSH), All. I (DNSH Checklist), All. J (LCA_Screening)	A→T: la CER portuale (FE 0,050 kgCO ₂ /kWh) è la condizione che porta la riduzione GWP da -38,2% a -41,8%, determinando la conformità DNSH (§13.5). A→E: il beneficio ambientale (riduzione GWP) ha un valore economico nei mercati VCM (carbon credits €6-10/tCO ₂) — beneficio non-monetario §17.4. A→C: la riduzione UWN (§6.5) alimenta il DNSH Obiettivo 3 (protezione acque marine) e la VInCA per i siti ZSC.
C Compliance	Il sistema proposto è conforme all'intero framework normativo	Mappatura 68 normative; DNSH Checklist All.I; capitolato fornitori All.D con requisiti contrattuali; piano	Cap. 7 (normativa UE), Cap. 8 (normativa naz.), Cap. 19 (DNSH), All. D, All. I, All. F (VInCA per sito)	C→T: l'AI Act (§8.3.4) determina che il PMS deve rimanere in modalità advisory-only (non

	applicabile (tecnico, fiscale, digitale, ambientale, finanziario)? Quali adempimenti residui?	autorizzativo per sito (Tab.5.7; Tab.15.4)		autonomo) nelle Fasi 1–2 — vincolo normativo che limita una scelta tecnica. C→E: la garanzia ISMEA (§8.1.2) è la condizione di bankability per gli armatori — senza compliance DURC nessun finanziamento. C→A: la DPIA GDPR (§8.3.1) è pre-condizione per l'attivazione del sistema IoT di monitoraggio ambientale.
Sintesi integrata (T+E+A+C)	Il progetto R3 è realizzabile e raccomandabile in forma pilota per la piccola pesca sarda, e in quale configurazione?	Raccomandazione finale: Config. B (<12m, VAN+€11.140) e Config. L (lagunare, VAN+€54.401) come prioritarie; Config. A con FV come alternativa; scala pilota 5 barche in 4 siti	Executive Summary (§A.1–A.4), Cap. 26 (raccomandazioni finali)	La risposta alla domanda guida dello studio è positiva solo quando tutti e quattro gli assi convergono: tecnologia matura + economia sostenibile + ambiente conforme DNSH + framework normativo rispettato. Il fallimento su uno qualsiasi degli assi porta alla non-fattibilità: Config. B senza CER (A fallisce) → non conforme DNSH Obj.1; Config. A senza ISMEA (E fallisce) → non bankable; sistema IoT senza GDPR (C fallisce) → non attivabile.

Nota: Le connessioni inter-asse nella colonna destra (T→E, E→A, A→C, ecc.) sono relazioni causali documentate nel testo, non affinità generiche. La freccia 'A→T: la CER portuale determina la conformità DNSH' è la connessione più critica dell'intero studio (§13.5): è la scelta ambientale-infrastrutturale che decide se la Configurazione B è o non è finanziabile con FEAMPA a aliquota piena. Leggere questa tabella prima di qualsiasi altra per comprendere la struttura logica dello studio. Collegamento: Tab.1.2 (coerenza FEAMPA), Tab.1.3 (distinzione procedure valutative), Tab.1.4 (catena evidenza).

1.2 Coerenza con il Quadro Programmatico FEAMPA e con il Rapporto Ambientale VAS del PO FEAMPA Italia 2021–2027

Il progetto R3 si colloca all'interno del Programma Operativo FEAMPA Italia 2021–2027 (Reg.UE 2021/1139), il principale strumento di co-finanziamento europeo per il settore pesca e acquacoltura italiano nel periodo di programmazione corrente. La dimostrazione di coerenza con gli Obiettivi Specifici del PO FEAMPA e con il Rapporto Ambientale VAS approvato (MASE, febbraio 2022) è un requisito procedurale per la candidatura al co-finanziamento (art.22 Reg.UE 2021/1060 — requisiti per le domande di sostegno) e una condizione di legittimità tecnica dello studio.

La Tabella 1.2 mappa sistematicamente la relazione tra ciascun Obiettivo Specifico del PO FEAMPA (OS1–OS5), il corrispondente indicatore del Rapporto Ambientale VAS, il contributo quantificato del progetto R3 e il

riferimento ai capitoli che producono le evidenze. L'ultima riga della tabella affronta esplicitamente il tema della VAS — chiarendo che il progetto R3 contribuisce agli indicatori VAS del PO già approvato, senza attivare una nuova VAS (vedi §1.2.1).

Un elemento di particolare rilevanza è il collegamento tra OS3 (economia blu sostenibile nelle comunità costiere) e l'articolo FEAMPA art.44 (servizi collettivi pesca): la CER portuale non è solo un requisito tecnico per la conformità DNSH, ma è lo strumento attraverso cui il progetto R3 qualifica come intervento di comunità (non solo come investimento produttivo individuale), accedendo all'aliquota di co-finanziamento art.44 (70–80%) invece della sola art.27 (55–65%). Questa distinzione — con impatto di circa €15.000–20.000 per barca sul contributo FEAMPA — emerge dall'analisi integrata degli assi E e C, non da un'analisi puramente tecnica.

Tabella 1.2 — Coerenza con il PO FEAMPA Italia 2021–2027 (OS1–OS5) e con il Rapporto Ambientale VAS (MASE 2022): contributo R3 e riferimenti ai capitoli

Obiettivo specifico FEAMPA / VAS	Reg.UE 2021/1139: articolo / misura	Indicatore VAS PO FEAMPA (Rapporto Amb. MASE 2022)	Contributo del progetto R3 (misurabile)	Connessione con i capitoli dello studio e con il sistema di monitoraggio M&V
OS1 — Promuovere pesca sostenibile e risorse biologiche marine	Art. 27 — Invest. produttivi in pesca artigianale; art. 23 efficienza energetica	IA-01: Riduzione consumi energetici flotta pesca (%/anno)	–45% consumi gasolio/barca/anno (Config. B); –90% Config. L (lagunare EL puro)	Cap.9 §9.3 (consumo operativo); Tab.17.1 (CBA baseline vs ibrido); All.C KPI Register EN-01 (kWh/giornata). Il KPI EN-01 è direttamente collegato all'indicatore IA-01 del Rapporto Ambientale VAS — il sistema M&V R3 produce i dati di input per il monitoraggio VAS.
OS1 — Efficienza energetica e riduzione emissioni GHG pesca	Art. 27 c.1(e): efficienza energetica e riduzione CO ₂	IA-02: Riduzione emissioni CO ₂ flotta pesca (tCO ₂ /anno per unità produttiva)	–7,5 tCO ₂ eq/barca/anno (Config. B) = –41,8% lifecycle vs baseline	Cap.13 (LCA, Tab.13.5); All.J (LCA_Screening_R3); §19.1.1 (DNSH Obj.1). Il valore –7.501 kgCO ₂ eq/barca/anno è l'unità base del KPI EM-01 (All.C) ed è l'indicatore da comunicare all'AdG FEAMPA nella rendicontazione annuale. Verifica con dati reali del pilota in Fase 1 (§23.2.1).
OS2 — Promuovere attività di acquacoltura sostenibile	Art. 29 — Invest. produttivi acquacoltura; art. 30 (ambiente)	IA-03: Superficie ecosistemi marini protetti beneficiari di interventi progetto	Protezione diretta: ZSC Sulcis, Cabras, S.Gilla — 3 siti N2000 con riduzione UWN (§6.5)	Cap.6 §6.5 (UWN baseline e riduzione attesa); §19.1.3 (DNSH Obj.3 acque marine); §14.1.4 caso Croazia (sinergia pesca+acquacoltura sulla stessa CER portuale). UN.I.COOP gestisce anche acquacoltura: la rete IoT dual-purpose (LL-09) contribuisce all'OS2 senza CAPEX aggiuntivi.
OS3 — Promuovere un'economia blu sostenibile nelle comunità costiere	Art. 44 — Servizi collettivi pesca; art. 45 (CER)	IC-01: N. comunità di pesca che beneficiano di infrastrutture collettive	1 CER portuale pilota (Sulcis) con 2–3 cooperative associate; scale-up 4 siti in Fase 2–3	§5.5 (CER portuale, governance); Tab.5.6 (modelli governance CER); §14.3 (precedente FEAMPA art.44 Brindisi); Tab.8.5 (regime incentivi GSE). La CER portuale è l'intervento art.44 che collega R3 all'OS3, distinguendolo da un semplice investimento produttivo art.27.
OS4 — Rafforzare la governance internazionale degli oceani	Art. 54 — Raccolta dati; art. 55 (monitoraggio)	ID-01: Volume dati raccolti su ecosistemi marini (GB/anno da sistemi digitali)	Sistema IoT: >500 MB/mese di dati ambientali (T°, DO, GPS, SoC) per 5 barche pilota	Cap.12 (architettura IoT); §23.2 (piano M&V); All.C KPI Register (cluster ENV); §8.3.1 (GDPR — trattamento dati IoT). I dati ambientali raccolti dalla rete IoT R3 sono messi a disposizione di CNR-IAS per integrazione con le banche dati ARPAS GSA 11 (accordo istituzionale §21.3).
OS5 — Sicurezza alimentare attraverso pesca competitiva	Art. 27 c.1(f): qualità e certificazione prodotti ittici	IQ-01: Valore aggiunto produzioni ittiche certificate (€/kg, variaz. %)	Premium price stimato +8–12% per prodotto 'pesca a zero emissioni' (§17.4.2)	§17.4 (benefici non-monetari: premium price, carbon credits); §14.2 LL-08 (trasparenza dati e pubblicazione scientifica come strumento di valorizzazione). Il premium price è un beneficio indiretto che rafforza il VAN ma non è incluso nel calcolo principale

				— conservativismo metodologico deliberato.
VAS — Obiettivo di sostenibilità ambientale (Rapporto Ambientale MASE 2022, p.87)	Dir.2001/42/CE art.5 + All.I; D.Lgs 152/2006 art.13 (VAS per P/P)	ISA-01: % di interventi FEAMPA con LCA/DNSH documentati; ISA-02: % interventi in siti Natura 2000 con VInCA	LCA screening completa (Cap.13); DNSH Checklist (All.I) per tutti 6 obiettivi amb.; VInCA per 4 siti (Tab.15.4)	Il progetto R3 soddisfa sia ISA-01 (LCA + DNSH documentati) sia ISA-02 (VInCA per tutti i siti N2000). Il contributo alla VAS è indiretto: il PO FEAMPA Italia 2021–2027 è l'oggetto della VAS; il progetto R3 è uno degli interventi finanziati. La documentazione LCA/DNSH/VInCA prodotta da questo studio è esattamente la tipologia di evidenza richiesta dalla VAS per dimostrare la performance ambientale del PO. Nota metodologica critica: la VAS del PO FEAMPA è stata già condotta sull'intero Programma Operativo — il progetto R3 non attiva una nuova VAS ma contribuisce agli indicatori VAS del PO già approvato (vedi §1.2.1).

Nota: Il Rapporto Ambientale VAS del PO FEAMPA Italia 2021–2027 è disponibile sul sito MASE (pubblicato febbraio 2022, aggiornamento marzo 2023 per le osservazioni pervenute). Gli indicatori ISA-01 e ISA-02 sono gli indicatori ambientali di contesto del PO; non sono KPI di progetto ma parametri di monitoraggio del PO a cui i dati del progetto R3 contribuiscono. La coerenza con OS4 (dati sugli ecosistemi marini) e OS5 (premium price) non richiede la mobilitazione di misure FEAMPA specifiche — è una coerenza di obiettivi che rafforza il posizionamento del progetto R3 nel contesto programmatico. Collegamento: §7.2.1 (misure FEAMPA art.27 e art.44 nel dettaglio), §14.3 (coerenza con altri PO FEAMPA regionali).

1.2.1 Nota metodologica: distinzione VAS (livello P/P) vs VIA/screening (livello progettuale) vs VInCA vs LCA

Il rilievo VAS-01 della peer review della versione v1.0 dello studio aveva identificato una confusione metodologica tra tre procedure di valutazione ambientale distinte: la VAS (Valutazione Ambientale Strategica, Dir.2001/42/CE), la VIA (Valutazione di Impatto Ambientale, Dir.2011/92/UE) e la VInCA (Valutazione di Incidenza, Dir.92/43/CEE art.6 §3). La versione v2.0 risolve questo rilievo con la Tabella 1.3, che distingue le cinque procedure/strumenti valutativi applicabili nel contesto del progetto R3 (VAS, VIA, Verifica di assoggettabilità a VIA, VInCA, LCA), specificando per ciascuno: la base normativa, l'oggetto della valutazione, il soggetto competente, quando si attiva nel progetto R3 e il ruolo specifico nel documento.

La distinzione metodologica più critica — e quella che ha generato il rilievo VAS-01 — è tra VAS e VInCA: entrambe sono 'valutazioni ambientali' ma operano a livelli gerarchici completamente diversi. La VAS opera al livello di Piani e Programmi (P/P) ed è già stata condotta sul PO FEAMPA Italia 2021–2027 prima che il progetto R3 fosse concepito. La VInCA opera al livello di singoli progetti o interventi in prossimità di siti Natura 2000 ed è obbligatoria per il progetto R3 in tutti e quattro i siti pilota. Il progetto R3 non attiva e non può attivare una nuova VAS: quella del PO FEAMPA è l'unica VAS pertinente, e il progetto R3 vi contribuisce come intervento finanziato nell'ambito del PO già valutato.

Tabella 1.3 — Nota metodologica VAS-01: distinzione tra VAS, VIA, verifica assoggettabilità, VInCA e LCA — applicabilità nel progetto R3, basi normative e ruolo nel documento

Procedura valutativa	Base normativa primaria	Oggetto della valutazione	Soggetto proponente / autorità	Quando si attiva nel contesto R3	Distinzione critica e ruolo nel progetto R3 — rilievo VAS-01 della peer review
VAS (Valutazione Ambientale Strategica)	Dir.2001/42/CE; D.Lgs 152/2006 artt.11–18	Piani e programmi (P/P) che possono avere effetti significativi sull'ambiente	Autorità che adotta il P/P: MASE per PO FEAMPA Italia; RAS per Piani regionali Sardegna	GIA' CONDOTTA sul PO FEAMPA Italia 2021–2027 (Rapporto Amb. MASE 2022). NON SI ATTIVA di nuovo per il progetto R3.	CHIARIMENTO RILIEVO VAS-01: il progetto R3 non è un Piano o Programma ai sensi della Dir.2001/42/CE — è un intervento progettuale finanziato nell'ambito di un PO già sottoposto a VAS. Il Rapporto Ambientale VAS

					<p>del PO FEAMPA è già approvato (MASE, febbraio 2022) e il progetto R3 contribuisce alla misurazione degli indicatori VAS del PO (Tab.1.2, colonna 'Indicatore VAS'). NON è necessaria, NON è prevista e sarebbe giuridicamente impropria una nuova VAS per questo studio di fattibilità.</p>
<p>VIA (Valutazione Impatto Ambientale)</p>	<p>Dir.2011/92/UE; D.Lgs 152/2006 artt.19–28</p>	<p>Progetti specifici elencati negli All. II e III del D.Lgs 152/2006 (impianti industriali, infrastrutture, ecc.)</p>	<p>Proponente del progetto; MASE (VIA nazionale) o Regione (VIA regionale)</p>	<p>NON applicabile al progetto R3: nessun intervento R3 rientra negli All.II o III del D.Lgs 152/2006.</p>	<p>Il retrofit di propulsione su imbarcazioni da pesca <25m e l'installazione di impianti FV <1MW (CER portuale) NON rientrano nelle categorie sottoposte a VIA obbligatoria (D.Lgs 152/2006 All.II: impianti per la produzione di energia ≥50MW; All.III: impianti per la produzione di energia ≥1MW). La corretta procedura per questi interventi è il SUAP comunale + eventuale verifica di assoggettabilità (D.Lgs 152/2006 art.19) + VInCA per i siti Natura 2000. NON è prevista, NON è necessaria e sarebbe sproporzionata una VIA per il progetto R3.</p>
<p>Verifica di assoggettabilità a VIA (screening VIA)</p>	<p>D.Lgs 152/2006 art.19 (recep. Dir.2014/52/UE)</p>	<p>Progetti degli Allegati IV che possono avere effetti significativi sull'ambiente (caso per caso)</p>	<p>Proponente; autorità competente (Regione per All.IV categoria energia <10MW)</p>	<p>Applicabile preventivamente all'impianto FV CER portuale se il sito è in area sensibile (ZSC, laguna)</p>	<p>APPLICAZIONE SELETTIVA: la verifica di assoggettabilità a VIA (art.19 D.Lgs 152/2006) potrebbe essere richiesta per l'impianto FV della CER portuale se installato in un'area sensibile (es. tetti magazzini a meno di 50m da una ZSC). La Regione Sardegna ha competenza per impianti FV <10MW. La valutazione caso per caso è prevista nel cronoprogramma autorizzativo (Tab.15.4): se richiesta, è completata entro M3 Fase 0 per Sulcis. Per i porti</p>

					sardi selezionati, l'impianto FV (≤60 kWp) è tipicamente non assoggettato (comunicazione preventiva al Comune + iter SUAP semplificato DPR 160/2010).
VInCA (Valutazione di Incidenza)	Dir.92/43/CEE art.6 §3; DPR 357/1997 art.5; Linee guida UE 2019 (WD Artikel 6)	Qualsiasi piano, programma o progetto che possa avere incidenza significativa su siti Natura 2000 (ZSC, ZPS, SIC)	Proponente; Regione Sardegna (CFVA/Assessorato Difesa Ambiente o Ente Parco per aree protette)	OBBLIGATORIA per tutti e 4 i siti pilota (Sulcis, Cabras, S.Gilla, Asinara): ZSC entro 1km dal puntile per ogni sito	STRUMENTO CHIAVE DEL PROGETTO R3: la VInCA è l'unica procedura valutativa che si attiva obbligatoriamente per il progetto R3 in tutti i siti pilota. La VInCA opera a due livelli: Screening Liv.I (verifica preliminare se l'intervento può avere incidenze significative: positivo → conclusione; negativo → Liv.II) e Valutazione Liv.II (studio completo degli impatti sulle specie e gli habitat Natura 2000). Il cronoprogramma VInCA per sito è in Tab.15.4. Per Santa Gilla (ZPS D.G.R. 9/18) è necessaria la VInCA su procedure specifiche per l'avifauna (fenicottero, limicoli migratori).
LCA (Life Cycle Assessment)	ISO 14040:2006; ISO 14044:2006; ISO 14067:2018 (non è una procedura di valutazione ambientale amministrativa)	Impatti ambientali del ciclo di vita di un prodotto o sistema (dalla produzione allo smaltimento)	Proponente (volontario — non richiesto da alcuna norma di legge come procedura amministrativa; richiesto da Tassonomia e DNSH)	Condotta a livello screening in questo studio (Cap.13); LCA completa required in Fase 2 (milestone M2-07)	STRUMENTO ANALITICO (non procedurale): la LCA non è una procedura di valutazione ambientale che richiede un'autorizzazione da parte di un ente pubblico. È uno strumento analitico interno al progetto R3 che produce i dati per: (a) la verifica DNSH Obiettivo 1 (riduzione GHG ≥40%); (b) la documentazione CFD richiesta dal Reg.2023/1542 per le batterie; (c) la rendicontazione ESG verso eventuali investitori privati. La distinzione rispetto alla VAS/VIA/VInCA è critica: la LCA produce evidenze;

					la VInCA produce autorizzazioni.
--	--	--	--	--	----------------------------------

Nota: L'evidenziatura cromatica codifica l'applicabilità al progetto R3: viola (VAS) = già condotta sul PO FEAMPA, non si riattiva; grigio (VIA + screening) = non applicabile per questo tipo di intervento; arancione/ambra (VInCA) = obbligatoria per tutti i siti pilota, strumento chiave del progetto; azzurro (LCA) = strumento analitico volontario (non procedurale). Il rosso/verde nella colonna 'Quando si attiva' segnala NON applicabile (rosso) vs OBBLIGATORIA (verde). La corretta comprensione di questa tabella è il prerequisito per la lettura del Cap.6 (baseline ambientale), del Cap.13 (LCA) e del §15.2.3 (cronoprogramma VInCA). Risolve formalmente il rilievo VAS-01 della peer review.

1.3 QA/QC e catena di evidenza (fonti → claim → assunzioni → gap) con livelli di evidenza (1–4)

Il sistema di Quality Assurance / Quality Control (QA/QC) del progetto R3 si basa su un principio fondamentale di tracciabilità: ogni claim quantitativo o qualitativo presente nel documento è assegnato a un livello di evidenza (da Lv.1 a Lv.4) che indica l'affidabilità della fonte e il trattamento metodologico adottato. Il sistema a quattro livelli è ispirato alla prassi della Evidence-Based Medicine (EBM, Oxford CEBM Evidence Levels 2011) adattata al contesto degli studi di fattibilità per interventi di sostenibilità energetica in settori primari regolamentati.

La logica della catena di evidenza è la seguente: ogni claim segue il percorso Fonte → Dato grezzo → Elaborazione → Claim nello studio → Livello di evidenza assegnato → Trattamento nelle analisi quantitative. Questa catena è resa esplicita nel testo attraverso: (a) la citazione della fonte e dell'anno direttamente nel paragrafo o nella nota di tabella; (b) l'uso della label 'assunzione A-xx' per i dati Lv.3 che richiedono una scelta metodologica documentata; (c) l'indicazione esplicita '(Lv.X)' nei capitoli che utilizzano dati critici per le conclusioni principali; (d) la colonna 'Fonte dati e note metodologiche' nelle tabelle LCI (Tab.13.2, 13.3, 13.4) che documenta il livello per ciascun input dell'LCA. La Tabella 1.4 descrive i quattro livelli con esempi concreti tratti dal documento.

Un'implicazione operativa importante del sistema Lv.1–4 riguarda il trattamento nelle analisi quantitative: i claim basati su dati Lv.1 sono usati come valori puntuali nelle analisi deterministiche (LCA, DNSH, CBA base); i claim Lv.2 sono usati come valori centrali con intervallo di incertezza $\pm 15\%$ nelle analisi di sensitività; i claim Lv.3 sono sempre inclusi nell'analisi Monte Carlo con distribuzione triangolare (min, moda, max); i claim Lv.4 non sono usati come basi per decisioni vincolanti e sono sempre accompagnati dall'indicazione del milestone di raccolta dati nella Fase 1 del pilota.

Tabella 1.4 — Sistema QA/QC: quattro livelli di evidenza con definizione, fonti tipiche, percentuale sul totale dei claim R3 e esempi applicati al documento

Liv.	Definizione e criteri di assegnazione	Fonti tipiche assegnate a questo livello	% sul totale claim R3 (stima)	Esempi di claim R3 con questo livello di evidenza, trattamento metodologico e indicazione del capitolo
Lv.1 ★★★★★ Alta affidabilità	Dati provenienti da fonti primarie peer-reviewed, database ufficiali istituzionali o misurazioni strumentali certificate. Riproducibili indipendentemente. Utilizzabili per confronti normativi (DNSH, LCA) senza rettifica.	JRC Well-to-Wheel v5.0 (2022); ISPRA Inventario Naz. Emissioni 2023; ecoinvent 3.9; STECF Scientific Technical & Economic Committee for Fisheries (SR-23-01); Eurostat; Reg. UE/direttive; analisi da strumentazione calibrata	~25%	FE gasolio 2,68 kgCO ₂ eq/l (JRC 2022) — usato direttamente in LCA senza aggiustamento (Cap.13 §13.2.2). FE rete Sardegna 0,350 kgCO ₂ /kWh (ISPRA 2023) — valore istituzionale vincolante per il calcolo DNSH (§13.5). Dimensioni flotta GSA 11: 1.847 imbarcazioni <12m (STECF 23-01) — dato di riferimento non contestabile per la stima del mercato potenziale (Cap.4). IMO MSC.1/Circ.1605: testo normativo ufficiale IMO, vincolante come riferimento tecnico (§8.2.2). Trattamento: i dati Lv.1 sono riportati con la fonte e l'anno in tutte le tabelle; non vengono applicati fattori di correzione.
Lv.2 ★★★★★ Buona affidabilità	Dati provenienti da fonti ufficiali non peer-reviewed	Preventivi tecnici da 3 fornitori	~40%	CAPEX retrofit Config. B: €55.000 (media 3 preventivi qualificati ricevuti nel 2024–2025, §16.1). Consumo gasolio Barca 2: 33,1 l/gg (dato e-VMS barca)

	(report istituzionali, preventivi formali, dati amministrativi verificabili), da database industriali con documentazione tecnica, o da misurazioni indirette con metodo trasparente. Utilizzabili per CBA e LCA con indicazione dell'incertezza.	qualificati (§16.1); dati e-VMS da Giornale di Bordo elettronico (Capitaneria); database ecoinvent 3.9 per processi non peer-reviewed; rapporti ARPAS Sardegna; dati GSE su incentivi CER		campione, 3 campagne 2022–2024, §15.3). GWP produzione batteria LiFePO4: 74,4 kgCO ₂ eq/kWh (ecoinvent 3.9, Peters et al.2021 — database con documentazione ma non peer-reviewed in questo specifico calcolo, §13.3.1). Tariffa incentivo CER GSA Sardegna: €0,097 kWh (DM MASE 7/12/2023 art.8 — dato ufficiale, non ancora empiricamente verificato per questo sito, §8.2.3). Trattamento: i dati Lv.2 sono riportati con la fonte e, se usati nella CBA, inclusi nell'analisi di sensitività con intervallo ±15%.
Lv.3 ★★★★★ Affidabilità moderata	Dati provenienti da stime documentate (modelli di calcolo con assunzioni esplicite), da interviste semi-strutturate con armatori/tecnici, da estrapolazioni da casi studio analoghi, o da letteratura grigia (report di progetto, comunicazioni informali verificate). Utilizzabili con esplicita indicazione dell'incertezza e giustificazione della scelta.	Stime da modelli analitici con assunzioni documentate (label 'assunzione A-xx'); interviste armatori sardi (n=12, settembre–novembre 2024); dati da casi studio benchmark (Tab.14.1 — vedi specifiche per caso); stime da letteratura grigia	~30%	Riduzione consumi gasolio Config. B: -45% (Assunzione A-03 — media ponderata da 6 casi studio analoghi + modello analitico, §17.1.1). Consumo gasolio medio GSA 11: 31,7 l/giornata (media interviste n=12 armatori sardi, Lv.3 — nessun dato e-VMS disponibile per confronto diretto, §17.1.1). GWP batteria seconda vita: stima da letteratura grigia con ±25% (§13.6 scenario seconda vita). FE CER portuale: 0,050 kgCO ₂ /kWh (stima da mix FV portuale — dato GSE non disponibile per impianto specifico, §13.2.2). Trattamento: i dati Lv.3 sono esplicitamente etichettati (label 'assunzione A-xx' nel testo), inclusi nell'analisi Monte Carlo con distribuzione triangolare, e non usati come basi per claim normativi vincolanti (DNSH, LCA ISO) senza supporto Lv.1/2.
Lv.4 ★★★★★ Bassa affidabilità (gap identificato)	Dati mancanti o non verificabili con metodi rigorosi alla data dello studio. Stime di ordine di grandezza basate su analogia o giudizio esperto non documentato. Identificati esplicitamente come 'gap di evidenza' che richiedono raccolta dati primari nella Fase 1 del pilota. Non utilizzati come basi per decisioni vincolanti.	Giudizio esperto non documentato; stime per analogia senza benchmark; dati non disponibili al momento dello studio; proiezioni oltre l'orizzonte dei casi studio disponibili	~5%	Riduzione UWN (rumore sottomarino) per Config. B in GSA 11: -12÷18 dB stimati per analogia con sistemi navali analoghi (§6.5.1) — nessuna misurazione diretta disponibile per la flotta sarda. Trattamento: utilizzato solo per indicatori qualitativi DNSH Obj.3 (non per la soglia TSC, che è quantitativa), con esplicita nota 'dato da confermare con misurazione in Fase 1'. Premio qualità 'pesca a zero emissioni': +8–12% (giudizio esperto non formalizzato) — incluso solo nella sezione benefici non-monetari §17.4, mai nel calcolo del VAN principale. SoH batterie a 10 anni per uso marittimo (cicli moderati): stima 75–80% per analogia con automotive (§13.6) — da verificare con dati telemetria pilota Fase 1–2. Trattamento generale Lv.4: etichettati esplicitamente come 'gap di evidenza', non usati come basi per decisioni, con milestone di raccolta dati associato nel cronoprogramma §21.1.

Nota: La distribuzione percentuale dei livelli (~25% Lv.1, ~40% Lv.2, ~30% Lv.3, ~5% Lv.4) è una stima dell'autore basata su una classificazione sistematica delle fonti citate nel documento. L'obiettivo del piano di raccolta dati nella Fase 1 del pilota (§21.1, §23.2) è di convertire i claim Lv.3 in Lv.2 (attraverso misurazioni strumentali IoT) e ridurre i claim Lv.4 a zero o a Lv.3 documentato. A termine della Fase 2 (LCA completa), si prevede che almeno il 70% dei claim della LCA sia basato su dati Lv.1 o Lv.2. Il sistema di livelli di evidenza è stato applicato retroattivamente alla versione v1.0 per identificare le assunzioni più critiche come priorità per la raccolta dati. Collegamento: §A.5.2 (nota metodologica in Executive Summary), §23.2 (piano M&V — raccolta dati per upgrade livelli di evidenza).

2. Metodo di Lavoro (R3)

Workflow 5 fasi · 5 criteri selezione tecnologie · CRA e Reg.Batterie come filtri di selezione · A-Log 12 assunzioni · Gap closure plan · Registro KPI 14 KPI campione (27 totali in All.C)

Il Capitolo 2 documenta la metodologia operativa del progetto R3: come lo studio è stato condotto, come verranno selezionate le tecnologie, come sono gestite le assunzioni e le incertezze, e come i risultati saranno monitorati nel tempo. Insieme al Capitolo 1 (architettura metodologica, approccio T·E·A·C, catena di evidenza), il Capitolo 2 costituisce la base metodologica dell'intero studio — i due capitoli devono essere letti in sequenza prima di qualsiasi altro.

La struttura del metodo di lavoro R3 è articolata in quattro elementi interdipendenti: il workflow per fasi (§2.1), che organizza le attività progettuali in una sequenza logica con criteri GO/NO-GO espliciti; i criteri di selezione delle tecnologie (§2.2), che filtrano a priori le opzioni tecnologiche inadatte prima di qualsiasi analisi comparativa; l'A-Log con il gap closure plan (§2.3), che documenta sistematicamente le 12 assunzioni principali con la loro base di evidenza e il piano per ridurre l'incertezza; il registro KPI (§2.4), che definisce gli indicatori quantitativi attraverso cui i risultati del progetto saranno misurati e comunicati in forma tracciabile.

2.1 Workflow: ricognizione → selezione → simulazione/pilota → M&V → linee guida

Il workflow del progetto R3 è articolato in 4 fasi sequenziali più una fase di monitoraggio trasversale (Tabella 2.1). Le fasi sono progettate in modo che ciascuna produca output verificabili che costituiscono le condizioni di ingresso (criteri GO) per la fase successiva: nessuna fase può iniziare senza che i deliverable della fase precedente siano stati prodotti e validati. Questa struttura 'stage-gate' è coerente con le linee guida per la gestione dei progetti FEAMPA (art.74 Reg.UE 2021/1060 — sistemi di gestione e controllo) e garantisce che il co-finanziamento pubblico non sia impegnato su fasi successive prima della verifica dei risultati delle fasi precedenti.

La fase F-M&V (Monitoraggio e Verifica) è trasversale a tutte le fasi operative (F-1, F-2, F-3): non ha una finestra temporale propria ma si sovrappone all'intero arco del progetto (M6–M48). Il suo ruolo non è solo di controllo ma di produzione attiva di dati: i dati IoT generati in F-M&V sono l'input principale per l'upgrade dei livelli di evidenza (da Lv.3 a Lv.2 e da Lv.2 a Lv.1), per l'aggiornamento della CBA con valori reali, e per la LCA completa della Fase 2. Senza F-M&V, le fasi F-2 e F-3 non hanno i dati necessari per le loro analisi.

Tabella 2.1 — Workflow R3: 4 fasi operative + fase M&V trasversale, con attività, deliverable, criteri GO/NO-GO e connessione con i capitoli dello studio

Fase (#)	Etichetta e durata	Attività principali	Output / Deliverable	Milestone GO / NO-GO	Connessione con i capitoli dello studio e con il sistema di monitoraggio M&V
F-0	Ricognizione e Preparazione (M0–M6)	Mappatura flotta e siti pilota (§15.3); raccolta dati baseline e-VMS e IoT; avvio iter CER e VInCA; selezione barche (criteri Tab.15.1–15.2); arruolamento armatori; formazione Lv.0 equipaggi; contratti SLA fornitori	Dossier selezione barche (5 schede); piano CER portuale firmato; VInCA Sulcis completata; accordo M&V armatori (GDPR); capitolato fornitori All.D v1.0	GO-F1: CER Lol firmata entro M2; VInCA Sulcis completata entro M3; ≥3 barche arruolate entro M4 (criteri §15.1). NO-GO: assenza di CER o di VInCA → avvio Fase 1 solo su siti senza vincoli N2000 con modalità ridotta	Cap.15 (selezione barche e siti); §5.5 (CER portuale); Tab.5.7 (iter autorizzativi); §21.1 (cronoprogramma Gantt); Cap.22 §22.1 (piano formazione Lv.0); All.D (capitolato). DATI GENERATI: baseline consumo gasolio Lv.2 da e-VMS, dati qualità acqua ARPAS pre-retrofit, rilievo infrastrutturale pontili.

<p>F-1</p>	<p>Pilota (M6–M18) 12 mesi</p>	<p>Installazione retrofit Config. B (Sulcis M6) e Config. L (Cabras M7, S.Gilla M8); attivazione IoT bordo/porto; monitoraggio M&V mensile; raccolta dati telemetria (consumo, SoC, GPS, qualità acque); formazione Lv.1 armatori e tecnici; prima rendicontazione FEAMPA</p>	<p>Dati IoT 12 mesi per 5 barche (>500 MB/mese); report mensile M&V; report intermedio pilota M12; Kit R3 v1.0 (deliverable M1-09); dataset open per CNR-IAS; prima rendicontazione FEAMPA (spese ammissibili Fase 1)</p>	<p>GO-F2: riduzione consumi verificata $\geq 35\%$ su almeno 3 barche Config.B + $\geq 80\%$ su Config.L entro M12; sistema IoT operativo su tutti i siti GO. NO-GO: riduzione $< 30\%$ su tutte le barche → revisione tecnica prima di scale-up (team tecnico + CNR-IAS)</p>	<p>§23.2 (piano M&V); Cap.12 (IoT); Cap.17 (CBA — verifica vs proiezioni); All.C (KPI Register — prima misurazione reale); §14.2 LL-08 (open data). DATI GENERATI: primo corpus di dati operativi reali per upgrade Lv.3→Lv.2 delle assunzioni A-01+A-10.</p>
<p>F-2</p>	<p>Analisi dati e LCA completa (M18–M24) 6 mesi</p>	<p>Elaborazione dati IoT Fase 1; LCA completa ISO 14040/14044 (da screening a LCA con dati primari); aggiornamento CBA con dati reali; peer review esterna dei dati M&V; pubblicazione paper scientifico CNR-IAS + R3; preparazione dossier scale-up</p>	<p>Report analisi dati Fase 1 (con statistiche descrittive); LCA completa v1.0 (da confrontare con screening Cap.13); CBA aggiornata (da confrontare con Tab.17.1); paper scientifico su Fisheries Research o ICES Journal; dossier scale-up per FEAMPA Fase 2</p>	<p>GO-F3: riduzione GHG confermata $\geq 40\%$ con dati primari (LCA completa — no screening); almeno 1 CER portuale pienamente operativa; report audit FEAMPA positivo. NO-GO: riduzione GHG $< 40\%$ → ricalibrazione tecnica (es. upgrade FV o storage) prima di scale-up regionale</p>	<p>Cap.13 (§13.8 — upgrade da screening a LCA completa); §17.3 (CBA aggiornata con dati reali); §1.3 (upgrade livelli di evidenza: target $\geq 70\%$ Lv.1–2 nella LCA completa); §14.2 LL-08 (paper peer-reviewed — KPI PROJ-07 All.C).</p>
<p>F-3</p>	<p>Scale-up regionale (M24–M48) 24 mesi</p>	<p>Estensione a ≥ 15 barche su ≥ 3 siti sardi; attivazione Config. A (paranza 17–25m) con FV 6kWp se VAN>0 confermato; estensione CER portuale a 3 siti; produzione linee guida nazionali per piccola pesca; trasferimento del Kit R3 ad altre regioni italiane (Puglia, Campania, Sicilia — §14.3)</p>	<p>15+ barche retrofit; 3 CER portuali attive; Linee guida R3 per piccola pesca italiana (documento pubblico MASE/MASAF); dataset open aggiornato; report finale FEAMPA; proposta di modifica regolamentare MASAF su accisa gasolio</p>	<p>GO finale (scala nazionale): ≥ 15 barche con riduzione verificata $\geq 40\%$ GHG; ≥ 3 CER portuali con autoconsumo $\geq 50\%$; linee guida adottate da almeno 1 AdG FEAMPA regionale oltre la</p>	<p>§21.3 (piano scale-up); §14.2 LL-11 (Kit R3); Tab.14.3 (precedenti FEAMPA regionali — target per trasferimento); Cap.26 (raccomandazioni finali e condizioni abilitanti per lo scale-up nazionale).</p>

F-M&V (trasversale alle fasi)	Monitoraggio e Verifica (M6–M48 continuo)	Raccolta dati IoT mensile; calcolo KPI (27 KPI, All.C); report trimestrale; audit semestrale interno; verifica DNSH annuale; aggiornamento livelli di evidenza (Lv.3→Lv.2→Lv.1); comunicazione pubblica risultati; supporto rendicontazione FEAMPA	per barche ibride	Sardegna. USCITA: progetto R3 conclude con un impatto normativo misurabile	§23.2 (piano M&V dettagliato — protocolli, frequenze, strumenti); All.C (KPI Register — 27 KPI con soglie, formule e responsabili); §1.3 (sistema Lv.1–4 — il M&V è lo strumento principale per l'upgrade dei livelli); §19.1 (DNSH Obj.1 — verifica annuale TSC ≥40%).
			Report mensili M&V; Dashboard KPI in tempo reale (All.C); report audit DNSH annuale; aggiornamento dataset open; comunicati stampa semestrali; dati per Rapporto Ambientale VAS PO FEAMPA (indicatori IA- 01, IA-02 — Tab.1.2)	Soglie di allerta M&V: KPI EN-01 (consumo kWh/gg) con variazione >10% vs target → trigger revisione tecnica. KPI EM-01 (kgCO ₂ /gg) <40% riduzione su qualsiasi barca → revisione sistema + audit tecnico. KPI OP-04 (disponibilità sistema ≥95%) < 90% → attivazione clausola SLA fornitore (contratto All.D)	

Nota: Le durate delle fasi (F-0: 6 mesi, F-1: 12 mesi, F-2: 6 mesi, F-3: 24 mesi) sono indicative e condizionate ai criteri GO. In caso di NO-GO (riduzione consumi < soglia o assenza CER), la fase successiva è rinviata o avviata in forma parziale (solo sui siti/barche che soddisfano i criteri). Il workflow è il riferimento primario per il cronoprogramma §21.1 e per i criteri GO/NO-GO di §17.5.2. La fase F-0 inizia dal kick-off formale del progetto (previsto: gennaio 2027, da confermare con delibera UN.I.COOP). Collegamento: §21.1 (Gantt dettagliato con milestone); §17.5.2 (criteri GO/NO-GO con tabella decisionale); Tab.15.4 (cronoprogramma VInC inserito in F-0).

2.2 Criteri di selezione tecnologie

I criteri di selezione delle tecnologie (Tabella 2.2) sono filtri applicati prima di qualsiasi analisi comparativa tra soluzioni alternative: una tecnologia che non supera i criteri C-T1 (idoneità marina, IP rating) o C-T2 (sicurezza batterie, LiFePO₄) è esclusa dalla selezione indipendentemente dalle sue prestazioni energetiche o economiche. Questo approccio 'gate-and-rank' — prima si eliminano le tecnologie inadatte, poi si ordinano le ammissibili — evita il rischio di selezionare la soluzione economicamente ottimale ma tecnicamente inappropriata per l'ambiente marino.

I cinque criteri (C-T1÷C-T5) sono organizzati in ordine decrescente di criticità eliminatoria: C-T1 e C-T2 sono eliminatori assoluti (nessuna deroga possibile); C-T3 e C-T4 sono eliminatori condizionati (derogabili con soluzione tecnica equivalente documentata); C-T5 è un criterio di conformità che può essere soddisfatto in modo progressivo (alcune certificazioni ottenibili dopo la selezione ma prima dell'installazione, con roadmap documentata). La Tabella 2.2 riporta, per ciascun criterio, il peso relativo, le soglie minime, le tecnologie escluse a priori e la giustificazione tecnica con rimando ai capitoli dello studio.

Tabella 2.2 — Criteri di selezione tecnologie (C-T1÷C-T5): 5 dimensioni con peso, soglie, esclusioni a priori e giustificazione tecnica

Criterio (peso 1–5)	Dimensione tecnica e contesto	Soglia minima ammissibilità	Tecnologie escluse a priori	Giustificazione e connessione con i capitoli dello studio — perché questo criterio è eliminatorio o preferenziale
---------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---

<p>C-T1 ★★★★★ Idoneità marina</p>	<p>Compatibilità con l'ambiente marino sardo: salinità 35–40 PSU, umidità >85% RH, vibrazioni scafo, cicli termici $-5^{\circ}\text{C} \div +45^{\circ}\text{C}$. IP rating su tutti i componenti elettrici esposti.</p>	<p>IP66 per componenti in coperta; IP55 per componenti in sala macchine. Certificazione RINA Rules Part E Cap.17 o equivalente (Lloyd's, DNV-GL) per il sistema integrato propulsione/batterie.</p>	<p>Batterie NMC (rischio thermal runaway in marina); motori brushed DC (corrosione spazzole); inverter/charger non marine-grade (PCB non verniciati); connettori CEE non waterproof (non conformi CEI 64-8 §709)</p>	<p>La pesca artigianale sarda opera in condizioni marine tra le più severe del Mediterraneo: il Golfo di Cagliari e le acque sulcitate registrano fino a 180 giorni/anno di mare forza ≥ 3 (ISPRA 2023). Un componente elettrico non progettato per l'ambiente marino si guasta in media entro 18 mesi in queste condizioni (dato da caso studio Napoli 2011, LL-02, §14.1.1). Il requisito IP66/55 è il filtro tecnico primario nella selezione fornitori (All.D §D.2). Cap.10 §10.2 (batterie marine-grade); Cap.9 §9.4 (motore EL marine-grade); Cap.11 §11.3 (quadro bordo certificato).</p>
<p>C-T2 ★★★★★ Sicurezza batterie</p>	<p>Sicurezza termica, elettrica e meccanica del pacco batterie in ambiente chiuso (sala macchine, stiva). Zero rischio di thermal runaway in condizioni operative normali e in caso di guasto singolo.</p>	<p>LiFePO₄ come unica chimica ammessa (non NMC, non NCA, non LTO). Certificato IEC 62619:2022. BMS con protezione sovratemperatura, sovraccarica, cortocircuito e squilibrio celle. Sensore H₂ e ventilazione forzata per compartimento batterie (MSC.1/Circ.1605).</p>	<p>NMC, NCA, LiCo₂ (rischio TR); Pb-acido (vita utile <4 anni in marina, LL-01); LTO (costo/kWh proibitivo per CAPEX R3); supercapacitor come storage primario (densità energetica insufficiente per 6h autonomia)</p>	<p>Il rischio di incendio da batterie a bordo di imbarcazioni da pesca è documentato da 4 incidenti MSC negli ultimi 5 anni (MSC Circ.1574, 2020; MSC Circ.1605, 2022). IMO ha emesso la MSC.1/Circ.1605 specificamente per il fire safety delle batterie a bordo. La scelta di LiFePO₄ (la sola chimica con rischio TR praticamente assente a temperature <80°C) è l'unico approccio compatibile con un rischio accettabile in ambiente marino confinato. Non è una scelta di ottimizzazione ma un requisito di sicurezza minimo. Cap.10 §10.1 (scelta LiFePO₄); §8.2.2 (MSC.1/Circ.1605 — requisiti fire safety); All.D §D.3 (specifiche sicurezza batterie).</p>
<p>C-T3 ★★★★★ Manutenibilità e SLA locale</p>	<p>Capacità del sistema di essere mantenuto da tecnici locali con formazione base (2 giorni) senza richiedere strumentazione specialistica non reperibile in Sardegna entro 48h. Contratto SLA con fornitore (response time max 48h per guasto BMS).</p>	<p>Disponibilità di manuale di manutenzione in italiano; interfaccia diagnostica BMS accessibile via app mobile o PC standard; scorte di parti di ricambio critiche (fusibili, connettori, sensori) reperibili in Sardegna entro 24h.</p>	<p>Sistemi proprietari con diagnostica cloud-only (dipendenza da connettività per qualsiasi operazione di manutenzione); sistemi con contratto manutenzione esclusivo del costruttore (no accesso terzi); sistemi senza manuale in italiano</p>	<p>La lezione più costosa documentata dal benchmark è la mancanza di manutenzione locale: il guasto BMS del 2015 sulla barca campana (§14.1.1, LL-02) ha generato 11 settimane di fermo barca e €14.000 di costo totale (mancato reddito + riparazione). L'indice di manutenibilità del sistema R3 è misurato dal KPI OP-04 (disponibilità sistema $\geq 95\%$, All.C). Il requisito SLA 48h è inserito come clausola contrattuale vincolante nel capitolato All.D §D.4. Un sistema con ottima performance tecnica ma senza manutenibilità locale è inadatto alla piccola pesca cooperativa sarda.</p>
<p>C-T4 ★★★★★ Scalabilità e interoperabilità</p>	<p>Compatibilità del sistema con l'architettura IoT comune del progetto R3 (protocollo MQTT/TLS, API REST, gateway LoRa — §12.3). Possibilità di aggiungere sensori o funzioni senza</p>	<p>Interfaccia di comunicazione aperta (MQTT o Modbus TCP) per l'integrazione con il gateway IoT R3. Aggiornamenti firmware OTA (over-the-air) senza accesso fisico. Supporto per almeno 5 anni di aggiornamenti di</p>	<p>Sistemi con protocolli proprietari non documentati (vendor lock-in); sistemi senza supporto OTA (aggiornamenti manuali non applicabili alla flotta dispersa); sistemi senza API aperta per</p>	<p>La piattaforma IoT R3 (§12.1) è progettata come sistema hub-and-spoke: ogni barca è un nodo che trasmette dati standardizzati al cloud R3. Un sistema propulsivo con protocollo proprietario chiuso non può essere integrato senza un gateway dedicato aggiuntivo (costo: €800–1.500 per barca). L'interoperabilità è un criterio economico prima ancora che tecnico: ogni sistema non-standard aumenta il CAPEX e il OPEX IoT, riducendo il VAN.</p>

	sostituzione del sistema principale (architettura modulare).	sicurezza dal fornitore.	integrazione piattaforma dati M&V	§12.3 (protocolli IoT); §12.4 (CRA e aggiornamenti OTA — §2.2.3).
C-T5 ★★★★★ Conformità normativa prioritaria	Conformità documentata con l'insieme normativo completo applicabile al sistema: IEC 60092, IEC 62619, IEC 62196, MSC.1/Circ.1605, RINA Rules, Reg.UE 2023/1542 (CFD batterie), Reg.UE 2024/2847 (CRA per IoT), AI Act per PMS. Tutte le certificazioni pertinenti devono essere disponibili prima dell'installazione.	Certificati di conformità disponibili e non scaduti per tutti i componenti principali. CFD del fornitore di batterie disponibile (obbligatoria da luglio 2024 per batterie industriali — §8.3.2). Dichiarazione di conformità CRA per gateway IoT e BMS connesso. Nessun componente soggetto a restrizioni REACH (Reg.EC 1907/2006) senza MSDS aggiornato.	Componenti con certificazioni scadute; batterie senza CFD post-luglio 2024; gateway IoT con vulnerabilità note non corrette (CVE con CVSS ≥7.0) senza patch disponibile; PMS con classificazione AI Act All.III senza documentazione tecnica	La conformità normativa è trattata come criterio di selezione (e non come verifica post-selezione) perché i tempi di regolarizzazione di una non-conformità possono bloccare l'intero pilota: un fornitore di batterie senza CFD non può essere sostituito in pochi giorni. I criteri C-T5 si collegano ai tre capitoli normativi (§2.2.3 CRA, §2.2.4 Reg.Batterie, §8.2.1–8.2.2 RINA+IMO) che definiscono nel dettaglio i requisiti di ciascuna delle normative citate. Cap.7 e Cap.8 (quadro normativo completo); All.D (capitolato con clausole di conformità).

Nota: I criteri C-T1 e C-T2 (sfondo ambra e rosso) sono eliminatori assoluti: nessuna soluzione tecnica priva di IP66/55 o con chimica diversa da LiFePO4 è ammessa alla valutazione, indipendentemente dal costo o dalle prestazioni dichiarate. I criteri C-T3 e C-T4 (sfondo blu e verde) sono eliminatori condizionati: in assenza del requisito esatto, il proponente può documentare una soluzione equivalente (es. contratto SLA con SLA più lungo in luogo dei 48h, o API proprietaria con emulazione MQTT). Il criterio C-T5 (sfondo teal) include i requisiti normativi dettagliati nei §2.2.3 e §2.2.4. La colonna 'Tecnologie escluse a priori' (sfondo rosso) è la lista negativa definitiva per il capitolato All.D. Collegamento: All.D §D.2–D.6 (clausole contrattuali corrispondenti a ciascun criterio); Cap.9–11 (specifiche tecniche sistemi selezionati).

2.2.1 Idoneità alla piccola pesca e alle imbarcazioni lagunari

Il criterio C-T1 (idoneità marina) è il filtro tecnologico primario perché le condizioni operative della piccola pesca sarda sono tra le più severe del Mediterraneo per i componenti elettrici: salinità dell'aria fino a 40 PSU (vs 10–20 PSU di porti lagunari del Nord Europa), umidità relativa >85% RH per oltre 200 giorni/anno, vibrazioni meccaniche dello scafo in vetroresina o legno superiori a quelle dello scafo in acciaio (maggiore trasmissione delle frequenze da 50 a 200 Hz associate alla propulsione diesel), e cicli termici con escursione annua da -5°C a +45°C. Questi parametri combinati accelerano la degradazione dei componenti elettronici non progettati specificamente per l'ambiente marino, come documentato dal caso studio napoletano del 2011 (§14.1.1, LL-02): il pacco Pb-acido non marine-grade ha avuto vita utile di 3–4 anni invece degli 8 previsti.

Per le imbarcazioni lagunari (Config. L), i requisiti aggiuntivi includono: resistenza alla corrosione in acque salmastre con alta variabilità di salinità (15–50 mS/cm), resistenza ai fanghi ricchi di H₂S delle lagune eutrofiche (Cabras, Santa Gilla), e protezione IP adeguata per scafi con franchibordo ridotto (rischio allagamento in condizioni di carico pieno). Il requisito IP66 per i componenti in coperta è più stringente di quello tipicamente applicato in ambienti marini con franchibordo elevato.

2.2.2 Safety, manutenzione e marine-grade (IP rating, corrosione)

Il criterio C-T2 (sicurezza batterie) è l'unico criterio eliminatorio senza eccezioni possibili: la scelta di LiFePO4 come unica chimica ammessa non è ottimizzabile in base al costo o alle prestazioni. La scelta si basa su una valutazione del rischio sistematica (IEC 62619 §4 — safety requirements per le batterie nei sistemi di stoccaggio): la LiFePO4 è la sola chimica con temperatura di innesco del thermal runaway >270°C (vs 150–180°C per NMC e NCA), con meccanismo di guasto 'fail-safe' (la cellula LFP guasta riduce l'impedenza invece di aumentarla, consentendo al BMS di isolarla senza propagazione della reazione). In un ambiente marino confinato (sala macchine con ventilazione limitata, vicinanza a carburante diesel), il rischio di thermal runaway da NMC in caso di guasto singolo è incompatibile con la sicurezza della vita umana a bordo.

Il requisito di manutenibilità locale (C-T3) è trattato come criterio quasi-eliminatore perché le esperienze di benchmark documentano che il fermo barca per mancanza di tecnici locali è il failure mode più costoso non per il guasto in sé, ma per i tempi di attesa. La prescrizione del contratto SLA con response time 48h è inserita nel capitolato All.D come clausola risolutiva (inadempimento reiterato → risoluzione del contratto di fornitura e assistenza, con diritto al risarcimento del mancato reddito barca).

2.2.3 Conformità Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847) come criterio di selezione IoT

Il Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847, CRA) è entrato in vigore il 10 dicembre 2024 ed è applicabile — con periodo di transizione di 36 mesi — dal settembre 2027 per i prodotti standard con elementi digitali (All.I). I sistemi IoT del progetto R3 (gateway bordo, BMS connesso, colonnine smart) rientrano nella categoria 'prodotti standard con elementi digitali' ai sensi dell'art.2 CRA: si tratta di prodotti hardware/software posti sul mercato UE con elementi digitali che elaborano dati personali (GPS) o dati operativi (SoC batterie, consumo kWh). Il CRA è trattato come criterio di selezione anticipato (non come mero requisito di conformità post-selezione) perché i prodotti senza supporto CRA-ready non avranno il mercato UE dopo il 2027 — selezionare un fornitore non-CRA nel 2027 significa programmare la sostituzione del sistema entro pochi anni.

Le implicazioni operative del CRA sulla selezione IoT R3 sono quattro: (a) supporto OTA obbligatorio per ≥5 anni (filtro che esclude i fornitori che non garantiscono il supporto firmware a lungo termine); (b) obbligo del fornitore di notificare vulnerabilità entro 24h (clausola CRA-01 del capitolato All.D); (c) disponibilità dell'SBOM su richiesta (clausola CRA-02); (d) esclusione di gateway con vulnerabilità note non corrette (CVE con CVSS ≥7.0 — criteri C-T5 della Tab.2.2). La Tabella 2.3 dettaglia le implicazioni del CRA e del Reg. Batterie sulla selezione tecnologica e sul capitolato.

2.2.4 Conformità Reg. (UE) 2023/1542 (Reg. Batterie) — Carbon Footprint Declaration

Il Regolamento Batterie (Reg. UE 2023/1542) introduce per la prima volta nella legislazione europea l'obbligo di Carbon Footprint Declaration (CFD, art.7) per le batterie industriali con capacità ≥2 kWh, con effetto dal 18 luglio 2024. Tutti i pack batterie del progetto R3 superano la soglia: il pack minimo (Config. L, 12 kWh) è sei volte sopra la soglia. Questo significa che qualsiasi acquisto di batterie per il progetto R3 — anche nell'ambito della Fase 0 (campionamento per test) — è soggetto all'obbligo di CFD del fornitore.

L'impatto metodologico della CFD sulla LCA R3 è duplice: (a) il valore GWP riportato nella CFD del fornitore selezionato sostituisce o integra il valore ecoinvent 3.9 usato nella LCA screening (74,4 kgCO₂ eq/kWh, §13.3.1) — se il GWP della CFD è >80 kgCO₂ eq/kWh, il calcolo DNSH Obj.1 deve essere ripetuto; (b) la CFD è la base per il confronto con la soglia di performance class prevista dal Reg. Batterie a partire da febbraio 2027 (classe A, B, C in funzione del GWP lifecycle). La Tabella 2.3 include anche i requisiti di due diligence supply chain e Battery Digital Passport (BDP) del Reg. Batterie, con le implicazioni per il capitolato All.D.

Tabella 2.3 — CRA (Reg. UE 2024/2847) e Reg. Batterie (Reg. UE 2023/1542): requisiti, scadenze, componenti R3 interessati e implicazioni concrete per la selezione tecnologica e il capitolato All.D

Regolamento UE	Art. / Allegato rilevante	Requisito sostanziale	Scadenza / entrata in vigore	Componente R3 interessato	Implicazione concreta sulla selezione tecnologica e sul capitolato R3 — azione richiesta e riferimento All.D
Reg.UE 2024/2847 (Cyber Resilience Act — CRA)	Art.6 — requisiti essenziale cibersicurezza; All.I Parte I (requisiti prodotti con elementi digitali)	Prodotti con elementi digitali (PED) posti sul mercato UE devono essere progettati senza vulnerabilità note sfruttabili; aggiornamenti di sicurezza automatici per l'intera vita utile prevista; documentazione tecnica con analisi dei rischi cyber	Applicabile da settembre 2026 (transitorio 36 mesi da dic.2024); per prodotti critici (All.III) da settembre 2026	Gateway IoT bordo (§12.3); BMS connesso in rete (§10.3); PMS / sistema gestione propulsione (§9.5); sistema ricarica smart CER portuale (§5.5)	CRITERIO DI SELEZIONE GATEWAY IoT: il gateway deve avere supporto OTA (over-the-air) aggiornamenti di sicurezza per ≥5 anni dal momento della fornitura. Fornitore deve rilasciare Dichiarazione di Conformità CRA (DoC CRA) entro la firma del contratto. Capitolato All.D §D.5: clausola CRA-01 — obbligo del fornitore di notificare vulnerabilità entro 24h dalla scoperta

<p>Reg.UE 2024/2847 (CRA)</p>	<p>Art.13 — obblighi produttore; Art.14 — notifica vuln.; Art.16 — SBOM</p>	<p>Produttore deve notificare vulnerabilità attivamente sfruttate all'ENISA entro 24h; deve fornire SBOM (Software Bill of Materials) su richiesta dell'autorità di vigilanza; deve mettere a disposizione aggiornamenti di sicurezza gratuitamente</p>	<p>Notifica ENISA applicabile da set. 2026; SBOM: su richiesta autorità da set.2026</p>	<p>Firmware gateway IoT bordo; firmware BMS; applicazione mobile di diagnostica (§12.6)</p>	<p>+ fornitura patch entro 72h per vulnerabilità CVSS ≥ 7.0. CRITERIO DI SELEZIONE PMS: il PMS deve rimanere in modalità advisory-only (AI Act, §8.3.4) AND essere conforme CRA — doppio vincolo normativo sulla stessa componente.</p> <p>CAPITOLATO All.D §D.5 — clausola CRA-02: il fornitore di gateway e BMS deve impegnarsi contrattualmente a: (a) notificare al referente tecnico R3 qualsiasi vulnerabilità entro 24h dalla notifica a ENISA; (b) fornire SBOM dei componenti firmware su richiesta del DPO della cooperativa; (c) garantire aggiornamenti firmware gratuiti per 7 anni dalla data di fornitura (minimo di vita utile del sistema ibrido). NOTA: il CRA non impone la certificazione di terza parte per i prodotti standard (All.I) — solo per i prodotti critici (All.II e All.III). I gateway IoT marittime rientrano tipicamente nella categoria standard.</p>
<p>Reg.UE 2023/1542 (Regolamento Batterie)</p>	<p>Art.7 — Carbon Footprint Declaration (CFD); All.XIII — metodo calcolo CFD</p>	<p>Le batterie industriali con capacità ≥ 2 kWh (incluse le batterie LiFePO4 per propulsione marina) devono essere accompagnate da una Carbon Footprint Declaration (CFD) che quantifica il GWP lifecycle secondo ISO 14067. Obbligatorio dal 18 luglio 2024.</p>	<p>Obbligatorio per batterie industriali ≥ 2 kWh dal 18 luglio 2024; performance class da feb.2027; label obbligatoria da aug.2027</p>	<p>Pack LiFePO4 30 kWh (Config. B e A); pack LiFePO4 50 kWh (Config. C); pack LiFePO4 12 kWh (Config. L) — TUTTI i pack superano la soglia di 2 kWh</p>	<p>CRITERIO DI SELEZIONE BATTERIE (ELIMINATORIO): nessun fornitore di batterie è ammesso alla selezione senza CFD in formato conforme all'All.XIII del Reg.2023/1542. La CFD deve essere disponibile PRIMA della firma del contratto. AZIONE IMMEDIATA (già in ritardo): la CFD è obbligatoria dal luglio 2024 — qualsiasi acquisto di batterie > 2 kWh senza CFD del fornitore è una non-conformità al Reg.UE. Il capitolato All.D §D.6 inserisce la CFD come condizione sospensiva del contratto di fornitura. Il valore GWP della CFD deve essere ≤ 80 kgCO₂ eq/kWh per confermare l'assunzione LCA del Cap.13 §13.3.1 (74,4 kgCO₂ eq/kWh da ecoinvent 3.9). Se la CFD del fornitore selezionato riporta un GWP > 80 kgCO₂ eq/kWh, il calcolo DNSH Obj.1 (§19.1.1) deve essere rieseguito.</p>
<p>Reg.UE 2023/1542 (Reg. Batterie)</p>	<p>Art.11 — Due diligence supply chain; Art.52 —</p>	<p>Produttori devono implementare una due diligence sulla catena di</p>	<p>Due diligence: applicabile da febbraio</p>	<p>Pack LiFePO4 (Co assente, Li e Mn presenti);</p>	<p>CAPITOLATO All.D §D.6 — clausole due diligence: il fornitore di batterie deve dimostrare la</p>

	passaporto digitale batteria (BDP)	approvvigionamento per i materiali critici (Co, Ni, Li, Mn, Nd). Dal 2027, ogni batteria industriale ≥ 2 kWh deve avere un Battery Digital Passport (BDP) con dati su composizione, carbon footprint e istruzioni smaltimento.	2025; BDP: da febbraio 2027 (per batterie > 2 kWh)	motore EL PM 15kW (Nd come CRM — §13.4.1)	catena di approvvigionamento del Li (litio) e del Mn (manganese) con documentazione di provenienza conforme agli standard OECD Due Diligence Guidance (2016). Per il Nd (neodimio) nel motore EL: il fornitore deve dichiarare la percentuale di Nd da fonti con certificazione ESG (target: $\geq 30\%$ da riciclo o da fonti certificate non-cinesi entro la Fase 3). NOTA BDP: le barche del pilota Fase 1 (2027) saranno acquistate PRIMA dell'obbligo BDP — il capitolato deve comunque richiedere la disponibilità del fornitore a emettere BDP volontario per le batterie fornite, per anticipare il requisito del 2027 e aumentare la bankability del progetto verso investitori ESG.
--	------------------------------------	---	--	---	--

Nota: Il CRA si applica in via principale ai gateway IoT bordo, al BMS connesso e alle colonnine smart (non alle batterie in senso stretto — quelle sono soggette al Reg. Batterie). Il Reg. Batterie si applica ai pack LiFePO₄. I due regolamenti si sovrappongono parzialmente sul BMS connesso: il BMS è contemporaneamente 'batteria' ai sensi del Reg. Batterie e 'prodotto con elementi digitali' ai sensi del CRA. Il capitolato All.D §D.5–D.6 tratta questa sovrapposizione con clausole distinte ma complementari. La riga del Reg. Batterie con sfondo verde (art.7 CFD) è evidenziata perché l'azione è IMMEDIATA (obbligatoria dal luglio 2024 — già in vigore al momento dello studio). Collegamento: §8.3.1–8.3.4 (quadro normativo CRA, AI Act, GDPR nel dettaglio); §13.3.1 (valore GWP LCA screening da confrontare con CFD fornitore).

2.3 Assunzioni e limiti (A-Log) + Gap closure plan

L'A-Log (Assumption Log) è il registro formale delle 12 assunzioni principali dello studio, con indicazione per ciascuna del valore adottato, del livello di evidenza (Lv.1–4), dei capitoli che la utilizzano, del milestone di chiusura del gap (quando applicabile) e del rationale della scelta con il trattamento nell'analisi quantitativa. L'A-Log costituisce la documentazione formale del gap closure plan del progetto: ogni assunzione Lv.3 o Lv.4 ha un milestone specifico entro cui i dati primari del pilota consentiranno il suo upgrade a un livello superiore.

Due assunzioni meritano una nota specifica per la loro criticità sul risultato principale dello studio: A-01 (prezzo gasolio netto €0,67/l, Lv.1) e A-03 (riduzione consumi Config. B –45%, Lv.3). L'assunzione A-01 è critica per il segno del VAN: se si usa erroneamente il prezzo lordo €1,25/l invece del prezzo agevolato, il risparmio annuo risulta dell'86% superiore al valore corretto, producendo VAN positivi anche per configurazioni non convenienti. L'assunzione A-03 è critica per la varianza del VAN: la riduzione dei consumi è la variabile con la più alta elasticità sul risultato economico ($\pm 5\%$ sulla riduzione $\rightarrow \pm 10\%$ sul VAN, §17.3.2). L'upgrade A-03 da Lv.3 a Lv.2 con dati IoT del pilota è pertanto il gap di evidenza più importante da chiudere nella Fase 1.

Tabella 2.4 — A-Log (Assumption Log): 12 assunzioni principali con valore adottato, livello di evidenza (verde=Lv.1, blu=Lv.2, ambra=Lv.3, rosso=Lv.4), milestone di chiusura gap e rationale metodologico

ID assunz.	Descrizione sintesi	Valore adottato (e range)	Liv. evid.	Capitoli che usano	Milestone chiusura gap	Razionale della scelta, range incertezza e trattamento metodologico nelle analisi quantitative
A-01	Gasolio pesca: prezzo netto agevolato	€ 0,67/l (range: 0,60÷0,75)	Lv.1	§17.1.1 §17.2.1 §17.3.2	N/A (dato normativo)	Prezzo gasolio lordo €1,25/l (media MISE Q4/2024) meno accisa agevolata €0,58/l (D.Lgs 504/1995 art.14 — categoria 'pesca marittima', aliquota fissa). Errore metodologico

						critico se si usa il prezzo lordo €1,25/l: il risparmio annuo risultante sarebbe del 86% superiore al valore corretto, rendendo positivi VAN e payback anche per configurazioni non convenienti. Il prezzo netto €0,67/l è classificato Lv.1 perché deriva direttamente da un testo normativo. Il range €0,60–0,75 è usato nell'analisi di sensitività §17.3.2 per coprire eventuali variazioni future della componente lordo (scenario aumento prezzi petrolio).
A-02	Giornate di pesca annue operative	200 gg/anno (range: 160÷220)	Lv.2	§17.1.1 Cap.13 All.C	M6 (dati GdB Fase 1)	Media STECF 23-01 per GSA 11 — barche <12m: 195 giornate/anno ±18 (CV 9%). Il valore 200 gg/anno è leggermente ottimistico (+2,5%) rispetto alla media GSA 11 ma è conservativo rispetto alle barche lagunari (Cabras: ~230 gg/anno, pescata quasi tutto l'anno). Classificato Lv.2 perché basato su dato statistico ufficiale non specifico per le barche campione. Nella Fase 1, il dato reale sarà disponibile da e-VMS per ciascuna barca pilota. Range 160–220 usato in Monte Carlo (distribuzione triangolare, moda 200).
A-03	Riduzione consumi gasolio Config. B	-45% (range: 35÷55%)	Lv.3	§17.1.1 Cap.13 §19.1.1	M12 (verifica pilota)	Media ponderata da 6 casi studio analoghi (§14.1): Lesbos 38–44% (Lv.1, peer-reviewed); Campania 30–35% (Lv.3, dichiarazione armatore); Norvegia 42% (Lv.2, report progetto); Croazia 46% (Lv.2). La media ponderata per pertinenza al contesto sardo (condizioni meteo-marine GSA 11) è 45%, classificata Lv.3 perché nessun dato primario sardo è disponibile. Classificazione: assunzione A-03. La variabile 'riduzione consumi' è la variabile con la più alta elasticità sul VAN (±10% sul VAN con ±5% sulla riduzione, §17.3.2). Range 35–55% copre tutta la variabilità documentata nei casi studio benchmark. UPGRADE TARGET: Lv.3→Lv.2 con dati IoT Fase 1 entro M12.
A-04	Riduzione consumi gasolio Config. L	-90% (range: 82÷95%)	Lv.2	§17.1.1 Cap.13	M7 (verifica pilota L)	Riduzione teorica da modello propulsivo per barca lagunare <6m EL-pura: il motore diesel (7–10 kW) è sostituito da motore EL 5 kW alimentato da batterie 12 kWh ricaricate da rete o CER portuale. Il residuo 10% di gasolio è il consumo per le uscite in mare aperto con ausiliario diesel (stima conservativa). Il dato è classificato Lv.2 (modello analitico con assunzioni documentate) perché supportato da due casi studio lagunari con dati (Cabras 2018 — report Regione Sardegna;

						Venezia 2023 — dati FEAMPA Veneto, §14.3). Range 82–95% nella simulazione Monte Carlo.
A-05	Tasso di sconto per VAN	5% (range: 3÷8%)	Lv.2	Cap.17 (tutti)	N/A (scelta metodologica)	Tasso di sconto reale per investimenti nel settore pesca artigianale italiana: linea guida MISE per CBA di investimenti PMI nel settore primario (Circolare MISE 2019). Il tasso del 5% è il tasso di riferimento per la valutazione di investimenti FEAMPA nella prassi dell'AdG FEAMPA Italia (confermato informalmente dall'AdG FEAMPA Sardegna in sede di pre-consultazione). Il range 3–8% include il tasso BCE di riferimento (3%, giugno 2024) come limite inferiore e un tasso di rischio settore pesca come limite superiore. La sensibilità del VAN al tasso di sconto è analizzata in §17.3.2: con tasso 8% il VAN Config. B rimane positivo (+€7.200); con tasso 3% sale a +€14.900.
A-06	FE rete Sardegna (tCO ₂ /kWh)	0,350 kg/kWh (range: 0,320÷0,390)	Lv.1	Cap.13 §19.1.1	N/A (dato ISPRA annuale)	Fattore di emissione della rete elettrica italiana per la Sardegna: ISPRA Inventario Nazionale Emissioni 2023, Tabella 7.3. Il valore per la Sardegna (0,350 kgCO ₂ /kWh) è più alto della media nazionale (0,327 kgCO ₂ /kWh) per la maggiore penetrazione di carbone e gas nella generazione locale. Dato da aggiornare annualmente con la pubblicazione ISPRA. NOTA CRITICA: la riduzione del FE rete (trend previsto –20% entro 2030 per Sardegna, per effetto Tyrrhenian Link e VRE): se FE rete scende a 0,28 kgCO ₂ /kWh, la conformità DNSH Obj.1 si raggiunge anche senza CER portuale (§13.5). Monitorare aggiornamento ISPRA annuale.
A-07	FE CER portuale (kgCO ₂ /kWh)	0,050 kg/kWh (range: 0,020÷0,080)	Lv.3	Cap.13 §19.1.1 §5.5	M5 (prima CER operativa)	Stima per mix FV portuale (pannelli monocristallini, periodo vita 25 anni, FE produzione FV da ecoinvent: 0,040–0,060 kgCO ₂ /kWh). Il dato GSE per impianti FV <100 kWp in Sardegna non è disponibile in forma disaggregata. L'assunzione centrale 0,050 è conservativa rispetto ai valori di letteratura (media FV in Italia: 0,020–0,040 kgCO ₂ /kWh, JRC 2022). IMPATTO CRITICO: se FE CER = 0,020 (ottimistico), la riduzione GWP Config. B con CER sale al –43,5%. Se FE CER = 0,080 (pessimistico), scende al –40,2% — ancora sopra la soglia TSC 40% ma con margine minore. In entrambi i casi la conformità DNSH Obj.1 è mantenuta (§13.5). UPGRADE: Lv.3→Lv.2

						con dati reali della CER pilota Sulcis entro M5.
A-08	Vita utile sistema ibrido (anni)	10 anni (range: 8÷12)	Lv.2	Cap.13 Cap.17	M24 (post-pilota Fase 2)	Vita utile convenzionale adottata per la CBA e la LCA. Basata su: garanzia fornitore batterie LiFePO4 ≥8 anni (Lv.2, offerte tecniche ricevute); vita utile motore EL navale in condizioni marine: 15–20 anni (Lv.2, dati costruttori); vita utile scafo barca da pesca: 25+ anni (invariato dal retrofit). Il componente limitante è la batteria (8–10 anni in uso moderato marino). L'orizzonte temporale di 10 anni è usato come periodo di riferimento sia nella CBA (§17.1.2) sia nella LCA fase B6 (§13.2.3). Range 8–12 anni in Monte Carlo (distribuzione triangolare, moda 10 anni). Impatto sul VAN: con vita utile 8 anni, VAN Config. B scende a +€6.300 (positivo); con 12 anni, sale a +€16.500.
A-09	Tasso inflazione gasolio (%/anno)	+1,5%/anno (range: 0÷4%)	Lv.3	Cap.17	N/A (scenario macroeconomico)	Scenario macroeconomico base: inflazione del prezzo del gasolio pesca al +1,5%/anno reale nel periodo 2027–2037 (Assunzione A-09). Fonte: media storica 2010–2024 per il gasolio agricolo/pesca in Italia (+1,8%/anno in termini reali). Classificato Lv.3 perché le proiezioni di prezzo del petrolio oltre 3–5 anni sono intrinsecamente incerte. Scenario ottimistico per il progetto R3 (alto tasso inflazione gasolio → maggiore risparmio): +4%/anno porta VAN Config. B a +€18.200. Scenario pessimistico (gasolio stabile o in calo per transizione energetica): 0%/anno porta VAN Config. B a +€9.100 — ancora positivo. Range 0–4% in Monte Carlo (distribuzione triangolare).
A-10	OPEX IoT annuo per barca	€ 1.800/anno (range: 1.400÷2.400)	Lv.3	§17.2.1 All.C	M12 (OPEX reale pilota)	Stima basata su: abbonamento SIM dati 4G (€180/anno, piano IoT industriale, Vodafone/TIM); canone piattaforma cloud (€400/anno, AWS IoT Core per 5 dispositivi); manutenzione sensori e gateway (€600/anno, stima tecnico locale 1 intervento/anno); licenza software BMS + diagnostica (€250/anno, fornitore batterie); costi vari/imprevisti (€370/anno, ~25% contingenza). Il valore di €1.800/anno è incluso nella CBA come OPEX aggiuntivo del sistema ibrido (§17.2.1). Classificato Lv.3 perché basato su listini e stime, non su contratti firmati. Range 1.400–2.400 in Monte Carlo. NOTA: per siti con Starlink Maritime (Orosei), aggiungere €3.000/anno (§12.3.2 — costo già incluso nelle proiezioni per Orosei).

A-11	Numero giornate pesca/anno Config. L (lagunare)	230 gg/anno (range: 200÷250)	Lv.3	§17.1.1 Cap.13	M7 (verifica pilota L)	Le barche lagunari (Cabras, Santa Gilla) pescano con frequenza più alta delle barche marittime: le uscite in laguna sono tipicamente di 4–6 ore (metà giornata) e non dipendono dalle condizioni meteo-marine. Stima basata su interviste a 4 armatori lagunari sardi (settembre 2024, Lv.3). Il numero di 230 gg/anno è più alto delle barche marittime (200 gg) ma inferiore al massimo teorico (280–300 gg escluse domeniche, festività e manutenzione). Range 200–250 in Monte Carlo. NOTA: il divieto stagionale ZPS (novembre–marzo) per Santa Gilla riduce le uscite nella laguna di ~60 gg/anno per le barche di quel sito — ma le barche di Santa Gilla possono uscire in mare durante i mesi di chiusura lagunare (non rientrano nel vincolo ZPS in mare aperto).
A-12	Premio qualità 'pesca a zero emissioni' (%)	+8÷12% (stima)	Lv.4	§17.4 (solo benefit. non-monetari)	M18 (survey mercato)	Stima di ordine di grandezza basata su: analisi di mercato delle etichette eco-pesca in Italia (MSC, Friend of the Sea, Dolphin Safe) che documentano premium price tra +5% e +18% sul prezzo di mercato non certificato. Il valore +8–12% è riferito a un'etichetta 'pesca a zero emissioni in propulsione' che non esiste ancora in forma standardizzata in Italia. Classificato Lv.4 perché non esiste un mercato di riferimento verificabile. TRATTAMENTO: incluso ESCLUSIVAMENTE nella sezione benefici non-monetari §17.4 — MAI nel calcolo del VAN principale. Non modifica alcuna analisi DNSH o LCA. Milestone di raccolta dati: survey di mercato con 50 distributori ittici e GDO sarda entro M18 Fase 1, per upgrade a Lv.3 se il premium price risulta documentabile.

Nota: Le 12 assunzioni dell'A-Log coprono le variabili con maggiore impatto sui risultati quantitativi principali (VAN, riduzione GHG, DNSH Obj.1). Esistono assunzioni di minor impatto (es. peso componenti IoT, vita utile cavi, coefficiente di riflessione FV) non incluse nell'A-Log ma documentate nei capitoli di riferimento. Il 'Gap closure plan' è operativo: ogni milestone di chiusura gap (colonna 'Milestone chiusura gap') è un deliverable del cronoprogramma §21.1. Assunzioni Lv.4 (A-12: premium price eco-label) sono escluse da tutte le analisi decisive e incluse solo nella sezione benefici non-monetari §17.4 con indicazione esplicita. Il registro A-Log completo è disponibile come foglio separato nel file Excel CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx (tab 'A-Log'). Collegamento: §1.3 Tab.1.4 (sistema livelli Lv.1–4); §17.3.2 (sensitività VAN alle assunzioni principali); All.CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx (tab A-Log con range completi per Monte Carlo).

2.4 Tracciabilità KPI e calcoli (registro KPI)

Il registro KPI del progetto R3 documenta i 27 indicatori quantitativi (organizzati in 6 cluster: Energia, Emissioni, Operativo, Ambiente, Finanziario, Progetto) attraverso cui i risultati saranno misurati, verificati e comunicati. Il registro è il ponte tra il piano di monitoraggio M&V (§23.2) e la rendicontazione FEAMPA: ciascun KPI è collegato a una fonte di dati verificabile (IoT bordo, e-VMS, fatture, rendiconto FEAMPA), a una formula di calcolo esplicita, a un target per Fase 1 e per Fase 3, e a una soglia di allerta che attiva una revisione tecnica o contrattuale. La Tabella 2.5 riporta un sottoinsieme rappresentativo di 14 KPI (2–3 per cluster); il registro completo a 27 KPI è nell'Allegato C.

La tracciabilità dei calcoli è garantita da tre meccanismi: (a) la formula di calcolo esplicita per ciascun KPI, che permette la verifica indipendente dei valori riportati nei report M&V; (b) il collegamento con i capitoli dello studio che contengono le assunzioni e i dati baseline (es. KPI EN-01 → §17.1.1 → Assunzione A-03); (c) la classificazione per livello di evidenza della fonte dati (IoT bordo = Lv.1 dopo calibrazione, e-VMS = Lv.2, dichiarazione armatore = Lv.3). Quando un KPI utilizza dati di livello basso (Lv.3), il report M&V include automaticamente una nota metodologica con l'indicazione dell'intervallo di incertezza associato.

Tabella 2.5 — Registro KPI (campione 14 su 27 totali, 6 cluster): formula di calcolo, unità di misura, target per Fase 1 e Fase 3, soglie di allerta e fonte dati (registro completo in All.C)

KPI ID	Cluster	Descrizione KPI	Formula / metodo di calcolo	Unità misura	Target Fase 1	Target Fase 3	Soglia allerta	Fonte dati, frequenza misurazione e collegamento con cap./allegato
EN-01	ENERGIA	Consumo energetico per giornata di pesca post-retrofit	$kWh_{el} / \text{giornate_uscita}$ (media mensile rolling 3 mesi)	kWh/gg	≤8,5 kWh (Config. B)	≤7,0 kWh (con CER)	>10 kWh/gg	IoT bordo (misuratore kWh BMS); frequenza: ogni uscita. Collegamento: §17.1.1 (baseline 31,7 l × 10,5 kWh/l diesel = 333 kWh/gg baseline diesel); indicatore IA-01 VAS PO FEAMPA (Tab.1.2). Responsabile: tecnico IoT.
EN-02	ENERGIA	Risparmio gasolio annuo per barca	$\Sigma(\text{gasolio_baseline} - \text{gasolio_reale}) \times 200$ gg/anno	l/anno/barca	-2.500 l (Config. B)	-3.500 l (Config. B Fase 3)	<1.500 l anno	e-VMS Giornale di Bordo elettronico (Capitaneria); confronto con baseline pre-retrofit (media 3 campagne). Frequenza: mensile. Collegamento: §17.1.1 (Assunzione A-03: -45% = -2.556 l/anno); §14.2 LL-12 (variabilità meteo ±6%).
EN-03	ENERGIA	Autoconsumo CER portuale (%)	$kWh_{\text{autoconsumata_CER}} / kWh_{\text{prodotta_CER}} \times 100$	%	≥50% (anno 1 CER)	≥70% (anno 3 CER)	<35%	Smart meter CER (colonnine CEI §709 + contatore FV); frequenza: giornaliera. Collegamento: §5.5.1 (CER portuale); Tab.8.5 (incentivo GSE — correlato al profilo di autoconsumo)

								; §14.1.4 caso Croazia (85% autoconsumo con pesca+acquacoltura).
EM-01	EMISSIONI	Riduzione e GHG lifecycle per barca vs baseline (10 anni)	$GWP_{baseline} - GWP_{ibrido} / GWP_{baseline} \times 100$ (LCA screening §13.5)	%	≥40% (DNSH TSC)	≥45% (LCA compl. Fase 2)	<38% → audit tecnico	Calcolo LCA (metodologia §13.2); dati primari IoT (kWh_el reali) da Fase 1 per upgrade screening → LCA completa in Fase 2. Frequenza: annuale (verifica DNSH). Collegamento: §19.1.1 (DNSH Obj.1 — soglia 40% vincolante per FEAMPA); Tab.13.5 (valore baseline: -41,8% con CER).
EM-02	EMISSIONI	Tonnellate e CO ₂ eq evitate per barca/anno	$kgCO_2 eq_{baseline} - kgCO_2 eq_{ibrido} / 1000$	tCO ₂ eq/barca/anno	≥7,5 t (Config. B con CER)	≥10,0 t (Fase 3)	<5,0 t/barca	LCA screening + dati IoT (consumo kWh_el reali e gasolio reali). Frequenza: semestrale. Collegamento: §17.4.2 (carbon credits VCM: €450-1.200/anno/barca a €6-10/tCO ₂ eq); indicatore IA-02 VAS PO FEAMPA (Tab.1.2).
OP-01	OPERATIVO	Disponibilità sistema ibrido (uptime %)	$Giorni_{sistema_operativo} / Giorni_{totali} \times 100$	%/mese	≥95%	≥97%	<90% → SLA attivato	Log BMS (segnalazioni fault); dichiarazione armatore. Frequenza: mensile. Collegamento: LL-02 (§14.2) — il 95% target corrisponde a ≤18 giorni di fermo/anno, soglia ritenuta accettabile per piccola pesca stagionale. Clausola SLA All.D §D.4: response time 48h per guasto BMS.

OP-02	OPERATIVO	Autonomia EL media per uscita di pesca	Media(kWh_scaricata / kWh_totale_pack x ore_uscita)	ore/uscita	≥6 ore (Config. B)	≥7 ore (miglior am. BMS)	<4 ore → revisione tecnica	BMS telemetria (SoC ogni 5 minuti); GPS uscite. Frequenza: ogni uscita. Collegamento: Cap.9 §9.3 (autonomia target 6h per Config. B); §16.2 (dimensionamento sistema energy management).
OP-03	OPERATIVO	Tempo medio tra guasti (MTBF sistema)	Ore_operative / N_guasti_totali	ore	≥4.000 h	≥6.000 h	<2.000 h	Log BMS + dichiarazione armatore. Frequenza: semestrale. Collegamento: §18.1 rischio RT-01 (guasto tecnico: probabilità stimata da MTBF); All.D §D.4 (clausola SLA fornitore).
ENV-01	AMBIENTE	Variazioni e parametri qualità acqua nel sito lagunare (T°, DO, pH, EC) durante uscite barche pilota	Media_parametri_pilot a vs media_parametri_controllo (stessa laguna, senza barche) — test ANOVA mensile	n.d. (p-value)	p > 0,05 (no differenza significativa)	p > 0,05 (tutta Fase 3)	p < 0,05 → analisi causa+effetto	Sensori YSI EXO2 bordo barche + stazione fissa ARPAS (§6.2.1); frequenza: ogni uscita (media giornaliera). Collegamento: §6.2 (parametri IoT); §19.1.3 (DNSH Obj.3 — acque marine); §23.2 (piano M&V ambientale).
ENV-02	AMBIENTE	Riduzione e rumore sottomarino (UWN) nella fase di transito EL	SPL_EL – SPL_diesel in dB @ 100Hz durante transito costiero (≤5 nodi)	dB re 1μPa	-12 dB (attesa da modello §6.5)	-15 dB (con tuning BMS)	<-8 dB	Idrofoni calibrati IMOS (2 per sito, installati da CNR-IAS); frequenza: misurazione continua durante uscite pilota. Collegamento: §6.5 (UWN baseline); §19.1.3 (DNSH Obj.3); §13.7 (azione immediata CFD). NOTA: dato classificato Lv.4 fino a misurazione diretta (§1.3 Tab.1.4, A-xx UWN).

FIN-01	FINANZIARIO	VAN per barca pilota (10 anni, tasso sconto 5%)	$\Sigma(\text{risparmio_gasolio_reale} - \text{OPEX_IoT}) / (1,05)^t - \text{CAPEX_netto_privato}$	€	+€ 11.140 (target Config. B)	+€ 15.000 (Fase 3 con CER matura)	< 0 → revisione CBA	Dati gasolio da e-VMS (Lv.2); CAPEX da fatture fornitore; OPEX da rendiconto annuale cooperativa. Frequenza: annuale. Collegamento: §17.1.1 (CBA); Tab.17.1 (proiezioni); A-09 (inflazione gasolio — aggiornare annualmente).
FIN-02	FINANZIARIO	Contributo FEAMPA erogato vs pianificato (%)	$\frac{\text{€_FEAMPA_erogato}}{\text{€_FEAMPA_pianificato}} \times 100$	%	≥85% (per spese ammissibili)	≥90% (Fase 3)	<70% → rivisione piano fin.	Rendiconto FEAMPA ufficiale (AdG); confronto con piano finanziario §17.2.1. Frequenza: semestrale. Collegamento: §17.2.1 (piano finanziario FEAMPA); §14.3 (precedenti aliquote regionali).
PROJ-01	PROGETTO	N. barche retrofit completa entro target di Fase	Count(barche_retrofit_completate) vs piano §21.1	N° barche	5 barche entro M18	20 barche entro M48	<3 barche entro M18	Registro cantiere (verbali collaudo); certificato RINA post-retrofit. Frequenza: mensile. Collegamento: §21.1 (cronoprogramma); §15.3 (campione pilota — 5 barche tipo); §18.3 (rischio RI-02: ritardi autorizzativi).
PROJ-07	PROGETTO	Pubblicazione paper scientifico o peer-reviewed	Data pubblicazione accettazione su rivista IF ≥1,5	Data	Submission entro M24	Publicato entro M30	Non submitte d entro M24	Accordo CNRIAS (§21.3); LL-08 (§14.2 — trasparenza dati come strumento di credibilità progetto). Collegamento: All.C (KPI Register completo — 27 KPI totali); §23.2 (piano M&V che alimenta il dataset per il paper).

Nota: La tabella mostra 14 dei 27 KPI (indicati nell'All.C KPI Register completo). Il sottoinsieme presentato include i KPI con maggiore rilevanza per le decisioni GO/NO-GO (EN-01, EM-01, OP-01, FIN-01) e per la rendicontazione FEAMPA (EM-02, FIN-02, PROJ-01). Il KPI PROJ-07 (pubblicazione scientifica) è incluso per documentare la componente di trasparenza e credibilità del progetto (LL-08, §14.2). Le 'soglie di allerta' (colonna con sfondo ambra) non sono soglie di fallimento del progetto ma trigger di revisione tecnica o contrattuale — l'allerta attiva un'analisi della causa e un piano correttivo entro 30 giorni, non l'interruzione delle attività. Il KPI ENV-02 (riduzione UWN) è classificato Lv.4 fino alla prima misurazione con idrofoni CNR-IAS: il target -12 dB è una stima modellistica, non un impegno contrattuale. Collegamento: All.C (KPI Register completo — 27 KPI); §23.2 (piano M&V — protocolli di misurazione); §17.5.2 (criteri GO/NO-GO che usano KPI EM-01, EN-01, FIN-01 come soglie).

3. Architettura del Progetto Pilota (Fattibilità)

5 tipologie di prove in mare (PM-01÷PM-04 + PM-00 baseline) · 7 parametri M&V con QA/QC · GDPR 5 trattamenti con DPIA · CRA timeline e NIS2 assoggettabilità

Il Capitolo 3 definisce l'architettura operativa del progetto pilota: come vengono condotte le prove in mare, come i dati vengono raccolti e validati, e come il sistema digitale del pilota gestisce la sicurezza informatica e la conformità normativa. Insieme al Capitolo 2 (metodo di lavoro) e al Capitolo 15 (selezione barche e siti), il Capitolo 3 costituisce il terzo pilastro della pianificazione operativa del progetto R3. Mentre il Cap.2 risponde alla domanda 'come è organizzato il progetto?', il Cap.3 risponde alla domanda 'come si fa concretamente il pilota?': quali prove si effettuano (§3.1), con quali barche (§3.2), come si misurano i risultati (§3.3), e come si proteggono i dati (§3.4).

Un elemento metodologico fondamentale che questo capitolo introduce è la distinzione tra 'prove in mare strutturate' (protocollo definito a priori, condizioni controllate, dati validati da QA/QC) e 'monitoraggio continuo in esercizio ordinario' (il sistema IoT raccoglie dati in ogni uscita, senza protocollo specifico, per 12 mesi di pilota). Entrambe le modalità sono necessarie e complementari: le prove strutturate (PM-01÷PM-04) producono dati di alta qualità per l'upgrade dei livelli di evidenza delle assunzioni critiche; il monitoraggio continuo produce il corpus di dati operativi reali che alimenta la CBA aggiornata e la LCA completa della Fase 2.

3.1 Definizione 'prove in mare' come simulazione realistica / demo controllata

Le 'prove in mare' del progetto R3 sono sessioni di navigazione e pesca strutturate che replicano le condizioni operative ordinarie delle barche pilota — non prove in condizioni artificialmente favorevoli costruite per massimizzare i risultati. Questa scelta metodologica è deliberata e motivata da un duplice obiettivo: (a) produrre dati credibili e trasferibili, che rappresentino le performance reali del sistema ibrido nella piccola pesca sarda (non le performance ottimali in laboratorio o in condizioni meteo ideali); (b) soddisfare il requisito FEAMPA di documentazione dell'efficacia degli interventi con dati verificabili (art.74 Reg.UE 2021/1060 — sistemi di gestione e controllo).

Sono definite cinque tipologie di prove (Tabella 3.1): PM-01 (transito EL-only, senza carico commerciale), PM-02 (pesca in modalità ibrida ordinaria), PM-03 (prova ricarica CER portuale), PM-04 (prova lagunare EL-puro, rilievo ING-03) e PM-00 (baseline pre-retrofit — non è una prova del sistema ibrido ma la documentazione del comportamento della barca prima dell'installazione). La prova PM-00 è metodologicamente la più critica: senza una baseline robusta misurata con la stessa strumentazione delle prove post-retrofit, il calcolo della riduzione percentuale dei consumi rimane un'assunzione Lv.3 (dichiarazione armatore) invece di diventare un dato Lv.2 (misurazione diretta).

La distinzione tra 'simulazione realistica' e 'demo controllata' si applica ai diversi tipi di prova: PM-01 (transito EL-only con nessun carico commerciale) è la più vicina a una demo controllata; PM-02 (pesca ordinaria con carico standard) è la simulazione realistica. Entrambe sono necessarie: la demo PM-01 produce dati 'puliti' per la validazione del modello propulsivo; la simulazione PM-02 produce dati 'sporchi ma reali' che rappresentano le performance in uso normale.

Tabella 3.1 — Tipologie di prove in mare (PM-00÷PM-04): definizione operativa, condizioni, durata/ripetizioni e obiettivi scientifici con dati generati

Tipo di prova	Definizione operativa	Condizioni e contesto	Durata / ripetizioni previste	Obiettivo scientifico e tecnico, dati generati e collegamento con il sistema M&V
PM-01 Transito EL-only	La barca percorre il tragitto porto → zona di pesca (e ritorno) esclusivamente con propulsione EL, senza accensione del motore diesel. Motore diesel fisicamente	Mare forza ≤3 (Beaufort), vento <15 nodi, visibilità >2 nm. Solo in ore diurne. Area di prova: corridoio costiero tra 0,5 e 3 nm dalla costa. Nessun carico commerciale a	3 prove per barca; media distanza 8–12 nm (60–90 min); ripetute in 3 stagioni (primavera, estate, autunno)	DATI GENERATI: SoC iniziale/finale (%), kWh scaricati, distanza percorsa (GPS), velocità media, temperatura batterie (ogni 5 min), corrente assorbita. INDICATORI CALCOLATI: consumo specifico EL (kWh/nm), autonomia stimata estesa (km), efficienza propulsiva EL (%). COLLEGAMENTO M&V: KPI EN-01 (consumo kWh/gg); KPI OP-02 (ore autonomia EL). Baseline: confronto con stessa rotta in modalità diesel-only (prova PM-00 pre-retrofit).

	isolato (interruttore di campo aperto). Sensoristica IoT attiva.	bordo durante la prova tipo (optional: prova con carico standard per dati gravosità).		
PM-02 Pesca in modalità ibrida	La barca esegue una sessione di pesca completa (uscita + cala attrezzi + virata + rientro) con il sistema ibrido attivo in modalità automatica: EL in transito lento (<5 nodi), diesel in accelerazione e contro-corrente, ricarica a bordo in rigenerazione frenata.	Condizioni operative ordinarie della barca pilota (non selezionate per condizioni favorevoli). Carico commerciale normale (attrezzi, ghiaccio). Equipaggio ordinario. Nessuna restrizione meteo aggiuntiva rispetto alla normale operatività della barca.	5 prove per barca nel primo mese post-retrofit; poi monitoraggio continuo (ogni uscita, via IoT)	DATI GENERATI: ripartizione consumo diesel vs EL (%), ore in modalità EL-only vs modalità diesel vs modalità ibrida, profilo di carico potenza (W) ogni 5 min, qualità acqua (T°, DO, pH, EC dalla sonda YSI EXO2 bordo), posizioni GPS. INDICATORI: riduzione gasolio vs baseline (%), GWP emesso vs baseline. COLLEGAMENTO M&V: KPI EN-02 (risparmio gasolio/anno); KPI EM-01 (riduzione GHG); A-03 (upgrade Lv.3→Lv.2 con dati reali).
PM-03 Prova di ricarica CER portuale	La barca rientra al porto e si collega alla colonnina CEI 64-8 §709 per la ricarica del pack LiFePO4 tramite la CER portuale (FV + storage). Misurazione energia erogata, tempo di ricarica, perdite di conversione.	Colonnina CEI §709 attiva e connessa alla CER portuale Sulcis (o Cabras). SoC barca al rientro: misurato via BMS. Orario: preferibilmente 10:00–16:00 per massimizzare l'autoconsumo FV. Temperatura ambiente 15–35°C.	2 prove per barca al mese nei primi 6 mesi pilota (regime ordinario poi); totale: 12 prove pilota per sito	DATI GENERATI: kWh ricaricati, tempo ricarica (min), potenza media erogata (kW), SoC barca pre/post ricarica (%), energia dalla CER FV vs rete vs storage, FE effettivo della sessione di ricarica (kgCO ₂ /kWh calcolato real-time). INDICATORI: autoconsumo CER (%; KPI EN-03), FE CER reale vs assunto A-07, costo effettivo per kWh ricaricato. COLLEGAMENTO DNSH: il FE CER reale è l'input per la verifica DNSH Obj.1 annuale (§19.1.1 — soglia TSC ≥40%).
PM-04 Prova lagunare EL-puro (Config. L)	La barca lagunare (Config. L) esegue una sessione di pesca completa nella laguna di Cabras o Santa Gilla esclusivamente con propulsione EL (nessun motore diesel a bordo). Sensoristica ambientale in-situ attiva (sonde T°, DO, pH, EC + idrofoni).	Solo durante la stagione di apertura (aprile–ottobre per S.Gilla ZPS; tutto l'anno per Cabras). Nessun vento ≥15 nodi per sicurezza su scafo <7m. Presenza di almeno 1 tecnico IoT in barca imbarcato nelle prime 3 prove.	5 prove osservate nelle prime 3 settimane Fase 1; poi monitoraggio continuo via IoT per tutta la durata del pilota	DATI GENERATI: kWh/gg, ore autonomia EL, SoC max/min, parametri qualità acqua (baseline vs durante prova vs controllo diesel), misura SPL idrofono (dB re 1µPa @ 100Hz) in modalità EL vs modalità diesel. INDICATORI: riduzione UWN (dB; KPI ENV-02 — upgrade da Lv.4 a Lv.3 con prima misurazione diretta); qualità acqua p-value (KPI ENV-01); autonomia EL-pura (h). RILIEVO ING-03: le prove PM-04 sono lo strumento per risolvere il rilievo ING-03 della peer review (mancanza di dati tecnici sulle imbarcazioni lagunari — dati di prova sostituiscono le stime di modello).

	Confronto con barca controllo (diesel tradizionale).			
PM-00 Baseline pre-retrofit (riferimento)	Non è una prova del sistema ibrido ma la documentazione del comportamento baseline della barca PRIMA del retrofit. Le stesse rotte delle prove PM-01 e PM-02 vengono effettuate con la barca in configurazione diesel originale. I dati servono come riferimento per il calcolo della riduzione.	Stesse condizioni operative delle prove PM-01 e PM-02. Barca in configurazione originale (diesel). Sensoristica IoT pre-installata (solo GPS + misuratore consumo gasolio) nelle 4 settimane pre-retrofit.	3 prove per barca nelle 4 settimane precedenti il retrofit; totalizzatore gasolio letto 3 volte/settimana per 8 settimane	DATI GENERATI: consumo gasolio l/gg su rotta standard (GPS tracking), profilo velocità, ore di navigazione, modalità operativa (transito vs pesca vs in porto). QUALITÀ DEL DATO: classificazione Lv.2 (misurazione diretta, non stima dell'armatore) — upgrade dell'Assunzione A-03 già nella Fase 0. COLLEGAMENTO: il dato baseline PM-00 sostituisce i dati e-VMS Lv.3 delle barche 1, 4 e 5 (§15.3 Tab.15.5) e diventa il denominatore del calcolo di riduzione in tutte le analisi M&V post-retrofit.

Nota: Le prove PM-01, PM-02 e PM-00 sono obbligatorie per tutte le barche marittime del campione pilota (Barche 1–3). Le prove PM-03 sono obbligatorie per i siti con CER portuale attiva (Sulcis dalla Fase 0 M5, Cabras dalla Fase 0 M6). Le prove PM-04 sono specifiche per le barche lagunari (Barche 4–5, Config. L) e risolvono il rilievo ING-03 della peer review (assenza di dati tecnici misurati su imbarcazioni lagunari). Tutte le prove richiedono la firma del modulo di consenso GDPR (§3.4.1) prima dell'installazione della sensoristica IoT. La prova PM-04 richiede il nulla osta VIncA del sito lagunare (§15.2.2) — non può essere effettuata prima del GO VIncA (Tab.15.4). Collegamento: §23.2 (piano M&V che integra prove strutturate e monitoraggio continuo); §2.4 Tab.2.5 (KPI alimentati dai dati delle prove).

3.2 Campione 2–3 barche pilota e criteri di selezione

Il campione pilota è composto da 5 barche (descritte nelle Schede barca/sito, §15.3 Tab.15.5), organizzate in due sotto-campioni: 3 imbarcazioni marittime (§3.2.1) e 2 imbarcazioni lagunari (§3.2.2). Il sotto-campione minimo funzionale è di 2 barche per tipo (2 marittime + 2 lagunari = 4 barche totali): in caso di NO-GO di una barca per problemi tecnici o autorizzativi, il pilota mantiene la rappresentatività statistica minima per la pubblicazione scientifica ($n \geq 2$ per tipo è lo standard minimo per Fisheries Research — rivista target per LL-08 §14.2). La quinta barca (Barca 3, Config. A, paranza 17m) è inclusa come caso limite per documentare i vincoli economici della Config. A e non è un requisito per la validità statistica del pilota.

3.2.1 Criteri per imbarcazioni marittime (acque aperte, <12m, 12–20m)

I criteri di selezione per le imbarcazioni marittime sono integralmente documentati nella Tabella 15.1 (Cap.15, §15.1.1) e non vengono ripetuti in questo capitolo per evitare duplicazioni. Ai fini dell'architettura del pilota, si evidenziano tre criteri con impatto diretto sulla pianificazione delle prove in mare: (a) il criterio del consumo verificato da e-VMS (peso 5) — solo le barche con dati e-VMS disponibili (Lv.2) consentono la prova PM-00 baseline con strumentazione già attiva, riducendo i costi di setup del pilota; (b) il criterio dell'anzianità della barca (max 20–25 anni) — le barche più anziane richiedono un'ispezione strutturale preventiva che può ritardare l'arruolamento di 4–6 settimane; (c) il criterio del porto di stanza (entro 15 km dal sito pilota) — determina la fattibilità logistica delle prove PM-03 (ricarica CER).

Per il sotto-campione pilota definito nel §15.3, le imbarcazioni marittime selezionate sono: Barca 1 (lancione 10m, Porto Pino/Sulcis, Config. B, score 27/30) come barca prioritaria di avvio; Barca 2 (lancione 11,5m, Santa Gilla, Config. B, score 25/30) come seconda barca marittima; Barca 3 (paranza 17m, Porto Pino/Sulcis, Config. A, score 18/30) come caso limite incluso condizionatamente. Il numero di barche marittime (2–3) è il campione minimo per il calcolo statistico della riduzione media consumi nella flotta <12m sarda (deviazione standard attesa dal benchmark internazionale: $\pm 6\%$, §14.2 LL-12 — per $n=2$ l'intervallo di confidenza al 95% è $\pm 9,8\%$, accettabile per uno studio pilota).

3.2.2 Criteri per imbarcazioni lagunari/lacustri (pescaggio <0,4m, lagune costiere sarde) — rif. ING-03

Il rilievo ING-03 della peer review aveva identificato la mancanza di dati tecnici misurati su imbarcazioni lagunari come una lacuna metodologica significativa della versione v1.0: le stime di performance per la Config. L erano basate interamente su analogie con sistemi lagunari di altre regioni italiane (Venezia, delta del Po) senza dati primari per le lagune sarde (Cabras, Santa Gilla). Il pilota risolve questo rilievo attraverso le prove PM-04 (§3.1): le 2 barche lagunari selezionate (Barche 4 e 5) sono il primo campione di imbarcazioni da pesca lagunare sarda strumentate con telemetria IoT per la misurazione diretta delle performance di un sistema EL-puro.

I criteri di selezione per le imbarcazioni lagunari sono documentati nella Tabella 15.2 (Cap.15, §15.1.2). Il criterio più stringente per il disegno del pilota è il pescaggio massimo di 0,60m (non il valore <0,4m indicato nel titolo del paragrafo, che rappresenta il pescaggio ideale per accedere ai canali secondari delle lagune sarde — il valore 0,60m è il limite operativo per la navigabilità sicura). Le barche tipo della laguna sarda (sandoli, battellini) hanno pescaggi tra 0,30 e 0,55m: tutte sono compatibili. Il requisito del nulla osta VlnCA è la condizione temporale più critica per le barche lagunari: le prove PM-04 non possono iniziare prima del GO VlnCA del sito (Cabras: M7, Santa Gilla: M8 — Tab.15.4).

3.3 Protocollo raccolta dati (M&V): baseline, KPI, frequenze, QA/QC

Il protocollo di raccolta dati del progetto R3 è basato su 7 parametri primari (Tabella 3.2), che coprono le quattro dimensioni di misura necessarie per la verifica di tutti i claim principali dello studio: la performance energetica (P-01 consumo gasolio, P-02 SoC batterie, P-07 energia CER), la qualità ambientale (P-03 parametri lagunari, P-04 rumore sottomarino), le condizioni operative di contorno (P-05 GPS, P-06 meteo) e le informazioni finanziarie (P-01 + P-07 → risparmio economico). Per ciascun parametro la tabella documenta: lo strumento di misura con la precisione certificata, la frequenza di raccolta, il livello di evidenza assegnato al dato, il formato di archiviazione e il protocollo QA/QC con le procedure di gestione dei dati anomali o mancanti.

Il principio guida del protocollo QA/QC è la 'traceability chain': ogni dato deve essere tracciabile dalla misurazione primaria (sensore fisico) al risultato finale (KPI nel report M&V) senza interruzioni documentate. In pratica, questo significa che: (a) ogni strumento ha un certificato di calibrazione aggiornato con tracciabilità a standard NIST o Accredia; (b) ogni anomalia (valore fuori soglia, gap di trasmissione, guasto strumento) è registrata nel log di sistema con la procedura di sostituzione adottata; (c) i dati stimati per sostituzione di dati mancanti sono classificati Lv.3 temporaneo e distinti dai dati primari misurati nella reportistica M&V. L'obiettivo è che nessun lettore del report M&V possa confondere un dato misurato direttamente con un dato stimato.

Tabella 3.2 — Protocollo M&V: 7 parametri con strumento/fonte, frequenza, livello di evidenza, formato archivio e protocollo QA/QC

Param. ID	Parametro misurato	Strumento / Sorgente dati	Frequenza raccolta	Livello eviden. assegnato	Archivio / formato	Protocollo QA/QC: validazione, soglie di anomalia, procedure di sostituzione dati mancanti e responsabile
P-01	Consumo gasolio per uscita di pesca (litri/giornata)	Totalizzatore di flusso digitale (Tuthill 1100: $\pm 0,5\%$ FS) + e-VMS Capitaneria	Ogni uscita (dato registrato all'arrivo)	Lv.2 (post-retrofit con strumentaz.) Lv.3 (pre-retrofit da armatore)	CSV su gateway IoT + copia e-VMS GdB	QA-01: valore anomalo se consumo >60 l/gg ($>2\sigma$ da media barca) o <5 l/gg → flag 'da verificare' nel sistema. Sostituzione: media mobile 7 giorni se dato singolo mancante; esclusione della giornata se >2 gg consecutivi mancanti. Responsabile:

						tecnico IoT referente sito. Calibrazione strumento: ogni 6 mesi o dopo guasto (Accredia o RINA calibrazione in loco).
P-02	Stato di carica batterie (SoC %) e tensione pack	BMS integrato (precisione $\pm 2\%$ SoC; resistenza interna celle ogni ciclo)	Ogni 5 min continuo durante l'uscita + al collegamento alla colonnina	Lv.1 (strumentazione BMS certificata IEC 62619)	JSON su gateway IoT; backup locale SD card BMS	QA-02: il BMS genera automaticamente log di errore se SoC <10% (allerta scarica profonda) o T° celle >45°C (allerta termica). Log di errore trasmesso in tempo reale al cloud R3 con notifica push al tecnico referente. Calibrazione BMS: verifica annuale con ciclo di carica/scarica completo controllato. Scarto dati: se gateway offline >30 min, il dato viene stimato per interpolazione lineare da SoC_start e SoC_end (Lv.3 temporaneo).
	Parametri qualità acqua lagunare (T°, DO, pH, EC, Chl-a, turbidità)	Sonda YSI EXO2 ($\pm 0,1^\circ\text{C}$; $\pm 0,1$ mg/l DO; $\pm 0,01$ pH; $\pm 0,5\%$ EC; $\pm 10\%$ Chl-a)	Ogni 15 min continuo durante le prove PM-04; orario altrimenti	Lv.1 (strumentazione certificata, dati verificabili vs stazione ARPAS)	NetCDF su piattaforma cloud R3; copia mensile a ARPAS	QA-03: i valori YSI EXO2 sono confrontati settimanalmente con i dati della stazione fissa ARPAS più vicina (Cabras: stazione Torre Grande; S.Gilla: stazione Capoterra). Soglie di anomalia: DO <2 mg/l (ipossia) → allerta ambiente; T° >30°C → allerta stress termico (estate). Soluzione dati mancanti: interpolazione da stazione ARPAS (Lv.2) se YSI EXO2 offline. Manutenzione sonde: sostituzione membrana DO ogni 30 giorni; calibrazione pH ogni 7 giorni con buffer standard (protocollo ISPRA 2021).
P-04	Rumore sottomarino (SPL, dB re 1 μ Pa) durante transito	Idrofono IMOS H2C (range 1 Hz–100 kHz; rumore proprio <40 dB) + registratore PAMguard v2.0	Continuo durante prove PM-02 e PM-04 (EL vs diesel); campionamento: 44,1 kHz	Lv.4 (pre-prima misurazione) → Lv.1 post prima prova calibrata	WAV (44,1kHz) + SPL spectrum (octave bands) su cloud R3; copia a CNR-IAS	QA-04: validazione da CNR-IAS (protocollo ICES 2014 — Underwater Noise Measurement). Esclusione automatica di segnali con rumore impulsivo >130 dB (navi mercantili di passaggio identificate da AIS). Calibrazione idrofono: immersione a profondità fissa (2m) con sorgente di riferimento calibrata

						NIST-traceable prima di ogni campagna di misura. Responsabile: CNR-IAS Sassari (referente UWN). Frequenza target per DNSH Obj.3: campagne mensili, almeno 3 prove valide per stagione.
P-05	Posizione GPS e rotta (lat/lon, velocità)	GPS GNSS imbarco (precisione <2m CEP, Antaris 4); bridging con e-VMS	1 Hz continuo durante l'uscita (poi ridotto a 1/30 Hz per trasmissione)	Lv.1	GeoJSON compresso (GZIP) su gateway IoT; copia e-VMS Capitaneria	QA-05: validazione automatica track GPS (Kalman filter per smoothing, eliminazione punti con velocità >25 nodi = anomalia segnale). Dati GPS sono dati personali (GDPR art.4 — localizzazione individuo identificabile tramite barca→armatore). Trattamento GDPR: anonimizzazione ID barca nella trasmissione cloud (hash SHA-256 reversibile solo da DPO cooperativa). Conservazione: 3 anni per uso M&V; 7 anni per uso FEAMPA; cancellazione certificata dopo scadenza (§3.4.1).
P-06	Dati meteo-marini durante le prove (vento, stato mare, T° aria)	Stazione meteo a bordo (Davis Vantage Pro 2: ±2% vento, ±0,5°C T°) + Meteorologica nazionale ECMWF	1 min durante le prove; download ECMWF gridded 6h per validazione	Lv.2	CSV locale + NetCDF ECMWF su cloud R3	QA-06: i dati meteo locali (Davis) sono confrontati con il modello ECMWF gridded per validazione. Discrepanza >20% su velocità vento → flag 'stazione meteo da verificare'. I dati meteo sono covariabili obbligatorie in tutti i modelli di analisi della riduzione consumi (§17.3.2 sensitività meteo — correlazione con A-03). Responsabile: piattaforma cloud R3 (task automatica).
P-07	Energia erogata dalla CER portuale (kWh) per colonnina e per barca	Smart meter colonnina CEI §709 (MID-certified, Precisione Classe C ±0,5%); registro GSE tariffa premio	Ogni sessione di ricarica; aggregato giornaliero e mensile per GSE	Lv.1 (misuratore MID certificato)	XML (formato GSE) + CSV per contabilità CER	QA-07: smart meter è lo strumento di misura fiscale (MID Directive 2014/32/UE) — dato non falsificabile e certificato. Dato mensile inviato automaticamente a GSE per calcolo tariffa premio. Soglia di anomalia: energia erogata >kWh_capacità_pack × 1,15 → possibile anomalia (contatore

						o lettura duplicata). Responsabile: gestore CER portuale (referente designato per ogni sito — §20.1, GOV- 01).
--	--	--	--	--	--	--

Nota: Il livello di evidenza riportato nella colonna 5 è quello assegnato al dato nella sua forma primaria (misurazione diretta). Nella reportistica M&V, i KPI calcolati possono avere un livello di evidenza inferiore se derivano da combinazione di dati a livelli diversi (es. KPI EM-01 che combina P-01 Lv.2 e P-07 Lv.1 → KPI risultante classificato Lv.2, il livello del componente più incerto). Il parametro P-04 (UWN/rumore sottomarino) è l'unico classificato Lv.4 prima della prima misurazione diretta: dopo la prima campagna CNR-IAS con idrofoni calibrati, il dato diventa automaticamente Lv.1. Questo upgrade è il meccanismo principale per risolvere il rilievo ING-03 della peer review. Collegamento: §1.3 Tab.1.4 (sistema livelli Lv.1-4); §23.2 (piano M&V dettagliato con frequenze e responsabili); All.C KPI Register (collegamento parametri → KPI).

3.4 Gestione dati, cybersecurity by design e conformità normativa digitale

Il sistema digitale del progetto R3 — che include gateway IoT bordo, cloud di archiviazione, app mobile di diagnostica e smart meter delle colonnine — è soggetto a un framework normativo digitale che comprende tre strumenti legislativi europei distinti ma interconnessi: il GDPR (Reg. UE 2016/679) per la protezione dei dati personali, il Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847, CRA) per la sicurezza dei prodotti digitali connessi, e la Direttiva NIS2 (Dir. UE 2022/2555, recepita in Italia con D.Lgs 138/2024) per la sicurezza delle reti e dei sistemi informativi di settori rilevanti. Il principio metodologico adottato è il 'cybersecurity by design': la conformità normativa non è gestita come un insieme di adempimenti post-hoc ma come un insieme di requisiti di progettazione che condizionano la selezione dell'architettura IoT (§12.1), la selezione dei fornitori (§2.2.3, §2.2.4) e la redazione del capitolato (All.D).

3.4.1 Requisiti GDPR per dati GPS e identità armatore — registro trattamenti e DPIA

Il sistema IoT del progetto R3 tratta cinque categorie di dati che presentano diversi profili di rischio per la protezione dei dati personali (Tabella 3.3). La categoria con il profilo di rischio più elevato è T-01 (dati GPS di posizione della barca): la localizzazione dell'armatore in mare è classificata dato personale ai sensi del GDPR (art.4 §1 — 'qualsiasi informazione relativa a una persona fisica identificabile') perché la barca è associata all'armatore nel registro della Capitaneria, rendendo la posizione della barca un dato di localizzazione dell'armatore. Per i dati GPS si applica la DPIA obbligatoria (art.35 GDPR — trattamento a rischio elevato per dati di localizzazione a scala dettagliata).

La base giuridica per il trattamento dei dati GPS è il consenso esplicito dell'armatore (art.6 §1(a) GDPR) formalizzato nell'accordo di adesione M&V. Il consenso deve essere: specifico (per il progetto R3, non generico), informato (informativa completa), libero (la partecipazione al pilota non può essere condizionata al consenso GPS) e revocabile (l'armatore può ritirare il consenso senza pregiudizio per la partecipazione al pilota, ma comporta la disattivazione del sensore GPS sulla sua barca e la perdita del dato GPS nella serie storica). Il revoco del consenso GPS non pregiudica la partecipazione alle prove PM-01 e PM-02 (che richiedono solo il sensore di consumo e il BMS, non il GPS).

Tabella 3.3 — Registro trattamenti GDPR per il progetto pilota R3: 5 categorie di dati con base giuridica, soggetto interessato, livello rischio privacy e misure di protezione/DPIA

Tratt. ID	Tipologia dato trattato	Base giuridica (GDPR art.6)	Soggetto interessato	Rischio privacy (livello)	Misure di protezione adottate e obblighi procedurali — DPIA, registro ex art.30, DPO
T-01	Dati GPS posizione barca durante l'uscita di pesca (lat/lon, orario, velocità, rotta)	Art.6 §1(a) — Consenso esplicito dell'armatore (accordo M&V)	Armatore (persona fisica identificabile tramite la barca registrata alla Capitaneria)	ALTO — la posizione GPS dell'armatore in mare costituisce dato personale di localizzazione (Recital 26 GDPR)	DPIA OBBLIGATORIA (art.35 GDPR) — dati di localizzazione a scala dettagliata per persone fisiche. MISURE TECNICHE: pseudonimizzazione hash SHA-256 dell'ID barca prima della trasmissione al cloud; solo il DPO della cooperativa può invertire il hash. Conservazione: 3 anni per M&V (poi cancellazione certificata); 7 anni per rendicontazione FEAMPA (obbligo legale art.6 §1(c)). Accesso ai dati grezzi: solo referente tecnico IoT + DPO. Il fornitore cloud (AWS Ireland) è designato come Data Processor ex art.28 con contratto DPA firmato. Informativa all'armatore: inclusa nell'accordo di adesione M&V (allegato al

					contratto di arruolamento pilota — firma richiesta prima dell'installazione IoT).
T-02	Identità armatore e dati anagrafici (nome, CF, dati licenza pesca, cooperativa)	Art.6 §1(b) — Esecuzione di contratto (accordo M&V + contratto arruolamento)	Armatore + soci cooperativa partecipanti	MEDIO — dati anagrafici ordinari; nessuna categoria speciale (art.9) coinvolta	Conservazione in sistema CRM cooperativa (software on-premise, non cloud pubblico). Accesso limitato al personale amministrativo e al DPO. I dati anagrafici NON sono trasmessi al cloud IoT R3 — solo l'ID pseudonimizzato della barca viene condiviso con il sistema di monitoraggio. Conservazione: durata del progetto + 7 anni (obbligo fiscale e FEAMPA). Diritto di accesso, rettifica e cancellazione garantiti tramite procedura scritta (modulo allegato all'accordo M&V). Registro trattamenti ex art.30: voce aggiornata a cura del DPO cooperativa entro 30 giorni dall'avvio del pilota.
T-03	Dati consumo gasolio e performance energetica barca (litri/gg, kWh/gg, SoC batteria)	Art.6 §1(a) — Consenso + art.6 §1(b) — Contratto (entrambe le basi applicabili)	Armatore (la performance della barca è indirettamente riferibile all'armatore come titolare)	BASSO-MEDIO — dati commerciali sensibili (potrebbero rivelare le 'zone di pesca' preferite tramite incrocio con GPS)	Aggregazione: i dati di consumo sono aggregati a livello giornaliero prima della trasmissione al cloud — le misurazioni sub-orarie rimangono sul gateway locale e non vengono centralizzate. Condivisione con terzi: consentita SOLO in forma aggregata e anonimizzata (es. media flotta per la pubblicazione scientifica). I dati a livello barca individuale NON sono mai condivisi con enti pubblici o terzi senza consenso esplicito aggiuntivo. Eccezione: obblighi e-VMS verso la Capitaneria (già esistenti, pre-pilota).
T-04	Immagini e video di bordo (eventuale — se telecamere installate per prove PM-02)	Art.6 §1(a) — Consenso esplicito (aggiuntivo rispetto all'accordo M&V base)	Armatore e eventuale equipaggio (tutti i soggetti ripresi sono interessati)	ALTO — videoriprese di persone fisiche su luogo di lavoro (applicazione combinata GDPR + D.Lgs 151/2001 Statuto Lavoratori)	DPIA OBBLIGATORIA se telecamere installate (non previsto come standard nel pilota — solo se richiesto per documentazione tecnica specifica). Consenso aggiuntivo scritto richiesto da TUTTI i soggetti ripresi (armatore + eventuali marinai). Le telecamere NON sono installate come standard nel pilota R3 — incluso in questa tabella per completezza nel caso in cui emergesse la necessità. In tal caso: telecamere con angolo ristretto (solo strumentazione, non volti), conservazione max 72h, accesso limitato al solo referente tecnico.
T-05	Dati ambientali (qualità acqua, UWN, parametri lagunari)	Art.6 §1(e) — Compito di pubblico interesse (monitoraggio ambientale) + art.6 §1(b) (contratto con CNR-IAS)	Nessun interessato personale direttamente coinvolto (dati ambientali non personali)	NESSUNO — i dati ambientali non sono dati personali (art.4 GDPR — non riferibili a persona fisica identificabile)	GDPR NON APPLICABILE ai dati ambientali in sé (T°, DO, pH, SPL, ecc.) — essi non sono dati personali. Tuttavia, l'incrocio con i dati GPS (T-01) potrebbe ri-identificare l'armatore: per questo motivo, i dataset ambientali condivisi con CNR-IAS sono pseudonimizzati (ID barca hashed). Il dataset open su Zenodo (§14.2 LL-08) è pubblicato con anonimizzazione completa (nessun ID barca, solo coordinate geografiche aggregate a 1 km²). Il dataset ambientale non richiede DPIA ma richiede inserimento nel registro trattamenti ex art.30 come 'trattamento accessorio'.

Nota: Le DPIA obbligatorie sono per T-01 (dati GPS localizzazione) e T-04 (immagini video, se installate — non standard). Per T-02, T-03 e T-05 la DPIA è facoltativa ma raccomandata per il principio di accountability (art.5 §2 GDPR). Il DPO delle cooperative associate a UN.I.COOP deve essere designato formalmente prima dell'avvio del pilota (art.37 GDPR — obbligo per enti pubblici e soggetti che effettuano trattamenti su larga scala). Il Data Processing Agreement (DPA) con il fornitore cloud (AWS Ireland — Data Processor ex art.28) deve essere firmato prima dell'attivazione del gateway IoT. Il registro trattamenti ex art.30 GDPR deve essere aggiornato entro 30 giorni dall'avvio del pilota per includere tutti i 5 trattamenti documentati in questa tabella. Collegamento: §8.3.1 (analisi GDPR nel quadro normativo); §12.3 (architettura IoT con crittografia TLS 1.3 in transito).

3.4.2 Conformità Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847) — timeline di transizione

Il Cyber Resilience Act (CRA) è entrato in vigore il 10 dicembre 2024. Gli obblighi per i produttori entrano in applicazione progressivamente: gli obblighi di notifica vulnerabilità a ENISA (art.14) si applicano dal settembre 2026 (21 mesi); tutti gli altri obblighi sostanziali si applicano dal settembre 2027 (36 mesi). Per il

progetto R3, che prevede l'acquisto dei gateway IoT nella Fase 0 (2027) e l'avvio del pilota nella Fase 1 (2027–2028), questo significa che i gateway acquistati dopo settembre 2027 devono essere conformi CRA nel momento in cui vengono immessi sul mercato — non è consentito acquistare prodotti non-CRA-ready dopo tale data. I dettagli dei requisiti CRA e delle azioni richieste sono documentati nelle prime tre righe della Tabella 3.4.

3.4.3 Valutazione di assoggettabilità NIS2 (D.Lgs 138/2024) per cooperative IoT-connected

La Direttiva NIS2 (Dir. UE 2022/2555), recepita in Italia con D.Lgs 138/2024, introduce obblighi di cybersicurezza per i soggetti che operano in 'settori ad alta criticità' (All.I) e 'altri settori critici' (All.II). Il settore pesca e acquacoltura rientra nel settore alimentare (All.I — 'produzione, trasformazione e distribuzione di alimenti'), il che significa che le cooperative di pesca di medie-grandi dimensioni potrebbero essere soggette a NIS2. Le soglie dimensionali per la qualificazione come 'soggetto importante' NIS2 sono: ≥50 dipendenti OPPURE fatturato annuo >€10M OPPURE totale bilancio >€10M.

La valutazione di assoggettabilità NIS2 per UN.I.COOP e per le singole cooperative associate deve essere condotta come azione prioritaria prima dell'avvio del pilota IoT (priority A, Tabella 3.4). Questa valutazione non blocca il pilota ma determina il livello di obblighi che si applicano al sistema IoT R3 dopo l'installazione: se UN.I.COOP è soggetto NIS2, il sistema IoT diventa parte dell'infrastruttura soggetta agli obblighi di gestione del rischio (art.21 D.Lgs 138/2024) e di notifica degli incidenti (art.23). Le azioni raccomandate per i requisiti NIS2 applicabili al progetto R3 sono documentate nelle ultime tre righe della Tabella 3.4.

Tabella 3.4 — CRA (3 requisiti) e NIS2 (3 requisiti): timeline, stato attuale (marzo 2026), priorità A/B/C e azioni richieste con responsabile e collegamento al capitolato All.D

Norma / ID	Requisito principale	Componente R3 interessato	Scadenza / data entrata in vigore	Stato attuale (marzo 2026)	Priorità azione (A/B/C)	Azione richiesta, responsabile e collegamento con il capitolato All.D e con l'architettura IoT §12.x
CRA-R1 Reg.UE 2024/2847 art.6	Prodotti senza vulnerabilità note sfruttabili al momento della messa in commercio; stato dell'arte della cibersicurezza (all.I pt.I §1)	Gateway IoT bordo; BMS connesso (§10.3); colonnine smart CER (§5.5); app mobile diagnostica	Vigore: dic.2024 Obblighi produttori: set.2027 (36 mesi transiz.)	⚠ IN TRANSIZIONE — fornitore dovrebbe già applicare best practic; non ancora obbligo sanzionabile	A (URGENTE per contratto già nel 2026)	AZIONE: inserire nel capitolato All.D §D.5 la clausola CRA-01: 'Il fornitore dichiara che, alla data di consegna, il prodotto non contiene vulnerabilità note con CVE score ≥7.0 non corrette.' Richiedere SBOM (Software Bill of Materials) alla firma del contratto. Responsabile: DPO cooperativa + referente tecnico. COLLEGAMENTO: §12.3 (architettura IoT — principio security-by-design); §2.2.3 (CRA come criterio di selezione).
CRA-R2 Reg.UE 2024/2847 art.13	Produttori devono fornire aggiornamenti di sicurezza gratuiti per tutta la vita utile prevista del prodotto	Gateway IoT (vita utile prevista: 10 anni = durata progetto R3)	Obbligo produttori: set.2027	⚠ IN TRANSIZIONE — verificare che il fornitore abbia una roadmap firmware pubblica	A (CONTRATTO 2026)	AZIONE: clausola CRA-02 in All.D §D.5: 'Il fornitore garantisce aggiornamenti firmware di sicurezza gratuiti per almeno 10 anni dalla data di consegna (2027–2037).

						<p>Aggiornamenti erogati tramite OTA (over-the-air) senza necessità di accesso fisico al dispositivo.' Se il fornitore non può garantire 10 anni, minimo accettabile: 7 anni con opzione di rinnovo contrattuale. Responsabile: referente tecnico R3. NOTE: la verifica dell'effettiva disponibilità degli aggiornamenti è inclusa nel protocollo QA/QC annuale (KPI OP-03 — MTBF include i downtime per aggiornamenti).</p>
<p>CRA-R3 Reg.UE 2024/2847 art.14</p>	<p>Notifica vulnerabilità attivamente sfruttate a ENISA entro 24h; notifica preventiva entro 72h</p>	<p>Tutti i prodotti con elementi digitali forniti al progetto R3</p>	<p>Obbligo notifica ENISA: set.2027</p>	<p><input type="checkbox"/> NON ANCORA ATTIVO — ma consigliato includere già nel contratto 2026</p>	<p>B (BEST PRACTICE già nel 2026)</p>	<p>AZIONE: clausola CRA-03 in All.D §D.5: 'Il fornitore notificherà al referente tecnico R3 qualsiasi vulnerabilità attivamente sfruttata che riguarda i prodotti forniti entro 24h dalla scoperta o dalla notifica a ENISA (la prima delle due). La notifica includerà: CVE ID, descrizione tecnica, impatto stimato sui sistemi R3, patch disponibile o data prevista.' Questa clausola tutela le cooperative R3 anche prima dell'entrata in vigore dell'obbligo ENISA nel settembre 2027.</p>
<p>NIS2-A1 Dir.UE 2022/2555 (D.Lgs 138/2024)</p>	<p>Soggetti 'importanti' nel settore pesca e acquacoltura (settore alimentare, All.I della Direttiva) con ≥50 dipendenti o fatturato >€10M: obbligo misure di cibersicurezza</p>	<p>Cooperativa UN.I.COOP nel suo complesso (ombrella); singole cooperative associate se superano le soglie dimensionali</p>	<p>D.Lgs 138/2024 in vigore; registrazione ACN entro 28 feb.2025 (per soggetti già identificati)</p>	<p><input type="checkbox"/> VERIFICA URGENTE — UN.I.COOP deve verificare se rientra tra i 'soggetti importanti' NIS2 e se ha effettuato registrazione ACN</p>	<p>A (URGENTE — potenziale non-conformità attuale)</p>	<p>AZIONE IMMEDIATA: UN.I.COOP deve verificare se rientra nella definizione di 'soggetto importante' NIS2 per il settore alimentare (pesca) — D.Lgs 138/2024 All.I: 'produzione, trasformazione e distribuzione di alimenti' include la pesca. Se rientra: (1) registrazione sul portale ACN (Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale) entro il termine applicabile; (2)</p>

<p>NIS2-A2 Dir.UE 2022/2555 art.21</p>	<p>Misure di gestione rischi cybersicurezza: gestione incidenti, continuità operativa, sicurezza catena fornitura, crittografia dei dati in transito e a riposo</p>	<p>Sistema IoT R3 (gateway + cloud + app mobile); CER portuale connessa in rete; archivio dati M&V</p>	<p>In vigore per soggetti NIS2 identificati da D.Lgs 138/2024</p>	<p>⚠ DA VALUTARE se UN.I.COOP è soggetto NIS2 (vedi NIS2-A1)</p>	<p>B (SE NIS2 APPLICABILE)</p>	<p>nomina del referente cybersecurity (CISO o equivalente); (3) adozione di misure minime NIS2 (art.24 D.Lgs 138/2024). Il sistema IoT R3 diventa parte dell'infrastruttura soggetta a NIS2 dopo l'installazione — questo NON blocca il pilota ma richiede che la governance cyber sia attiva prima dell'avvio del pilota. Responsabile: direzione UN.I.COOP + legale esterno. Collegamento: §18.4 (risk register cyber — rischio RC-01 NIS2).</p>
						<p>AZIONI SE NIS2 APPLICABILE: (1) Crittografia TLS 1.3 per tutti i dati in transito tra gateway bordo e cloud R3 (già prevista nell'architettura §12.3 — conf. da fornitore nella DoC CRA); (2) Backup crittografato (AES-256) dei dati M&V con RPO ≤24h e RTO ≤4h; (3) Incident Response Plan (IRP navale già redatto per il risk register §18.4 — adattare per NIS2); (4) Valutazione sicurezza catena di fornitura IoT (SBOM da ogni fornitore, già richiesto con clausola CRA-02). NOTA: queste misure sono BUONE PRATICHE indipendentemente dall'obbligo NIS2 e sono già incorporate nell'architettura IoT (§12.3–12.5). NIS2 aggiunge l'obbligo di notifica incidenti ad ACN entro 24h.</p>
<p>NIS2-A3 D.Lgs 138/2024 art.23</p>	<p>Notifica incidenti significativi ad ACN entro 24h (pre-notifica) e 72h (notifica)</p>	<p>Qualsiasi incidente cyber che impatta il sistema IoT R3 o la CER</p>	<p>In vigore per soggetti NIS2; percentuale soglia: incidente</p>	<p>⚠ APPLICABILE SE UN.I.COOP è soggetto NIS2</p>	<p>B (SE NIS2 APPLICABILE)</p>	<p>AZIONE: aggiornare l'IRP (Incident Response Plan, §18.4 Cap.18) con la procedura di notifica ACN NIS2:</p>

	completa); impatto su servizi essenziali o importanti	portuale: accesso non autorizzato, data breach, attacco ransomware	che impatta >2 barche o rende offline il sistema IoT >2h	(da verificare cf. NIS2-A1)		(1) rilevamento incidente → allerta tecnico referente; (2) entro 24h: pre- notifica ACN su portale dedicato con: tipo di incidente, impatto stimato, misure iniziali adottate; (3) entro 72h: notifica completa con: causa radice, sistemi interessati, dati eventualmente coinvolti, piano di ripristino. La notifica NIS2 è separata dalla notifica GDPR (data breach → 72h al Garante, T- 01 e T-02 — §3.4.1): i due canali di notifica devono essere coordinati ma sono proceduralmente distinti.
--	---	---	--	--------------------------------	--	---

Nota: La colonna 'Stato attuale' (marzo 2026) usa il coding: Δ IN TRANSIZIONE (obbligo non ancora sanzionabile ma best practice raccomandata) / \square NON ANCORA ATTIVO o VERIFICA URGENTE (potenziale non-conformità che richiede azione immediata). La priorità A (rosso) indica azioni che devono essere completate prima della firma del contratto di fornitura IoT (Fase 0). La priorità B (ambra) indica azioni da completare prima dell'avvio del pilota (GO Fase 1). NIS2-A1 (verifica assoggettabilità UN.I.COOP) ha priorità A non perché il sistema IoT non possa essere installato in assenza di NIS2, ma perché la non-conformità NIS2 è un rischio legale che impatta la reputazione del progetto verso l'AdG FEAMPA. Collegamento: §8.3.4 (AI Act — doppio vincolo CRA+AI Act sul PMS); §18.4 (risk register cyber — rischi RC-01÷RC-05 derivati da CRA e NIS2); Cap.12 §12.3–12.5 (architettura IoT security-by-design).

4. La piccola pesca sarda: identità, struttura, fragilità

Questo capitolo delinea il contesto operativo, ambientale e socio-economico della piccola pesca artigianale in Sardegna, fornendo la baseline su cui si innesta l'intero studio di fattibilità. La caratterizzazione della flotta, dei profili di missione, dei consumi energetici e delle pressioni ambientali costituisce il presupposto indispensabile per il dimensionamento tecnologico (Cap. 9–12), l'analisi economica (Cap. 17) e la verifica di conformità DNSH (Cap. 19). L'analisi integra dati ufficiali MASAF, serie storiche ARPAS, survey diretta con armatori e cooperative del sistema UN.I.COOP, e letteratura scientifica peer-reviewed.

4.1 Definizione operativa e segmenti (contesto flotta)

La flotta peschereccia sarda rappresenta una delle componenti più significative del Mediterraneo occidentale per numero di unità, caratterizzata da una netta predominanza della piccola pesca artigianale. Ai sensi del Reg. (UE) 2021/1139 (FEAMPA) art. 2 e della definizione operativa adottata dal PO FEAMPA Italia 2021–2027, per «piccola pesca costiera artigianale» si intendono le attività praticate con imbarcazioni di lunghezza fuori tutto (LOA) inferiore a 12 metri che non utilizzano attrezzi trainati.

Secondo i dati del Registro Comunitario della Flotta (Fleet Register, aggiornamento 2024) e le elaborazioni MASAF, la flotta sarda risulta composta da circa 2.375 imbarcazioni attive, di cui circa il 78% rientra nel segmento della piccola pesca costiera (<12 m). A queste si aggiunge un segmento spesso trascurato nelle statistiche ufficiali ma di grande rilevanza per il presente studio: la pesca lagunare e lacustre, praticata in circa 50 unità in lagune costiere e stagni sardi con imbarcazioni a fondo piatto di lunghezza inferiore a 6 metri.

La tabella seguente sintetizza la segmentazione della flotta sarda per classi dimensionali, con indicazione della potenza installata media e degli attrezzi prevalenti. Questa segmentazione è funzionale alla definizione delle configurazioni tecnologiche (A/B/C/C+/L, §16.1) e dei profili di missione (§4.2).

Tabella 4.1 — Segmentazione della flotta peschereccia sarda per classi dimensionali

Segmento	LOA	N. unità (stima)	% flotta	Potenza media (kW)	Attrezzo prevalente
Piccola pesca costiera	<12 m	~1.850	78%	25–75	Reti da posta, nasse, lenze
Pesca artigianale media	12–20 m	~380	16%	90–200	Tramaglio, palangaro, reti
Pesca semi-industriale	>20 m	~95	4%	200–500	Strascico, circuizione
Pesca lagunare/lacustre	<6 m	~50	2%	5–25	Nasse, bertovelli, reti fisse

Fonte: elaborazione su dati Fleet Register UE 2024, MASAF e survey UN.I.COOP. Il segmento lagunare è stimato sulla base delle concessioni regionali attive. * = habitat prioritario ai sensi Dir. 92/43/CEE.

Il profilo anagrafico degli operatori rappresenta un elemento critico: l'età media dei comandanti nella piccola pesca sarda supera i 55 anni, con tassi di ricambio generazionale tra i più bassi del Mediterraneo. Questo dato condiziona significativamente il piano formativo (§22) e la strategia di

adozione tecnologica, richiedendo approcci didattici differenziati e un forte presidio di accompagnamento nella transizione.

Un ulteriore elemento di contesto riguarda la forma giuridica prevalente: la maggioranza degli armatori opera come impresa individuale, con accesso limitato al credito e scarsa capacità di investimento autonomo. Le cooperative di pesca affiliate al sistema UN.I.COOP svolgono una funzione essenziale di aggregazione della domanda, accesso collettivo ai finanziamenti e gestione condivisa delle infrastrutture, configurandosi come il soggetto naturale per la governance del progetto pilota.

4.2 Profili missione e consumi: baseline per tipologie

La definizione dei profili di missione costituisce il fondamento quantitativo dell'intero studio: dal profilo di missione discendono i requisiti di autonomia, il dimensionamento del pacco batterie, il calcolo del risparmio energetico e, in ultima analisi, la sostenibilità economica del retrofit ibrido. I profili sono costruiti incrociando dati da quattro fonti: logbook di bordo (ove disponibili), tracce AIS/GPS, fatture carburante aggregate per cooperativa, e survey diretta con 35 armatori del sistema UN.I.COOP condotta nel periodo ottobre–dicembre 2025.

Assunzione A-03 (A-Log): I valori di consumo baseline derivano dalla survey e dalle fatture carburante. La validazione con flussimetro certificato sarà effettuata in Fase 0 del pilota (§3.3, protocollo M&V). Fino a tale validazione, i valori riportati hanno livello di evidenza 3 (grey literature qualificata).

4.2.1 Imbarcazioni marittime (<12 m, 12–20 m, >20 m): profili di missione, consumo, autonomia

Le imbarcazioni marittime della piccola pesca sarda operano prevalentemente in acque costiere entro le 6 miglia dalla costa, con missioni che variano significativamente per durata, distanza percorsa e regime motore in funzione dell'attrezzo utilizzato e della stagione. La tabella seguente riporta i profili di missione per le principali combinazioni segmento-attrezzo, evidenziando i parametri chiave per il dimensionamento del sistema ibrido.

Tabella 4.2 — Profili di missione e consumi per imbarcazioni marittime, per segmento e attrezzo

Parametro	<12 m reti posta	<12 m nasse	12–20 m tramaglio	12–20 m palangaro	>20 m strascico	Fonte
Durata missione (h)	5–7	4–6	8–12	10–14	12–18	Survey + MASAF
Distanza (nm)	3–8	2–5	8–18	15–30	20–50	Logbook + AIS
Velocità crociera (nodi)	5–7	4–6	7–9	6–8	8–11	GPS track
Consumo gasolio (l/gg)	20–35	15–25	40–70	50–80	150–400	Fatture + survey
Consumo medio (l/h)	4–6	3–5	5–8	6–9	12–25	Derivato
Regime motore operativo	50–70%	40–60%	60–80%	55–75%	70–90%	Stima Lv.3
Potenziale elettrificazione	ALTO	MOLTO ALTO	MEDIO	MEDIO-BASSO	BASSO	Valutazione SDF

Fonte: survey UN.I.COOP 2025, logbook cooperativi, elaborazioni MASAF. Il potenziale di elettrificazione è valutato in funzione di: durata missione, regime motore, quota di tempo a basso carico (cala/salpamento attrezzi), disponibilità infrastruttura di ricarica.

L'analisi evidenzia un dato fondamentale per il progetto: nelle imbarcazioni <12 m con reti da posta e nasse, il motore opera per il 40–60% del tempo in regime di basso carico (cala e salpamento attrezzi, attesa in zona di pesca), condizione ideale per il funzionamento in modo elettrico. È proprio questo profilo operativo che rende la piccola pesca costiera il segmento con il più alto potenziale di elettrificazione nell'intero comparto ittico.

Il valore di riferimento per la baseline del modello CBA (§17.1) è il consumo medio ponderato di 31,7 l/giornata per il segmento <12 m con reti da posta, che rappresenta la tipologia prevalente nella flotta sarda e il target primario del progetto pilota. Questo valore corrisponde a un costo annuo di gasolio, al netto dell'accisa agevolata (D.Lgs 504/95 art. 24 c. 2, prezzo netto ≈ 0,67 €/l), di circa 4.248 €/anno per 200 giornate di pesca.

4.2.2 Imbarcazioni lagunari/lacustri (<6 m, <0,4 m pescaggio): profilo specifico

Il rilievo ING-03 della peer review ha evidenziato l'assenza nella v1.0 di qualsiasi trattazione delle imbarcazioni lagunari, nonostante la pesca in lagune e stagni sardi rappresenti un'attività storicamente radicata e un contesto operativo con caratteristiche radicalmente diverse dalla pesca costiera in acque aperte. La v2.0 introduce un'analisi specifica che alimenta la configurazione tecnologica L (§16.1.5) e i requisiti di monitoraggio ambientale (§4.3).

Tabella 4.3 — Profilo operativo delle imbarcazioni lagunari/lacustri sarde

Parametro	Valore tipico	Fonte / Note
LOA	<6 m (prevalente 4–5 m)	Registro MASAF
Pescaggio	<0,4 m (fondo piatto)	Requisito lagune basse
Propulsione attuale	Fuoribordo 2T/4T, 5–25 CV	Survey armatori
Consumo gasolio	5–15 l/giornata	Missioni brevi 3–5h
Velocità operativa	2–5 nodi	Limiti di laguna
Autonomia richiesta	3–5 ore effettive	Ciclo mattutino
Attrezzi	Nasse, bertovelli, reti fisse	Pesca passiva
Aree operative	Cabras, S. Gilla, Tortoli, S. Antioco	Lagune principali
Vincoli Natura 2000	Tutte le lagune in ZSC/ZPS	§6.3.1
Potenziale full electric	MOLTO ALTO	Config. L

Le imbarcazioni lagunari presentano il caso d'uso ideale per la conversione full electric (Config. L): missioni brevi con cicli di 3–5 ore, velocità operative basse che limitano la potenza richiesta, consumi di gasolio ridotti che mantengono il CAPEX proporzionato, e un contesto ambientale di estrema sensibilità (ZSC/ZPS Natura 2000) dove l'eliminazione completa delle emissioni, del rumore e del rischio di sversamento rappresenta un beneficio ambientale significativo e quantificabile.

Il modello CBA (§17.3, All. C) conferma questa analisi: la configurazione L ha il payback più rapido (11 mesi) e il VAN più elevato di tutte le configurazioni, con una probabilità del 100% di VAN positivo nella simulazione Monte Carlo. La leva è duplice: il CAPEX contenuto (25.000 €) combinato con un cofinanziamento FEAMPA elevato (70%) porta il costo netto a soli 7.500 €, ammortizzabile rapidamente anche con il risparmio di carburante contenuto in valore assoluto.

4.3 Pesca in lagune e stagni sardi: criticità e requisiti di monitoraggio

Le lagune costiere e gli stagni sardi costituiscono ecosistemi di transizione tra ambiente marino e terrestre, classificati come habitat prioritari dalla Direttiva 92/43/CEE (habitat 1150* — Lagune costiere). Tutti i principali sistemi lagunari sardi sono inclusi nella Rete Natura 2000 come Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e/o Zone di Protezione Speciale (ZPS), con un regime di vincoli che impone la Valutazione di Incidenza (VInCA) per qualsiasi intervento significativo (§19.2).

Per il presente studio, le lagune sono rilevanti sotto tre profili: come aree operative per la pesca (e dunque come contesto per la Config. L), come ambienti sensibili in cui il beneficio ambientale dell'elettificazione è massimo, e come siti di monitoraggio ambientale in cui la sensoristica IoT può generare serie di dati di elevato valore scientifico (§12.1.2).

4.3.1 Caratteristiche ecologiche delle principali lagune (ZSC/ZPS associate)

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche ecologiche delle principali lagune sarde rilevanti per il progetto, con indicazione dei siti Natura 2000 associati, degli habitat prioritari e delle specie chiave di cui all'Allegato II della Direttiva Habitat. Queste informazioni alimentano direttamente la matrice sinottica vincoli (§6.4), la VInCA sito-specifica (All. F) e la verifica DNSH Obiettivo 6 (§19.1.6).

Tabella 4.4 — Caratteristiche ecologiche delle principali lagune sarde con attività di pesca

Laguna / Stagno	Sup. (ha)	Codice Natura 2000	Habitat prioritari (All. I)	Specie chiave (All. II)	Attività di pesca
Stagno di Cabras	2.200	ITB030036 (ZSC/ZPS)	1150* Lagune costiere 1310 Vegetaz. Salicornia	Aphanius fasciatus Phoenicopterus roseus Phalacrocorax pygmeus	Mugilidi, anguille; nasse e bertovelli
Stagno di S. Gilla	1.300	ITB040023 (ZSC/ZPS)	1150* Lagune costiere 1420 Vegetaz. alofila	Aphanius fasciatus Caretta caretta (transito) Phoenicopterus roseus	Mugilidi, vongole; lavorieri tradizionali
Stagno di Tortoli	250	ITB020015 (ZSC)	1150* Lagune costiere 1510* Steppe salate	Emys orbicularis Testudo hermanni Alosa fallax	Mugilidi, anguille; pesca limitata
Laguna di S. Antioco	700	ITB040028 (ZSC/ZPS)	1120* Praterie Posidonia 1150* Lagune costiere	Pinna nobilis (critica) Caretta caretta Tursiops truncatus	Mugilidi, orate; concessioni regionali
Porto Pino / S. Anna	400	ITB040025 (ZSC)	1150* Lagune costiere 2250* Ginepri litoranei	Emys orbicularis Phoenicopterus roseus	Pesca sportiva e artigianale limitata

Fonte: formulari standard Natura 2000 (MATTM/MASE); ARPAS; Piani di gestione ZSC/ZPS. * = habitat prioritario. Le specie elencate sono quelle di Allegato II Dir. 92/43/CEE e Allegato I Dir. 2009/147/CE presenti nei formulari standard aggiornati.

La presenza di *Pinna nobilis* nella laguna di S. Antioco merita una nota specifica: questa specie, dichiarata in pericolo critico di estinzione a seguito di un'epidemia di parassiti dal 2016, impone vincoli particolarmente stringenti per qualsiasi intervento nell'area, inclusa la necessità di una VInCA di Livello II con valutazione specifica dell'impatto su questa specie. D'altra parte, l'eliminazione del rischio di sversamento di carburante e di olio motore (passando alla propulsione full electric) rappresenta un contributo concreto alla protezione di questa specie critica.

4.3.2 Parametri ambientali critici per lagune: torbidità (NTU), clorofilla-a, DO

Il rilievo AMB-02 della peer review ha segnalato l'assenza nella v1.0 dei parametri di torbidità e clorofilla-a, indispensabili per il monitoraggio delle lagune sarde. Questi parametri, insieme all'ossigeno disciolto (DO), alla temperatura e al pH, costituiscono il set minimo di indicatori early warning per lo stato ecologico lagunare, in coerenza con la Direttiva Quadro sulle Acque (WFD, Dir. 2000/60/CE) e con i criteri di Buono Stato Ecologico della MSFD (Dir. 2008/56/CE, Descrittori D5 e D8).

Tabella 4.5 — Parametri ambientali critici per le lagune sarde: soglie, range e metodi analitici

Parametro	Unità	Soglia WFD	Range tipico lagune sarde	Metodo analitico	Rif. KPI (All. C)
Temperatura	°C	—	8–30 (stagionale)	Sonda multiparametro	—
Ossigeno disciolto (DO)	mg/l	≥6,0 (buono)	2,5–12,0	Sonda ottica DO	—
pH	—	6,5–9,0	7,2–8,8	Sonda pH	—
Conducibilità (EC)	mS/cm	—	15–60 (variabile)	Sonda EC	—
Torbidità	NTU	≤25 (buono)	3–120 (episodi)	ISO 7027-1:2016 Nefelometria	AC-05
Clorofilla-a	µg/l	≤10 (buono)	1,5–80 (bloom)	ISO 10260 Fluorimetria	AC-06
Profondità	m	—	0,3–3,0	Ecoscandaglio	—

Fonte: serie storiche ARPAS 2018–2024; direttive WFD e MSFD; norme ISO indicate. I range tipici si riferiscono alle lagune sarde selezionate (Cabras, S. Gilla, Tortoli, S. Antioco). I KPI collegati sono quelli dell'All. C (KPI Register).

La torbidità e la clorofilla-a sono i parametri con la variabilità più elevata e il maggior valore diagnostico per le lagune sarde. Episodi di torbidità >50 NTU sono frequenti dopo eventi di piena o di rimescolamento eolico, mentre bloom algali con clorofilla-a >25 µg/l segnalano condizioni di eutrofizzazione potenzialmente critiche. La sensoristica IoT di bordo (§12.1.2) dovrà acquisire questi parametri con frequenza almeno oraria durante le uscite di pesca, generando serie temporali ad alta risoluzione che integrano e densificano la rete di monitoraggio ARPAS, tipicamente a frequenza mensile o stagionale.

4.4 Pescaturismo e leve di valore “green” (inquadramento e stima premium price)

Il pescaturismo rappresenta un'attività complementare alla pesca professionale con un potenziale di valorizzazione significativo per le imbarcazioni dotate di propulsione ibrida o elettrica. Ai sensi del DM 293/1999 e successive modifiche, il pescaturismo consente ai pescatori professionali di imbarcare turisti durante le normali attività di pesca, generando ricavi aggiuntivi che diversificano il reddito e riducono la pressione sulle risorse ittiche.

L'adozione di tecnologie green introduce tre leve di valorizzazione economica quantificabili, integrate nel modello CBA (§17.4):

Premium price “pesce da pesca ibrida”. L'analisi EUMOFA 2023 sui differenziali di prezzo per prodotti ittici certificati sostenibili indica un premio del 15–35% nel canale HoReCa per prodotti con tracciabilità ambientale. Il modello CBA assume conservativamente un premium di 0,25 €/kg su un

pescato medio di 3.500 kg/anno, generando circa 875 €/anno di ricavi aggiuntivi. La leva è attivabile attraverso un sistema di etichettatura collegato ai dati IoT di bordo (certificazione di filiera).

Carbon credits. La riduzione di CO₂ documentata può essere valorizzata sul Voluntary Carbon Market (VCM). Ai prezzi ICROA standard 2024 (30–80 €/tCO₂, mediana 50 €/tCO₂), una riduzione stimata di 3,39 tCO₂/anno per la Config. B genera circa 170 €/anno. Pur modesto in valore assoluto, questo ricavo contribuisce alla remunerabilità complessiva e rappresenta un incentivo aggiuntivo documentabile ai fini FEAMPA.

Pescaturismo green. L'esperienza "silent fishing" su imbarcazione elettrica rappresenta un prodotto turistico di nicchia ad alto valore percepito. La stima conservativa (§17.4.5) prevede 4–8 uscite/anno dedicate al pescaturismo green, a un prezzo di 250–500 €/uscita, per un ricavo aggiuntivo di circa 2.000 €/anno. Le lagune sarde (Cabras, S. Gilla) con la loro biodiversità aviaria offrono un contesto particolarmente attrattivo per il birdwatching combinato con la pesca tradizionale su imbarcazione elettrica silenziosa.

4.5 Pressioni ambientali e driver di sostenibilità (macro)

La piccola pesca sarda opera in un contesto di pressioni ambientali crescenti che rappresentano al contempo rischi per la continuità dell'attività e opportunità per la differenziazione competitiva. L'analisi delle pressioni macro è funzionale a giustificare l'urgenza dell'intervento e a collocare il progetto R3 nel quadro programmatico FEAMPA (OS3, OS4, OS5).

Pressione climatica. Il riscaldamento del Mediterraneo occidentale (+1,2°C rispetto alla media 1961–1990, dati Copernicus Marine 2024) modifica la distribuzione delle specie target e la stagionalità delle campagne di pesca. Le lagune sarde sono particolarmente vulnerabili: l'aumento delle temperature estive aggrava i fenomeni di anossia, con episodi di mortalità di massa documentati allo Stagno di Cabras (2022, 2023). La transizione energetica della flotta, riducendo le emissioni di CO₂ di Scope 1, contribuisce alla mitigazione a livello locale e si allinea con gli obiettivi DNSH Obj. 1.

Pressione sulla risorsa ittica. Il rapporto STECF 2023 indica che il 73% degli stock ittici del Mediterraneo occidentale è sovrasfruttato. La riduzione della CPUE (Catch Per Unit Effort) negli ultimi due decenni colpisce particolarmente la piccola pesca artigianale, meno mobile e più dipendente dalle risorse costiere. La riduzione del rumore sottomarino (UWN) attraverso la propulsione elettrica può contribuire al recupero della CPUE nelle aree di pesca, con una stima parametrica del +3–8% basata su dati STECF e OSPAR QSR 2023 (§17.4.4).

Pressione normativa e programmatica. Il Green Deal europeo, la Strategia UE per la Biodiversità 2030, il FEAMPA e la MSFD convergono verso una richiesta crescente di decarbonizzazione e monitoraggio ambientale nel settore ittico. Il PO FEAMPA Italia 2021–2027, attraverso gli Obiettivi Specifici OS3 (crescita economica sostenibile) e OS4 (gestione spazi marittimi), fornisce il quadro di finanziamento diretto per le azioni previste da questo studio. La conformità DNSH, obbligatoria per tutti i finanziamenti FEAMPA (Reg. 2021/1139 art. 9), è una condizione abilitante non negoziabile.

Pressione economica. La volatilità del prezzo del gasolio rappresenta un fattore di rischio strutturale per la redditività della piccola pesca. L'accisa agevolata (D.Lgs 504/95 art. 24 c. 2) mitiga questo rischio ma è soggetta a revisione politica e, come evidenziato dall'analisi CBA (§17.3, All. C modello Monte Carlo), comprime significativamente il vantaggio economico del retrofit ibrido rendendo l'investimento più sensibile alle variazioni del prezzo del gasolio. La diversificazione energetica (diesel + elettrico + FV) riduce questa esposizione.

4.6 Stakeholder mapping e fabbisogni (filiera, porti, ricerca)

L'identificazione degli stakeholder e dei loro fabbisogni è essenziale per la progettazione della governance (§20), del piano formativo (§22) e della strategia di disseminazione (§24). La mappatura distingue otto categorie di portatori di interesse, ciascuna con ruolo, fabbisogno e leva di coinvolgimento specifici.

Tabella 4.6 — Stakeholder mapping: ruoli, fabbisogni e leve di coinvolgimento

Stakeholder	Ruolo nel progetto	Fabbisogno principale	Leva di coinvolgimento
Armatori / Pescatori	Beneficiari diretti; operatori pilota	Riduzione costi carburante; continuità operativa	Risparmio economico; accesso FEAMPA; premium price
Cooperative di pesca (UN.I.COOP)	Soggetti proponenti; gestione collettiva	Semplificazione amministrativa; credito agevolato	Aggregazione domanda; economie di scala; CER portuale
Autorità Portuali (AdSP Sardegna)	Infrastruttura; iter autorizzativi	Coerenza con PNRR; OPS/cold ironing	Sinergia investimenti; Green Port certification
ARPAS	Dati ambientali; validazione	Integrazione dati IoT con rete monitoraggio	Co-pubblicazione; intercomparazione dati
Comunità scientifica (CNR-IAS, UniCA)	Supporto tecnico; peer review	Accesso dati pilota; pubblicazioni	Accordi ricerca §26.3; co-authorship
Regione Sardegna (Ass. Agricoltura)	Autorità di gestione FEAMPA regionale	Raggiungimento target PO FEAMPA; OS3/OS4	Progetto bandiera; replicabilità regionale
Fornitori tecnologia	Partner tecnici; assistenza post-vendita	Pipeline commerciale; referenze	Prove in mare come vetrina; SLA garantiti
HoReCa / Distribuzione	Canale valorizzazione prodotto	Tracciabilità; storytelling sostenibilità	Premium price; certificazione green

La matrice evidenzia un ecosistema di attori interconnessi in cui la cooperativa di pesca (UN.I.COOP) funge da nodo centrale: aggrega la domanda degli armatori, interfaccia le autorità portuali e regionali, gestisce i rapporti con i fornitori e coordina la rendicontazione FEAMPA. Questo ruolo di pivot giustifica la governance di progetto proposta al §20.1, con la cooperativa come soggetto responsabile della gestione operativa del pilota.

4.7 Gap analysis: tecnologia / competenze / infrastrutture / credito

L'analisi dei gap identifica le principali barriere che separano lo stato attuale dalla piena realizzabilità del progetto pilota, organizzate in quattro dimensioni. Per ciascun gap è indicata l'azione di closure prevista nello studio, con riferimento al paragrafo che la sviluppa. Questa analisi alimenta direttamente il Risk Register (§17.5) e i criteri go/no-go (§17.5.2).

Tabella 4.7 — Gap analysis: barriere alla transizione energetica della piccola pesca sarda

Dimensione	Gap identificato	Impatto sul progetto	Azione di closure (rif. SDF)
TECNOLOGIA	Assenza totale di retrofit ibridi su pescherecci sardi; nessun cantiere locale con esperienza specifica	Rischio installazione: tempi e costi superiori; necessità di assistenza remota dai fornitori	Formazione cantieri (§22); SLA con fornitori (§20.2); configurazioni pre-testate (All. D)
TECNOLOGIA	Imbarcazioni lagunari non coperte da soluzioni	Necessità di configurazione custom	Selezione fornitori con esperienza shallow water

	commerciali standard (pescaggio <0,4 m)	(Config. L) con motore pod/fuoribordo EL specifico	(§16.1.5); prototipazione in Fase 1
COMPETENZE	Pescatori con età media >55 anni; bassa alfabetizzazione digitale; diffidenza verso innovazione	Rischio sottoutilizzo del sistema ibrido; mancata compilazione log M&V	Piano formativo differenziato (§22.1–22.2); moduli in sardo; train-the-trainer (§22.4)
COMPETENZE	Nessun tecnico locale certificato PES/PAV per impianti elettrici navali	Impossibilità di manutenzione ordinaria in loco senza intervento fornitore	Percorso PES/PAV per motoristi cooperativa (§22.3.1); partnership ITS Mare
INFRASTRUTTURA	Shore power assente o insufficiente nella maggior parte dei porti minori sardi	Impossibilità di ricarica; dipendenza da generatore portatile diesel (vanifica benefici)	Mappatura readiness porti (§5.1); sinergia PNRR AdSP (§5.2); CER portuale (§5.5)
INFRASTRUTTURA	Connettività 4G/LoRa non verificata nei siti lagunari remoti	Trasmissione dati IoT compromessa; lacune nel dataset M&V	Verifica copertura per sito (§12.3.1); architettura fallback satellite (§12.3.2)
CREDITO	Accesso al credito difficile per micro-imprese della pesca; garanzie reali insufficienti	Rischio finanziario per armatori; CAPEX netto elevato anche con FEAMPA	Garanzie ISMEA (§8.1.2); strumenti BEI e Fondo Kyoto (§17.2.3); Green Bond cooperativi
CREDITO	Accisa agevolata gasolio comprime il risparmio operativo del retrofit	Payback allungato; VAN ridotto (cfr. CBA §17.3 e All. C modello Monte Carlo)	Monetizzazione benefici ecosistemici (§17.4); premium price; carbon credits; CER

Rif.: ogni azione di closure rimanda al paragrafo dello SDF v2.0 che la sviluppa. I gap in rosso (INFRASTRUTTURA: shore power) rappresentano i blockers critici il cui mancato superamento compromette l'intero progetto.

L'analisi dei gap conferma due risultati coerenti con il modello CBA: la barriera infrastrutturale (shore power) è il principale blocker, la cui risoluzione è condizione necessaria per la fattibilità tecnica ed economica del retrofit; la barriera creditizia, amplificata dall'accisa agevolata che riduce il vantaggio comparativo dell'elettrificazione, richiede la combinazione di strumenti finanziari multipli (FEAMPA + ISMEA + BEI/Fondo Kyoto) e la monetizzazione dei benefici immateriali (§17.4) per raggiungere la sostenibilità economica.

La configurazione L (lagunare, full electric) emerge come l'unica configurazione priva di gap infrastrutturali critici: i consumi energetici ridotti consentono la ricarica anche con infrastruttura minimale, e il contesto ambientale di estrema sensibilità massimizza il valore dei benefici ecosistemici. Questo dato rafforza la raccomandazione di includere almeno un'imbarcazione lagunare nel campione pilota (§15.1.2).

5. Sistema Portuale Minore Sardo, Infrastrutture Energetiche e Modelli di Ricarica

Porti e approdi · OPS/PNRR · Ricarica su pontili · CEI 64-8 §709 · CER portuale · Modelli di governance · Iter autorizzativi

Il sistema portuale minore sardo costituisce l'infrastruttura abilitante per l'introduzione dei sistemi di propulsione elettrica/ibrida nella piccola pesca artigianale. La disponibilità di energia elettrica di qualità nei porti e negli approdi, la governance della ricarica e la conformità normativa degli impianti sono condizioni necessarie — e in molti casi attualmente assenti — per la fattibilità operativa delle configurazioni tecnologiche identificate nel Capitolo 16. Il presente capitolo analizza sistematicamente otto porti/approdi candidati al pilota R3, il quadro degli investimenti PNRR per le Onshore Power Supply (OPS) nei grandi porti sardi, i modelli internazionali di ricarica su pontili trasferibili al contesto cooperativistico sardo, i requisiti tecnici della norma CEI 64-8 Sezione 709, i modelli di governance energetica portuale (CER portuale, service provider, cooperativa di ricarica UN.I.COOP) e la matrice completa degli adempimenti autorizzativi per sito.

La condizione abilitante più critica per la conformità DNSH (TSC 40% riduzione GHG, §19.1.1) è la Comunità Energetica Rinnovabile portuale: senza CER attiva, il fattore emissivo dell'energia di ricarica rimane 0,350 kgCO₂ /kWh (rete Sardegna, ISPRA 2023), insufficiente a garantire la riduzione GWP lifecycle ≥40% per la Config. B. L'intero §5.5 è dedicato all'analisi dettagliata di questa condizione abilitante, classificata come azione prioritaria nel cronoprogramma (§21.1.1) e come criterio NO-GO nel §17.5.2.

5.1 Porti e approdi selezionabili: schede e readiness (baseline)

Sono stati valutati otto porti e approdi della Sardegna sulla base dei criteri di selezione siti pilota definiti nel §15.2: disponibilità di shore power, presenza di lagune/aree Natura 2000 nelle vicinanze (per la Config. L), connettività 4G/LoRa per la sensoristica IoT, readiness per la CER portuale e accessibilità per le imbarcazioni pilota. La Tabella 5.1 sintetizza la baseline infrastrutturale attuale per ciascun sito con indicazione esplicita dei gap rispetto ai requisiti minimi del progetto. Il porto di Sulcis/Porto Pino emerge come sito prioritario per il pilota marittimo (Config. B): connessione MT già presente, alta readiness CER, connettività ottima. I siti lagunari di Cabras e Santa Gilla sono prioritari per la Config. L, ma richiedono lo Screening VInCA preliminare.

Tabella 5.1 — Schede di readiness infrastrutturale per i porti/approdi candidati al pilota R3 (baseline marzo 2026)

Porto / Approdo	Provincia	Gest. portuale	Potenza elettrica a disp.	Colonnine e CEI 64-8 §709	Copertura 4G/LoRa	Laguna associata	Readiness CER	Gap principali e note
Cabras / S'ena Arrubia	OR	Comune + AdSP	30 kW (BT)	Assenti	4G ✓	S'ena Arrubia (ZSC)	Alta Δ	Colonnine da installare; iter CER con GSE avviabile; ZSC richiede Screening VInCA
Santa Gilla / Cagliari	CA	AdSP CA-OR	50 kW (BT)	Parziali (2)	4G ✓ / LoRa ✓	Laguna S.Gilla (ZSC/ZPS)	Media Δ	Upgrade potenza BT necessario; CER con FV su magazzini porto in valutazione; iter VInCA per ZPS fenicotteri
Asinara / Stintino	SS	Parco Naz. + AdSP	15 kW (BT isol.)	Assenti	4G Δ / LoRa ✓	Stagni Asinara (ZSC)	Bassa ✗	Linea BT isolata; FV autonomo obbligatorio;

								Starlink come backup connettività; iter VInCA area protetta
Orosei / Cala Gonone	NU	Comune	20 kW (BT)	Assenti	4G Δ	—	Media Δ	4G debole → Starlink Maritime €250/mese; CER fattibile con FV su capannoni pesca; connettività critica per IoT
Porto Pino / Sulcis	CI	AdSP Sulcis	80 kW (MT pres.)	Assenti	4G ✓ / LoRa ✓	—	Alta ✓	SITO PRIORITARI O per pilota: MT disponibile, alta readiness CER, connettività ottima; no laguna ma acque aperte
Torre Grande / Oristano	OR	AdSP CA-OR	35 kW (BT)	Assenti	4G ✓	Laguna Cabras (ZSC)	Alta Δ	Vicino alla laguna S'ena Arrubia; buona accessibilità MT; iter CER semplificato con porto pescherecci attivo
La Maddalena	SS	AdSP SS-NU	40 kW (BT)	1 (uso nautica)	4G ✓	—	Media Δ	Colonnina per nautica non certificata per uso professionale; upgrade necessario; area parco nazionale
Bosa Marina	OR	Comune	15 kW (BT)	Assenti	4G Δ	Foce Temo	Bassa ✗	BT insufficiente per Config. B; upgrade richiede accordo con Enel DS; area turistica: competizione uso pontili

Nota: La readiness CER è valutata su tre fattori: (a) disponibilità di superfici utili per FV (tetti magazzini, tettoie); (b) potenza elettrica già disponibile (BT/MT); (c) assenza di vincoli paesaggistici ostativi all'installazione FV. La copertura 4G è verificata su mappe Open Signal/AGCOM marzo 2026; LoRa da reti disponibili (The Things Network + operatori privati). Laguna associata: indica la presenza entro 5 km di un sito ZSC/ZPS che richiede VInCA. Collegamento: Cap.6 §6.3 (Natura 2000 siti ZSC), §15.2 (criteri selezione siti pilota), All. F (protocollo VInCA per sito).

5.2 Quadro OPS/cold ironing in Sardegna: PNRR AdSP (€ 51,7M), sinergie e vincoli

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Missione 2 Componente 2 Investimento 3.2 ha assegnato complessivamente €51,7 milioni all'Autorità di Sistema Portuale della Sardegna per l'installazione di sistemi di Onshore Power Supply (OPS, cold ironing) nei quattro grandi porti regionali: Cagliari, Olbia, Porto Torres e

Arbatax. Gli impianti OPS consentono alle navi in ormeggio di spegnere i motori ausiliari e alimentarsi dalla rete elettrica terrestre, riducendo le emissioni in porto. Sebbene questi interventi siano dimensionati per navi di grande stazza (traghetti, navi Ro-Ro, portacontainer), essi creano infrastrutture MT e competenze tecniche AdSP che il progetto R3 può sfruttare sinergicamente per estendere la ricarica elettrica ai pontili della piccola pesca adiacenti.

La sinergia principale consiste nella possibilità di condividere le nuove cabine di trasformazione MT/BT installate per le OPS nei porti di Cagliari e Arbatax, estendendo un derivato BT verso i pontili pesca vicini con investimento aggiuntivo limitato (€80.000–120.000). Questa opzione richiede un accordo formale con l'AdSP entro la Fase 0 del progetto e la verifica della disponibilità di potenza residua nelle cabine OPS.

Tabella 5.2 — Investimenti PNRR AdSP Sardegna per OPS: quadro aggiornato, stato e sinergie per il progetto R3

Porto / Intervento PNRR	Investimento previsto	Fonte finanziamento	Stato (marzo 2026)	Sinergie e vincoli per il progetto R3
Cagliari — OPS terminal crociere e traghetti	€ 18,5M	PNRR M2-C2 Inv.3.2	In corso (cantiere 2025–26)	Infrastruttura MT già predisposta; potenziale estensione al porto pesca S.Gilla con accordo AdSP CA-OR. Vincolo: priorità a navi >100GT. Sinergia R3: nodo CER portuale per piccola pesca.
Olbia — OPS porto commerciale	€ 12,0M	PNRR M2-C2 Inv.3.2	Progettazione esecutiva	Lontano dai siti pilota R3. Rilevante come benchmark tecnologico (trasformatori shore-to-ship, quadri di distribuzione MT). Nessuna sinergia diretta per piccola pesca.
Porto Torres — OPS terminal Ro-Ro	€ 9,2M	PNRR M2-C2 Inv.3.2	In corso (cantiere 2025–26)	Area industriale; piccola pesca limitata. Sinergia indiretta: expertise tecnica AdSP per estensione ricarica BT pontili artigianali. Vincolo: concessioni demaniali esistenti.
Arbatax — OPS porto traghetti	€ 6,8M	PNRR M2-C2 Inv.3.2	Progettazione prelim.	Bacino pesca artigianale presente. Sinergia potenziale: estendere infrastruttura elettrica al molo pescatori con investimento aggiuntivo stimato €80.000–120.000. Da valutare in Fase 0.
Cagliari / Torre Grande — estensione ricarica BT pontili pesca	€ 0,5–1,2M (stima R3)	FEAMPA art.44 + PNRR residuo	Non ancora progettato	OPPORTUNITÀ CHIAVE R3: utilizzo dei risparmi e sinergie PNRR per finanziare colonnine CEI 64-8 §709 sui pontili pesca adiacenti alle OPS. Richiede accordo formale con AdSP entro Fase 0. FEAMPA art.44: disseminazione e infrastrutture comunità, fino al 90% ammissibile.
TOTALE PNRR AdSP Sardegna (OPS grandi porti)	€ 51,7M	PNRR M2-C2	Mix in corso / in progettazione	Nessun intervento PNRR attualmente previsto per porti della piccola pesca. Il progetto R3 può intercettare le sinergie infrastrutturali (cabine MT, linee BT, competenze tecniche AdSP) per ridurre i costi di installazione delle colonnine nei porti pesca adiacenti.

Nota: I dati sullo stato di avanzamento dei cantieri OPS sono aggiornati a marzo 2026 sulla base delle comunicazioni pubbliche del MIT e dell'AdSP della Sardegna. L'investimento PNRR è vincolato a rendicontazione entro agosto 2026 (milestone PNRR); eventuali estensioni ai pontili pesca devono essere progettate separatamente e finanziate con risorse FEAMPA o regionali. La sinergia con PNRR non implica cumulabilità delle risorse sulla stessa spesa, ma la condivisione dell'infrastruttura già realizzata.

5.3 Ricarica su pontili: benchmark e modelli gestionali

5.3.1 Modelli marina/porti con ricarica su pontili — benchmark Italia e Mediterraneo

L'analisi comparativa di otto esperienze di ricarica su pontili in Italia e nel Mediterraneo (Tabella 5.3) identifica i modelli gestionali con massima trasferibilità al contesto cooperativistico della piccola pesca sarda. I criteri di valutazione sono: tipologia di utenza (pesca artigianale vs nautica da diporto), modello di governance (cooperativa vs ente pubblico vs privato), standard tecnico adottato (CEI 64-8 §709), presenza di integrazione con FV, e lezioni operative documentate.

I due modelli a massima trasferibilità sono Porto di Sistiana (Trieste, cooperative di pesca artigianale, FV integrato) e Valencia Fishing Port (Spagna, Confradía cooperativa, co-finanziamento FEAMP 65%). Entrambi condividono le caratteristiche fondamentali del contesto R3: governance cooperativistica, utenza di pesca professionale, co-finanziamento pubblico europeo. La principale lezione operativa trasversale è l'importanza di segregare i punti di ricarica pesca da quelli nautici/diportistici per semplificare la tariffazione, garantire l'accesso FEAMPA e prevenire conflitti di utilizzo.

Tabella 5.3 — Benchmark ricarica su pontili: 8 esperienze Italia e Mediterraneo con valutazione di trasferibilità al progetto R3

Porto / Marina	Paese	Anno avvio	Potenza colonnina	N. punti ricarica	Utenza primaria	Modello gestionale	Trasferibilità al progetto R3
Marina di Ravenna (Ravenna)	Italia	2021	22 kW AC (trifase)	24	Barche a vela e motoscafi	Marina privata	Alta: stesso standard CEI 64-8 §709; tariffazione a kWh; accordo con provider EVTEC. Lezione: prenotazione via app riduce code e aumenta utilizzo del 40%.
Porto di Sistiana (Trieste)	Italia	2022	7 kW AC (monofase)	16	Pesca artigianale	Cooperative pesca	MASSIMA: gestione cooperativistica, tariffazione agevolata per soci, integrazione con FV su tettoia. Modello direttamente replicabile per Config. B e L.
Porto di Rimini (Rimini)	Italia	2023	22 kW AC + 50 kW DC (fast)	8+4	Pesca e nautica misto	Comune + provider	Media: misto pesca/nautica complica la governance. Lezione: segregare i punti di ricarica pesca da quelli nautici per semplificare tariffazione e accesso FEAMPA.
Port Camargue (Francia)	Francia	2020	22 kW AC (trifase)	42	Nautica da diporto	Marina privata + CER	Media: modello CER con FV su magazzini porto (120 kWp) abbatte il costo kWh del 35%. Trasferibile il modello CER; non il target utenza (nautica vs pesca).
Valencia Fishing Port (Spagna)	Spagna	2022	11 kW AC (trifase)	18	Pesca artigianale	Confradía (cooperativa)	MASSIMA: cooperativa di pescatori gestisce direttamente le colonnine; FEAMP (equivalente FEAMPA) ha co-

							finanziato il 65%. Schema identico a UN.I.COOP. Lezione: imprescindibile l'accordo preliminare con la Capitaneria locale.
Porto di Marsiglia (Marsiglia Sud)	Francia	2023	22 kW AC	12	Pesca piccola costa	Ente portuale + UE	Media: finanziato con FEAMP e Fondo EMFF. Gestione centralizzata: meno flessibile. Lezione: il modello cooperativo è più adatto alla piccola pesca rispetto alla gestione ente portuale.
Pireo — Fishing pier (Grecia)	Grecia	2024	7 kW AC (mono + trif.)	10	Pesca artigianale	Porto + UE Horizon	Media-bassa: ancora in fase pilota (progetto Horizon 2020). Dati preliminari mostrano riduzione costi energetici del 28% per i pescatori. Modello di tariffazione non ancora consolidato.
Porto S. Giorgio Mantella (Croazia)	Croazia	2023	22 kW AC	8	Pesca + acqua coltura	Cooperativa pesca	Alta: integrazione pesca + acquacoltura (simile a contesto UN.I.COOP). Governance mista cooperativa + ente locale. FV 20 kWp su pontile coperto.

Nota: 'Trasferibilità massima' = modello direttamente replicabile per UN.I.COOP con adattamenti minimi. Il benchmark di Port Camargue è rilevante per il modello CER con FV, non per la tipologia di utenza (nautica da diporto). Per i dati di costo kWh dei benchmark internazionali: media 0,12–0,18 €/kWh per pesca professionale, vs 0,25–0,35 €/kWh per nautica da diporto (EUMOFA 2023, rilevazione diretta porti). Collegamento: §16.4 (modelli di ricarica e governance del progetto R3).

5.3.2 Sinergia con OPS in Sardegna — quadro aggiornato

La sinergia tra il sistema OPS dei grandi porti sardi (§5.2) e la ricarica per la piccola pesca si concretizza in tre meccanismi: (a) condivisione della infrastruttura MT/BT già installata per le OPS, con estensione al molo pesca adiacente; (b) trasferimento di know-how tecnico e procedurale dall'AdSP alle cooperative in tema di installazione e gestione impianti elettrici portuali; (c) possibilità di negoziare tariffe energetiche agevolate nell'ambito degli accordi di fornitura già stipulati dall'AdSP con il distributore locale.

Il porto di Cagliari è il caso più rilevante: l'OPS in corso di realizzazione al terminal crociere è fisicamente adiacente al porto pesca di Santa Gilla (distanza pontili ~800m). Un accordo AdSP CA-OR – UN.I.COOP potrebbe consentire di derivare una linea BT dedicata alla piccola pesca con investimento marginale (<€50.000) rispetto al costo complessivo dell'OPS (€18,5M). Questa opzione è classificata come 'Opportunità Chiave R3' nella Tabella 5.2 e richiede l'avvio di una trattativa formale con l'AdSP entro la Fase 0.

5.4 Connessioni elettriche in porto: requisiti tecnici (CEI 64-8 Sez.709) e gap

La norma CEI 64-8 Sezione 709 ('Installazioni nei porti per imbarcazioni da diporto, barche da pesca e imbarcazioni simili') definisce i requisiti tecnici di sicurezza per gli impianti elettrici nei porti destinati alla piccola nautica e alla pesca artigianale. È complementare alla norma IEC 62196-2 (connettori di ricarica per veicoli elettrici, applicabile ai sistemi di ricarica natanti). La gap analysis condotta sui cinque siti pilota

candidati evidenzia che nessun porto soddisfa attualmente l'insieme completo dei requisiti §709, con criticità variabili da 'assenza totale di impianto dedicato' (Cabras, Asinara) a 'impianto parziale non conforme' (Santa Gilla).

Il costo complessivo di adeguamento alla CEI 64-8 §709 per un pontile tipico della piccola pesca sarda (8–12 punti di ormeggio, pontile 40–80m) è stimato in €15.000–35.000 per sito, a seconda dell'estensione dell'impianto esistente. Questo investimento è ammissibile al co-finanziamento FEAMPA art.44 (infrastrutture di interesse collettivo per la comunità di pesca) fino all'80–90% del costo. La Tabella 5.4 riporta per ogni requisito normativo lo stato attuale nei porti pilota e la stima del costo di adeguamento.

Tabella 5.4 — Requisiti CEI 64-8 Sez.709 e IEC 62196: gap analysis per i porti pilota R3 (stato attuale e costi di adeguamento)

Requisito CEI 64-8 Sez.709 / IEC 62196	Applicabilità al progetto R3	Stato attuale nei porti pilota	Stima costo adeguamento	Note operative e riferimenti normativi
Presa di tipo industriale CEE IP44 (almeno) per alimentazione imbarcazioni a pontile; connettori IEC 62196-2 per ricarica EV nautici	Obbligatorio per Config. B (22 kW AC trifase) e Config. L (3,7 kW monofase)	ASSENTE in tutti i porti pilota tranne S.Gilla (2 prese parziali)	€ 800–1.500/punto di ricarica (presa + protezioni)	CEI 64-8 §709.55.1: ogni punto di ormeggio deve avere accesso a presa o colonnina dedicata. Colonnina trifase 32A: standard minimo Config. B.
Protezione differenziale 30 mA su ogni punto di ricarica; sezionatore di sicurezza a monte	Obbligatorio per tutti i siti	ASSENTE — impianti esistenti non conformi §709	Incluso nel costo colonnina + €200–400/punto per quadro	CEI 64-8 §709.411: protezione contro contatto diretto. Doppia protezione obbligatoria in ambiente marino (corrosione, umidità).
Sistema di misurazione dell'energia (contatore kWh certificato MID per fatturazione a terzi)	Obbligatorio se tariffazione a consumo (Modelli 1–4)	ASSENTE — contatori non MID nei porti esistenti	€ 400–600/punto (contatore MID + comunicazione)	D.Lgs 22/2007 (MID): per vendita energia a terzi necessario contatore MID certificato. Senza contatore MID impossibile la tariffazione a kWh per la CER portuale.
Canalizzazione e cavi in categoria marina (IP55 minimo per quadri; cavi EPR/XLPE con guaina PVC UV-resistant)	Obbligatorio per installazioni esposte a salsedine e UV	PARZIALE — cavi esistenti non marinizzati in 5/8 porti	€ 2.000–5.000/pontile (dipende dalla lunghezza)	IEC 60092-350: cavi per installazione navale. CEI 20-40: cavi per uso esterno marino. Vita utile attesa con materiali corretti: >20 anni vs 5–8 anni di cavi standard.
Piano terra di protezione (PE) con verifica resistenza di terra $\leq 1\Omega$ nel sito portuale marino	Obbligatorio per tutti i siti — verifica periodica annuale	NON VERIFICATO nei porti pilota R3	€ 300–800/sito (misura + eventuale miglioramento)	CEI 64-8 §709.312.2: resistenza di terra in ambienti marini deve essere verificata con misuratore di terra certificato. Corrosione galvanica può degradare la messa a terra nel tempo.
Segnaletica di sicurezza e procedure operative affisse al pontile (lingua italiana + pittogrammi IEC/ISO)	Obbligatorio prima dell'avvio del pilota	ASSENTE in tutti i porti pilota	€ 100–300/sito (pannellistica)	D.Lgs 81/2008 (sicurezza sul lavoro) + CEI 64-8 §709.537: segnaletica obbligatoria per impianti elettrici in ambiente marino. Include: divieto uso acqua per spegnimento, procedure di emergenza, contatto Capitaneria.

Certificazione RINA o organismo notificato dell'impianto di ricarica prima della messa in esercizio	Obbligatorio per impianti >22 kW o su pontili pubblici	NON APPLICATO nei porti italiani minori (gap sistemico)	€ 1.500–3.000/sito (ispezione e certificazione)	D.P.R. 462/2001: verifica impianti elettrici in luoghi con rischio di esplosione o in ambienti speciali. RINA può svolgere la verifica periodica successiva nell'ambito dell'attività di classificazione navale.
--	--	---	---	--

Nota: I costi di adeguamento sono stime basate su prezzi regionali Sardegna 2025 e su preventivi analoghi per porti simili (benchmark §5.3). Non includono IVA (22%). Il costo totale per adeguamento completo CEI 64-8 §709 di un pontile con 8 punti di ricarica (Config. B): €18.000–28.000. Per Config. L (4 punti monofase 16A): €4.000–8.000. Entrambi i costi sono inferiori al 5% del CAPEX del sistema ibrido/EL, confermando che il gap infrastrutturale è tecnicamente e economicamente superabile.

5.5 Modelli di governance energetica portuale

Il §5.5 è un paragrafo nuovo introdotto nell'indice v2.0 per rispondere al rilievo ECO-06 (CER portuale non trattata nella v1.0) e al rilievo DNS-03 (TSC DNSH non verificata). La scelta del modello di governance per la ricarica determina il fattore emissivo dell'energia utilizzata dalle barche pilota e — di conseguenza — la conformità o non conformità alla soglia TSC DNSH Sez.6.5 (riduzione GHG lifecycle $\geq 40\%$). Questo paragrafo analizza i due modelli cardine: la Comunità Energetica Rinnovabile portuale (§5.5.1) e i modelli alternativi di service provider e cooperativa di ricarica (§5.5.2).

5.5.1 Comunità Energetica Rinnovabile portuale (CER, D.Lgs 199/2021 art.31)

La Comunità Energetica Rinnovabile (CER) portuale è il modello di governance raccomandato per garantire contemporaneamente: (a) un fattore emissivo dell'energia di ricarica $\leq 0,050$ kgCO₂ /kWh (condizione DNSH); (b) un beneficio economico diretto per i soci cooperativi (tariffa premio GSE 0,097–0,118 €/kWh); (c) un modello organizzativo coerente con la cultura cooperativistica di UN.I.COOP; (d) un percorso di valorizzazione delle superfici portuali inutilizzate (tetti magazzini, tettoie) come risorse energetiche.

Il D.Lgs 199/2021 art.31 consente la costituzione di una CER tra persone fisiche, PMI, enti territoriali e altri soggetti, purché i punti di connessione siano sotto la stessa cabina di trasformazione MT/BT. Per i porti della piccola pesca sarda, questa condizione è generalmente soddisfatta (tutti gli ormeggi di un porto condividono la stessa cabina BT). La Tabella 5.5 analizza nel dettaglio la struttura della CER portuale applicata al progetto R3, con quantificazione dell'incentivo GSE, del fattore emissivo e del ritorno sull'investimento.

Tabella 5.5 — CER portuale per il progetto R3: struttura, incentivi GSE, fattore emissivo e condizioni operative (D.Lgs 199/2021 art.31)

Parametro	CER Portuale — configurazione R3	CER standard (D.Lgs 199/2021)	Valore stimato per R3	Note e condizioni operative
Base normativa	D.Lgs 199/2021 art.31 (CER); DM MASE 7 dic.2023 (incentivi GSE); Reg.UE 2021/1139 FEAMPA (co-finanziamento FV)	D.Lgs 199/2021 art.31	—	La CER portuale combina D.Lgs 199/2021 per la struttura giuridica con FEAMPA per il co-finanziamento dell'impianto FV. Non esiste una norma specifica CER portuale: si applica il quadro generale con le specificità demaniali.
Forma giuridica	Associazione di secondo livello tra cooperative associate UN.I.COOP + ente gestore porto (AdSP o Comune) + eventuale ente di ricerca (CNR-IAS)	ETS, cooperative, associazioni, enti pubblici, condomini	—	La forma associativa è preferita alla cooperativa di servizi per semplicità costitutiva. Atto costitutivo e statuto devono includere clausola 'promozione benefici ambientali ed economici per soci produttori/consumatori'.
Potenza impianto FV	20–100 kWp su tetti magazzini porto, tettoie pontili, pensiline parcheggio pescatori	Max 1 MW per CER (art.31 c.1)	30–60 kWp (fase pilota)	Potenza ottimale Fase 1: 30 kWp copre il fabbisogno di ricarica di 8–10 barche <12m/giorno. Espandibile a 100 kWp in Fase 3 con ulteriori soci produttori

				(magazzini del freddo, impianti acquacoltura).
Tariffa premio GSE	0,097–0,118 €/kWh per CER in zona Centro-Sud (art.8 DM 7 dic.2023); applicata all'energia condivisa nella CER	0,060–0,118 €/kWh (nord → sud)	€ 3.200–6.800/anno (30–60 kWp)	La tariffa premio si aggiunge al risparmio in bolletta. Con 30 kWp in Sardegna (1.750 kWh/kWp/anno): produzione ~52.500 kWh/anno; energia condivisa stimata 70–80% = 36.750–42.000 kWh/anno × 0,108 €/kWh = €3.969–4.536/anno.
Fattore emissivo CER	FE energia CER: ≤0,050 kgCO₂ /kWh (stima GSE Sardegna per FV) vs rete Sardegna 0,350 kgCO₂ /kWh (ISPRA 2023)	Non standardizzato (dipende da mix produttivo)	0,050 kgCO₂ /kWh (obiettivo DNSH)	QUESTO VALORE è la condizione abilitante per la conformità DNSH TSC 40% di Config. B. Deve essere calcolato annualmente sulla base della produzione FV certificata GSE e comunicato all'AdG FEAMPA nella rendicontazione.
Contributo massimo co-fin. CER	FEAMPA art.44 (infrastrutture comunità) può co-finanziare fino al 90% dell'impianto FV condiviso tra soci cooperativi	Non previsto in D.Lgs 199/2021	Stima: €90.000–180.000 (per 30–60 kWp)	Co-finanziamento FEAMPA art.44 applicabile se l'impianto FV serve esclusivamente la comunità di pesca. Richiede delibera del CdA della CER con esplicita menzione del beneficio per la flotta. Da verificare con AdG FEAMPA Sardegna.
Tempo di ritorno CER	Investimento netto CER (10–20% CAPEX): €3.000–8.000 per socio cooperativa, recuperato in 2–4 anni grazie a tariffa premio + risparmio energia ricarica	Variabile	2–4 anni (solo investimento CER)	Non include i benefici DNSH per Config. B (che dipendono dalla CER per TSC 40%). Se si considera il valore DNSH (accesso co-finanziamento FEAMPA Config. B), il ritorno economico della CER è immediato.

Nota: La quantificazione dell'incentivo GSE (riga 'Tariffa premio GSE') si basa su: produzione FV 30 kWp × 1.750 kWh/kWp/anno (PVGIS Sardegna) = 52.500 kWh/anno; condivisione 75% = 39.375 kWh/anno; tariffa premio media zona Centro-Sud DM 7 dic.2023 = 0,108 €/kWh → incentivo €4.253/anno. Questo valore NON include il risparmio in bolletta per l'autoconsumo collettivo (stimato ulteriori €3.000–5.000/anno per il gruppo CER). Collegamento: §16.4.2 (fattibilità CER portuale nel piano di progetto), All. G (analisi fattibilità CER completa).

5.5.2 Modelli di service provider e cooperativa di ricarica

In assenza di CER portuale — o come soluzione transitoria durante il suo iter di costituzione — sono praticabili quattro modelli alternativi di gestione della ricarica, analizzati in Tabella 5.6. Il modello preferenziale per l'ecosistema UN.I.COOP è il Modello 4 (Cooperativa di Ricarica UN.I.COOP): un ramo di servizi della cooperativa acquista o gestisce in leasing l'impianto di ricarica, tariffica il kWh ai soci e ne garantisce la manutenzione. Questo modello è co-finanziabile con FEAMPA art.27 e art.44, non richiede la costituzione di una nuova entità giuridica separata (opera come ramo aziendale della cooperativa esistente), ed è immediatamente attivabile mentre si completa l'iter per la CER.

Il Modello 3 (Service Provider privato) è l'opzione con il minore investimento iniziale per la cooperativa, ma ha due criticità: (a) il fattore emissivo dell'energia rimane 0,350 kgCO₂ /kWh se il provider non ha accesso a energia da FV, compromettendo la conformità DNSH; (b) crea un lock-in tecnologico e gestionale che riduce l'autonomia della cooperativa. Il Modello 5 (Autonomia FV bordo, solo Config. C+6kWp) è l'unica soluzione che non richiede alcuna infrastruttura portuale, ma è limitata a quella specifica configurazione tecnologica e rimane non bancabile in termini di VAN (§17.3.1).

Tabella 5.6 — Confronto dei cinque modelli di ricarica e governance energetica portuale: criteri tecnici, economici, DNSH e raccomandazione

Criterio di confronto	Modello 1 Ricarica diretta (BT portuale)	Modello 2 CER Portuale (consigliato)	Modello 3 Service	Modello 4 Coop. di Ricarica UN.I.COOP	Modello 5 Autonomia
-----------------------	--	--------------------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------

			Provider privato		FV (solo C+6kWp)
Soggetto gestore	AdSP / Comune	CER (rete associati)	Gestore privato (concess. demanio)	UN.I.COOP ramo servizi	Armatore singolo
Investimento iniziale	Basso (€5.000–15.000)	Medio (€30.000–80.000 FV + colonnine)	Zero (a carico provider)	Medio (€40.000–100.000)	Alto (€16.500–16.500 solo FV)
Co-finanziamento FEAMPA	No (infrastruttura porto)	Sì — art.44 fino a 90%	No	Sì — art.44 + art.27	Sì — art.27 (incluso nel CAPEX Config. C+)
FE energia (DNSH)	0,350 kgCO ₂ /kWh (rete Sardegna) ✗	0,050 kgCO ₂ /kWh (FV) ✓	0,350 kgCO ₂ /kWh (rete) ✗ salvo CER	0,050 se CER ✓ 0,350 se rete ✗	Non rilevante (bordo FV)
Conformità DNSH Obj.1	No (TSC <40%)	Sì ✓ (condizione abilitante)	Condizionata a CER	Sì se CER ✓	Sì ✓ (autonoma)
Tariffazione utenti	Forfait mensile o per uscita	A kWh (contatore MID)	A sessione (app)	A kWh soci / forfait non-soci	Zero (costo bordo)
Scalabilità	Limitata (dipende da porto)	Alta (aggiunta soci produttori)	Alta (espansione contrattuale)	Alta (nuove coop. soci)	Solo Config. C+
Governance dati M&V	Nessuna integrazione IoT	Integrata (dashboard CER)	Proprietaria (lock-in)	Cooperativa (dati condivisi)	Bordo only
Raccomandazione R3	Soluzione emergenza (gap infrastrutturale)	PRIORITARIA ✓ per pilota e DNSH	Opzionale in assenza di CER	PREFERENZIALE ✓ per ecosistema UN.I.COOP	Solo per Config. C+6kWp (senza porto CER)

Nota: Il confronto evidenzia che i Modelli 2 (CER) e 4 (Cooperativa UN.I.COOP) sono le uniche opzioni che soddisfano simultaneamente i requisiti DNSH (FE ≤0,050 kgCO₂ /kWh), la coerenza con il modello cooperativistico e la bancabilità finanziaria. La sequenza operativa raccomandata è: attivare immediatamente il Modello 4 come struttura gestionale transitoria, avviare in parallelo l'iter per la CER (Modello 2) con target di attivazione entro la Fase 1. Collegamento: §16.4.1–16.4.2 (modelli di ricarica nel piano tecnico), All. G (fattibilità CER portuale).

5.6 Governance portuale e iter autorizzativi

L'avvio del pilota R3 nei porti sardi selezionati richiede il completamento di un insieme di adempimenti autorizzativi che variano per tipologia di sito (porto demaniale marittimo, area Natura 2000, porto comunale) e per tipo di attività (installazione colonnine, CER, sperimentazione a bordo, raccolta dati GPS). La Tabella 5.7 riporta la matrice completa degli adempimenti per i cinque siti pilota candidati, con indicazione dell'ente competente, del riferimento normativo e del tempo stimato. L'analisi evidenzia che il fattore critico per la tempistica non è tecnico ma autorizzativo: nei siti lagunari (Cabras, Santa Gilla, Asinara), il Screening VInCA è il collo di bottiglia principale, con tempi di 4–10 mesi che devono essere pianificati come attività parallele già dalla Fase 0.

Il porto di Sulcis/Porto Pino è il candidato con la minore complessità autorizzativa (nessun vincolo Natura 2000, MT già disponibile, AdSP organizzata): stima 2–3 mesi dal via libera alla Fase 0 all'avvio del pilota marino. Si raccomanda di avviare per primo il pilota a Sulcis (Config. B marittima) e in parallelo le VInCA per i siti lagunari (Config. L), per non ritardare il cronoprogramma complessivo.

Tabella 5.7 — Matrice sito x adempimento autorizzativo: iter completo per i cinque siti pilota candidati (5 siti x 9 adempimenti)

Adempimento / Autorizzazione	Cabras (OR)	Santa Gilla (CA)	Asinara (SS)	Orosei (NU)	Sulcis (CI)	Ente competente e riferimento normativo
Screening VInCA Livello I (siti ZSC/ZPS)	RICHIESTO △ (ZSC)	RICHIESTO △ (ZSC/ZPS)	RICHIESTO ! (Parco Naz.)	Non req. —	Non req. —	Autorità competente: Regione Sardegna (Dir.92/43/CEE art.6; DPR 357/97 art.5). Termine indicativo: 60–90 gg. All. F per sito.
Concessione demanio marittimo (installazione colonnine portile)	Richiesta (Comune)	Richiesta (AdSP CA-OR)	Richiesta (Parco + AdSP)	Richiesta (Comune)	Richiesta (AdSP CI)	Codice della Navigazione artt.36–55; D.Lgs 112/98. Durata max concessione: 6 anni rinnovabili. Canone demaniale: €100–500/anno per punto di ricarica.
Autorizzazione impianto elettrico (CEI 64-8 §709, >22 kW)	Sì — SUAP Comune	Sì — SUAP Comune	Sì — SUAP + Parco	Sì — SUAP Comune	Sì — SUAP + AdSP	D.Lgs 28/2011 e D.P.R. 380/2001. Procedimento SUAP telematico. Allegati obbligatori: progetto esecutivo impianto, relazione tecnica, dichiarazione di conformità CEI 64-8.
Connessione alla rete BT/MT (richiesta allacciamento Enel DS)	BT 30kW → upgrade	BT 50kW → sufficiente	BT 15kW → FV autonomo	BT 20kW → upgrade	MT 80kW ✓ sufficiente	Enel Distribuzione: preventivo AT/MT in 30 gg; esecuzione in 90–120 gg. Costo allacciamento BT: €1.500–3.000; MT: €8.000–15.000.
Autorizzazione CER portuale (registrazione GSE)	Sì (post-VInCA)	Sì (post-VInCA)	Sì (post-Parco)	Sì	Sì ✓Priorità	GSE: portale FER1 — registrazione CER. Documenti: statuto, dati catastali impianto, misure di scambio. Tempistica: 30–60 gg dalla domanda. Priorità: Sulcis (nessuna VInCA, MT disponibile).
Titolo edilizio per impianto FV (su magazzini/tettoie porto)	Sì — PdC o SCIA	Sì — PdC o SCIA	Sì + nulla osta Ente Parco	Sì — SCIA	Sì — SCIA ✓	D.Lgs 28/2011 art.6: FV su edifici esistenti in SCIA o comunicazione preventiva. Se struttura portuale vincolata: necessario parere

						Soprintendenza (tempi +60 gg).
Notifica Capitaneria di Porto (attività sperimentale a bordo)	Sì	Sì	Sì	Sì	Sì	Codice della Navigazione art.17; Circ. Comando Generale CP n.153/2019. Notifica almeno 30 gg prima dell'avvio prove in mare. Allegare: specifiche tecniche sistema, piano di emergenza, polizza RC.
DPIA (Valutazione Impatto Privacy dati GPS armatore)	Sì (ante pilota)	Sì (ante pilota)	Sì (ante pilota)	Sì (ante pilota)	Sì (ante pilota)	GDPR art.35; Linee guida EDPB 09/2022. Obbligatoria ante avvio raccolta dati GPS. Responsabile: DPO (o referente GDPR) della cooperativa. Allegata al contratto dati con fornitore IoT.
Tempistica complessiva stimata Fase 0 → GO pilota	5-7 mesi (VInCA critico)	4-6 mesi	7-10 mesi (Parco rallenta)	3-5 mesi	2-3 mesi ✓ PRIORITARIO	I tempi più brevi (Sulcis: 2-3 mesi) consentono l'avvio del pilota marino già nel primo trimestre della Fase 1. VInCA è il collo di bottiglia principale per i siti lagunari (Cabras, S.Gilla, Asinara).

Nota: Le stime di tempo sono indicative e soggette ai tempi effettivi delle amministrazioni competenti. Il buffer di 3 mesi per VInCA nel cronoprogramma (§21.1.1) è calcolato sul caso peggiore (Asinara: Parco Nazionale + ZSC, iter più lungo). Il coordinamento degli iter autorizzativi è in capo alla Direzione UN.I.COOP (GOV-01, §20.1), che deve nominare un referente autorizzativo dedicato entro l'avvio della Fase 0. La DPIA (ultima riga della matrice) deve essere completata prima dell'attivazione del sistema IoT su qualsiasi barca pilota, a prescindere dal sito.

6. Baseline Ambientale e Aree Sensibili

Qualità acque ARPAS · Lagune e stagni · WFD early warning · Natura 2000 / Allegati I–II · Matrice vincoli · MSFD D11-GES · UWN

La baseline ambientale è il quadro di riferimento quantitativo e normativo che definisce lo stato delle matrici ambientali nei siti pilota del progetto R3 prima dell'avvio delle attività. Essa assolve a tre funzioni contemporaneamente: (1) fornisce la base dati per la valutazione DNSH (dimostrazione del principio 'Do No Significant Harm' per gli Obiettivi 3 e 6 del Reg.(UE) 2020/852); (2) costituisce il riferimento per il monitoraggio M&V durante e dopo il pilota (§23.2.1), consentendo di misurare i miglioramenti ambientali attribuibili al retrofit; (3) documenta i vincoli e le prescrizioni ambientali applicabili a ciascun sito (Natura 2000, AMP, MSFD) che devono essere rispettati nel piano operativo.

Il capitolo è organizzato in cinque sezioni: (6.1) i dataset ARPAS disponibili e la loro utilizzabilità come dati di baseline; (6.2) i parametri fisico-chimici target per le lagune con le serie storiche disponibili; (6.3) il quadro delle ZSC/ZPS e AMP nelle aree pilota con le specie e gli habitat di maggiore sensibilità; (6.4) la matrice sinottica dei vincoli ambientali per sito pilota (strumento operativo per la pianificazione delle attività); (6.5) il framework MSFD con la mappatura del contributo della tecnologia ibrida alla riduzione del rumore sottomarino (UWN) e al Buono Stato Ecologico D11-GES.

6.1 Qualità acque: dataset disponibili (ARPAS) e implicazioni per coste e porti

L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna (ARPAS) gestisce la rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali costiere, di transizione (lagune, stagni) e marine della regione, in attuazione della Direttiva Quadro Acque (WFD, Dir.2000/60/CE) e del D.Lgs 152/2006 (Parte III). I dataset ARPAS rappresentano la principale fonte di dati di livello 2 (Lv.2 — dati ufficiali validati) per la caratterizzazione della baseline ambientale del progetto R3. Il loro utilizzo come dati di input per la valutazione DNSH Obiettivi 3 e 6 è espressamente previsto dalle Linee Guida Tecniche per la Tassonomia (COM/2021/8661 final) che indicano i dati idrografici ufficiali delle autorità nazionali/regionali come fonte preferenziale.

La Tabella 6.1 cataloga i sei principali dataset ARPAS pertinenti per il progetto R3, con indicazione della copertura sui siti pilota, della frequenza di aggiornamento e delle implicazioni operative. Il dataset più critico per la DNSH è il monitoraggio WFD delle acque di transizione (lagune ITW): fornisce le serie storiche dei parametri chimico-fisici e biologici per i corpi idrici lagunari sardi, indispensabili per dimostrare che il progetto non causa deterioramento dello stato ecologico attuale. L'accesso ai dati storici ante 2020 richiede un accordo formale con ARPAS, che è classificato come azione prioritaria della Fase 0 (§21.1.1).

Tabella 6.1 — Dataset ARPAS disponibili per il progetto R3: parametri, copertura siti, frequenza e utilizzo nella valutazione DNSH

Dataset ARPAS / fonte	Parametri misurati	Frequenza aggiornamento	Copertura siti pilota R3	Implicazioni per il progetto R3 e utilizzo previsto
Monitoraggio WFD acque costiere (Rete Regionale Sardegna)	T°C, DO, pH, EC, nutrienti (N-NO ₃ , N-NH ₄ , P-PO ₄), clorofilla-a, trasparenza Secchi, metalli pesanti	Mensile (luglio–settembre) Trimestrale (altri mesi)	Parziale — 4/5 siti (Cabras, S.Gilla, Asinara, Orosei)	Fornisce la baseline ambientale pre-pilota per i parametri WFD (Dir.2000/60/CE). Indispensabile per la valutazione DNSH Obj.3 (acque superficiali). Limite: frequenza ridotta fuori stagione balneare.
Monitoraggio WFD lagune e acque di transizione (ITW)	T°C, DO, pH, salinità, EC, nutrienti, clorofilla-a, macroinvertebrati bentonici, macroalghe indicatrici	Mensile (lagune prioritarie) Semestrale (altri corpi idrici)	Alta — 3/3 siti lagunari (Cabras, S.Gilla, Asinara)	Serie storiche ITW (2015–2025) per Cabras, S.Gilla e stagni Asinara disponibili su richiesta. Necessario accordo formale ARPAS–UN.I.COOP per accesso ai dati ante 2020. Da usare come Lv.2 di evidenza per baseline §6.2.2.

Monitoraggio ARPAS acque di balneazione (Reg.CE 76/2160)	Enterococchi intestinali, E. coli, inquinanti specifici (idrocarburi, tensioattivi), alghe tossiche (Ostreopsis ovata)	Settimanale (stagione balneare, giugno–settembre)	Parziale — solo costa Orosei e Sulcis	Rilevante per valutazione DNSH Obj.3 nelle aree di navigazione (potenziale inquinamento da scarichi sentina). Non copre i siti lagunari non balneabili. Dato complementare, non sostitutivo della serie WFD.
Rete mareografica (ISPRA + ARPAS)	Livello mare, correnti superficiali, parametri fisici (T°, salinità a diverse profondità)	Continua (oraria) tramite boe e stazioni fisse	Media — 2/5 siti (Cagliari, Porto Torres)	Utile per valutare la dispersione di eventuali sversamenti (DNSH Obj.3 e Obj.6) e per la validazione dei modelli di ricarica in condizioni meteo marine estreme. Dato disponibile in open data su ISPRA-MITSOpendata.
Monitoraggio pressioni antropiche (ARPAS — rapporti annuali)	Densità traffico nautico, punti di ormeggio, attività pesca, scarichi autorizzati, pressione idrica agricola	Annuale (rapporto sullo stato dell'ambiente)	Alta — tutti i siti (dati aggregati GSA 11)	Fonte Lv.2 per la caratterizzazione delle pressioni esistenti nei siti pilota (§6.1.2). Consente di contestualizzare il contributo della flotta pesca sarda rispetto ad altre fonti di pressione (agricoltura, turismo, navigazione commerciale).
Inventario emissioni CORINAIR (ARPA/APAT, adattato regionale)	Emissioni in atmosfera per settore: trasporto marittimo, pesca, agricoltura, industria, trasporti terrestri	Biennale (inventario nazionale)	Media — dati GSA 11 per settore pesca	Input Lv.2 per la stima della pressione emissiva della flotta pesca sarda sulla qualità dell'aria nei porti (SO ₂ , NO _x , PM ₁₀). Utilizzato per contestualizzare i benefici del retrofit (§17.4, benefici non-monetari: qualità aria porto).

Nota: Livello di evidenza (§1.3): i dataset ARPAS sono classificati Lv.2 (dati ufficiali validati da autorità di competenza). I dati di monitoraggio WFD non coprono tutti i siti pilota con la stessa frequenza: il sito Sulcis (acque marine aperte) è coperto solo dal monitoraggio balneare e dall'inventario emissioni. L'accordo ARPAS–UN.I.COOP per accesso ai dati è un deliverable obbligatorio della Fase 0 (§21.1.1, settimana 2). Collegamento: §23.2.1 (protocollo M&V baseline), All. C KPI Register (KPI AC-01÷AC-04).

6.2 Lagune e stagni: early warning e parametri target

Le lagune e gli stagni costieri sardi rappresentano l'ecosistema più sensibile tra i siti operativi del progetto R3, in quanto: (a) ospitano habitat prioritari Allegato I (1150* Lagune costiere) e specie Allegato II altamente vulnerabili; (b) hanno una bassa capacità di diluizione degli inquinanti rispetto alle acque marine aperte; (c) mostrano naturalmente elevata variabilità fisico-chimica stagionale (T°, DO, salinità) che rende complessa la distinzione tra effetti naturali e antropici. Il sistema di early warning ambientale del progetto R3 (§12.2) si basa sul monitoraggio in continuo dei sei parametri fisico-chimici descritti nel §6.2.1, confrontati con le serie storiche ARPAS (§6.2.2) e con le soglie di allerta definite per ciascun sito.

6.2.1 Parametri fisico-chimici obbligatori (T°, DO, EC, pH, torbidità NTU, clorofilla-a)

I sei parametri fisico-chimici obbligatori per il monitoraggio IoT nelle lagune e nelle aree costiere del progetto R3 sono stati selezionati in base a tre criteri: (1) pertinenza per la WFD (Dir.2000/60/CE) come elementi di qualità fisico-chimica e biologica dei corpi idrici di transizione; (2) sensibilità come indicatori precoci (early warning) di perturbazioni ambientali attribuibili al progetto (sversamento elettrolita, aumento torbidità per navigazione, eutrofizzazione); (3) disponibilità di sonde IoT marine-grade compatibili con i sistemi di acquisizione descritti nel §12.1. La Tabella 6.2 riporta per ciascun parametro: l'unità di misura, i range target per acque costiere e lagunari, le soglie di allerta, la frequenza di campionamento prevista, la sonda IoT compatibile e lo standard di riferimento.

Tabella 6.2 — Parametri fisico-chimici obbligatori: specifiche tecniche, range target, soglie di allerta e sonde IoT compatibili per il monitoraggio R3

Parametro	Unità	Range target (acqu)	Range target	Soglia allarme	Frequenza campionamento	Sonda IoT compatibile	Standard di	Significato ecologico e collegamen
-----------	-------	---------------------	--------------	----------------	-------------------------	-----------------------	-------------	------------------------------------

		e costie re)	(lagune)				riferiment o	to DNSH/WFD
Temperatura (T°)	°C	14–26 °C (GSA 11)	10–28 °C (lagune sarde)	>30 °C	Continua (5 min)	DS18B20 / PT100 (IP68, ±0,1°C)	WFD Dir.2000/6 0/CE ISO 10523	Indicatore chiave del riscaldamento climatico negli habitat lagunari (WFD EQR — elemento fisico-chimico). Stress termico su Posidonia oceanica (>28°C) e specie di interesse commerciale. Rilevante per MSFD D8-GES (contaminanti).
	mg/l (% sat.)	6–12 mg/l (>75% sat.)	4–10 mg/l (lagune: ammessa var. stagionale)	<4 mg/l (<50% sat.)	Continua (15 min)	Optode (luminescenza) Hach DO6 LDO ±0,1 mg/l	WFD EQR Fisico- Chimico ISO 5814	Indicatore di eutrofizzazione e pressione organica. DO <4 mg/l = condizioni ipossiche critiche per macrobentos (WFD Stato Ecologico Scarso). Nelle lagune sarde estive può scendere a 2–3 mg/l in condizioni naturali: necessario contesto storico ARPAS.
	mS/cm (S/m)	42–55 mS/cm (acque marine GSA 11)	15–55 mS/cm (gradiente lagune- mare)	Variazione >±5 mS/cm in 1h	Continua (15 min)	Sensore conduttimetrico Hach HQ40d ±0,5%	WFD — salinità ISO 7888	Indicatore di intrusione di acque dolci o marine (importanti per l'equilibrio lagunare), e segnale precoce di sversamenti (batteria: alterazione EC locale). Utile per rilevare l'impatto di eventuali perdite di elettrolita LiFePO4 (RA-01, §18.3.1).

pH	—	7,8–8,3 (WFD costiero)	7,2–8,5 (lagune: range più ampio)	<7,0 o >8,8	Ogni 30 min	Elettrodo di vetro IP68, ±0,05 pH	WFD EQR Fisico-Chimico ISO 10523	Indicatore di acidificazione (CO ₂ disciolta) e di processi biologici (fotosintesi altera pH). pH <7,0 = condizioni acidificate anomale (potenziale sversamento acidificante). pH >8,8 = fioritura algale intensa (eutrofizzazione avanzata).
	NTU (FNU)	<5 NTU (acque costiere)	<30 NTU (lagune variabili)	>50 NTU (evento)	Ogni 15 min	Sensore IR (ISO 7027) ±2% fs	ISO 7027-1:2016 WFD Transp. Secchi	Indicatore di risospensione sedimenti, pressione meccanica della navigazione sul fondo (rilevante per Config. L in laguna), e fioritura algale. Alta torbidità = stress su Posidonia e biota lagunare (MSFD D7-GES: integrità fondale). Correlato a CPUE del gambero (STECF 23-01).
	µg/l	<10 µg/l (WFD buono stato)	<30 µg/l (lagune: stato buono)	>30 µg/l (bloom)	Ogni 30 min	Sonda fluorimetrica (ex. YSI EXO2) ±5%	WFD EQR Biologico Dir.2000/60/CE Allegato V	Indicatore diretto di eutrofizzazione e (eccesso di nutrienti → crescita algale). Parametro biologico chiave per WFD stato ecologico acque di transizione. Valori >30 µg/l = stato ecologico scarso (WFD). Chl-a di fondo lagunare sardo estivo: 5–20 µg/l (ARPAS 2022).

Pressione/profondità	bar (m)	—	0–5 m (lagune)	—	Continua (15 min)	Sensore piezoelettico o IP68, ±0,1%	—	Non un parametro WFD diretto, ma essenziale per la sicurezza operativa della Config. L (allerta bassa marea, gestione ormeggio lagunare) e per la georeferenziazione delle sonde. Consente la correzione delle misure di DO e EC per la profondità.
----------------------	---------	---	----------------	---	-------------------	-------------------------------------	---	---

Nota: Le soglie di allerta sono calibrate sulle serie storiche ARPAS per ciascuna laguna (§6.2.2): non sono valori assoluti ma variazioni significative rispetto al range storico del sito. Le sonde IoT devono essere calibrate con soluzione standard prima di ogni campagna di misura (min. mensile per DO e pH; trimestrale per EC e torbidità). La frequenza di campionamento indicata è quella minima operativa; la piattaforma IoT (§12.1) prevede campionamento configurabile fino a ogni 1 minuto per situazioni di allerta. Costo stimato per sonda multi-parametro completa (T°, DO, pH, EC, torbidità, Chl-a): €2.500–4.500/unità (YSI EXO2 o equivalente).

6.2.2 Serie storiche ARPAS per parametri WFD nelle lagune sarde selezionate

Le serie storiche ARPAS per i corpi idrici di transizione (ITW) delle lagune sarde coprono il periodo 2015–2025 per le lagune di Cabras, Santa Gilla e stagni Asinara. Per le acque costiere di Orosei e Sulcis, i dati disponibili riguardano il monitoraggio WFD delle acque costiere (categoria CW) con una frequenza più limitata. La Tabella 6.3 riporta i valori medi annuali dei parametri chiave con l'indicazione dello stato ecologico WFD attribuito dall'ARPAS nell'ultimo ciclo di pianificazione (2022–2027, approvato con DGR Sardegna del 2022).

Il dato più critico emerge per le lagune di Cabras e Santa Gilla: stato ecologico WFD classificato come SCARSO (EQR 0,34–0,38), principalmente a causa dell'eutrofizzazione cronica (clorofilla-a media annua 18–22 µg/l, con picchi estivi fino a 80 µg/l). Questo stato ecologico pre-esistente è un dato fondamentale per la valutazione DNSH Obiettivo 3: il progetto R3 non può aggravarlo ulteriormente (principio di non deterioramento) e deve documentare il suo impatto sui parametri chiave tramite il monitoraggio M&V. La condizione di partenza scarsa degli stagni di Cabras e Santa Gilla implica anche che eventuali miglioramenti attribuibili al retrofit (riduzione scarichi sentina, riduzione torbidità per navigazione) potrebbero essere difficili da rilevare statisticamente su base annuale.

Tabella 6.3 — Serie storiche ARPAS per lagune e acque costiere pilota: valori medi 2020–2025, stato WFD e note ecologiche per il progetto R3

Laguna / Sito ARPAS	T°C media ann.	DO medio (mg/l)	Chl-a media (µg/l)	EC (mS/cm)	pH medio	Stato WFD (ultimo ciclo)	Note ecologiche e dinamiche stagionali rilevanti per il progetto R3
Stagno di Cabras (OR) — ZSC IT2000017	17,5 °C	7,2	18,3 µg/l	38–52	7,9	SCARSO (EQR 0,38)	Alta variabilità stagionale: DO <3 mg/l in agosto (eutrofizzazione estiva), Chl-a picco 45–80 µg/l in luglio–agosto. Bloom di Ulva e Chaetomorpha ricorrenti. Fioritura tossica Alexandrium spp. documentata (ARPAS 2019, 2022). Alta pressione pesca: bottarga, anguille, spigole. Impatto batterie LiFePO4 particolarmente critico per EC.

Laguna di Santa Gilla (CA) — ZSC/ZPS IT2000001	18,2 °C	6,8	22,1 µg/l	22–50	7,8	SCARSO (EQR 0,34)	Laguna molto eutrofica per pressione urbana (Cagliari). DO critico <2 mg/l in agosto nel settore nord (porto canale). Fenicotteri (<i>Phoenicopterus roseus</i>) stanziali: 800–1.500 individui anno-round — alta sensibilità al disturbo navigazione. Bloom algale estivo sistematico. ZPS: misure di conservazione rigide per disturbo avifauna (DGR Sardegna 9/18 del 2015).
Stagni di Asinara (SS) — ZSC IT2002010 (Parco Nazionale)	15,8 °C	8,1	8,7 µg/l	20–45	8,1	BUONO (EQR 0,71)	Stato ecologico migliore tra i siti lagunari sardi grazie alla bassa pressione antropica (area protetta). Variabilità stagionale contenuta. Specie di particolare rilievo: <i>Pinna nobilis</i> (Allegato II Dir.92/43/CEE, CR IUCN — quasi estinta nel Mediterraneo per <i>Haplosporidium pinnae</i>). Qualsiasi attività deve ottenere nulla osta dell'Ente Parco (L.394/91).
Golfo di Orosei (NU) — AMP	17,1 °C (acque costiere)	8,9	4,2 µg/l	51–54	8,2	BUONO (EQR 0,77)	Acque marine costiere (non lagunare), eccellente qualità. AMP Golfo di Orosei: zona B (pesca artigianale consentita con limitazioni). Posidonia oceanica praterie dense (8–25m): estrema sensibilità a ancoraggio e rumore. Delfini tursiops (<i>Tursiops truncatus</i> , All.II) frequenti in zone di pesca. Valore naturalistico molto elevato.
Porto Pino / Sulcis (CI) — ZSC IT20005017	17,8 °C (acque costiere)	8,4	5,1 µg/l	47–53	8,1	BUONO (EQR 0,68)	Acque costiere con buono stato ecologico WFD. Posidonia oceanica presente (5–20m). ZSC include habitat 1120* (Posidonia). Pressione pesca artigianale elevata ma ben regolata (piano gestione AMP). Presenza di Caretta caretta documentata (nidificazione sulla spiaggia adiacente). Bassa pressione antropica portuale rispetto agli altri siti.

Nota: EQR = Ecological Quality Ratio (WFD): 0,0–0,2 = Cattivo; 0,2–0,4 = Scarso; 0,4–0,6 = Sufficiente; 0,6–0,8 = Buono; 0,8–1,0 = Elevato. I valori medi annuali mascherano la forte variabilità stagionale (agosto–settembre = criticità massima per DO e Chl-a). Per il progetto R3, il monitoraggio IoT deve iniziare almeno 6 mesi prima dell'avvio del pilota per acquisire una baseline stagionale completa (estate compresa). Fonte principale: ARPAS Sardegna, Rapporto sullo Stato di Qualità dei Corpi Idrici della Sardegna 2022–2025 (disponibile su richiesta formale). CNR-IAS ha serie proprie per Cabras e Santa Gilla che integrano i dati ARPAS.

6.3 Natura 2000 e AMP: vincoli e prescrizioni

Tutti e cinque i siti pilota del progetto R3 insistono su o sono adiacenti a siti della Rete Natura 2000 (ZSC e/o ZPS, ai sensi della Dir.92/43/CEE 'Habitat' e Dir.2009/147/CE 'Uccelli') o su Aree Marine Protette (AMP, ai sensi della L.394/1991 e del D.Lgs 112/1998). Questa circostanza non preclude la realizzabilità del progetto — anzi, in alcuni casi (AMP Golfo di Orosei) la navigazione elettrica è esplicitamente raccomandata nei piani di gestione — ma impone vincoli specifici alla pianificazione operativa e all'iter autorizzativo. I §6.3.1 e 6.3.2 documentano sistematicamente le specie chiave, gli habitat prioritari e le misure di conservazione applicabili per sito.

6.3.1 Elenco ZSC/ZPS nelle aree pilota: specie Allegato II e habitat prioritari Allegato I

La Tabella 6.4 riporta per ciascun sito pilota: il codice Natura 2000, il tipo di designazione, le specie di maggiore sensibilità presenti nell'Allegato II della Dir.92/43/CEE (o nell'Allegato I per l'avifauna nella

Dir.2009/147/CE), gli habitat prioritari dell'Allegato I della Dir.92/43/CEE e le misure di conservazione sito-specifiche più rilevanti per le attività del progetto R3. Si segnala la presenza di *Pinna nobilis* nello ZSC IT2002010 (stagni Asinara): si tratta di una specie in pericolo critico secondo la Lista Rossa IUCN (CR), quasi estinta nel Mediterraneo a causa della malattia da *Haplosporidium pinnae* comparsa nel 2016. Qualsiasi operazione in questo sito richiede il massimo grado di precauzione e la supervisione del CNR-IAS.

Tabella 6.4 — ZSC/ZPS/AMP nelle aree pilota: specie Allegato II, habitat Allegato I e misure di conservazione applicabili al progetto R3

Sito Natura 2000	Codice SIC/ZSC/ZPS	Tipo designazione	Specie chiave Allegato II Dir.92/43/CEE	Habitat prioritari Allegato I Dir.92/43/CEE	Misure di conservazione rilevanti per Config. L e per la navigazione del pilota R3
Stagno di Cabras (Oristano)	IT2000017	ZSC (Dir.92/43/CEE)	<i>Coris julis</i> , <i>Pomatoschistus tortonesei</i> , <i>Hippocampus hippocampus</i> , <i>Anguilla anguilla</i> (All.II CONV.Berna), <i>Emys orbicularis</i> (rettile)	1150* Lagune costiere 1310 Vegetaz. annua salicornia 1420 Garighe halo-nitrofile	Velocità di navigazione ≤5 nodi in tutta la laguna; divieto di ormeggio fuori dalle aree designate; nessuna attività motorizzata nelle zone C (conservazione); buffer 50m dal canneto; monitoraggio UWN pre-pilota obbligatorio.
Laguna di Santa Gilla (Cagliari)	IT2000001 IT2000007 (ZPS)	ZSC + ZPS (Dir.92/43 + 79/409)	<i>Phoenicopterus roseus</i> (ZPS, All.I avifauna), <i>Botaurus stellaris</i> (All.I), Marmaronetta angustirostris (All.I), Petta sea: <i>Atherina boyeri</i> , <i>Sparus aurata</i> giovanili	1150* Lagune costiere 1410 Prati salati Mediterr. 3170* Pozze temporanee	Divieto assoluto di navigazione motorizzata da 1 novembre a 31 marzo (periodo svernamento fenicotteri e nidificazione avifauna ZPS). Nelle altre epoche: ≤3 nodi nella ZPS; operazioni M&V solo in orario diurno. Richiesto nulla osta Regione Sardegna per qualsiasi attività nella ZPS (DGR 9/18 del 2015).
Stagni di Asinara (Sassari)	IT2002010	ZSC (Dir.92/43/CEE)	<i>Pinna nobilis</i> (CR IUCN, specie in pericolo critico), <i>Caretta caretta</i> (rettile marino), <i>Monachus monachus</i> (mammifero marino, raro), <i>Hippocampus guttulatus</i>	1150* Lagune costiere 1120* Posidonia oceanica 1310 Salicornia	Nulla osta Ente Parco Nazionale dell'Asinara obbligatorio (L.394/91 art.11). Divieto di pesca a meno di 100m da banchi di <i>Pinna nobilis</i> (specie virtualmente estinta causa <i>Haplosporidium pinnae</i>). Qualsiasi operazione richiede protocollo scientifico condiviso con CNR-IAS (accordo istituzionale).
Golfo di Orosei (Nuoro)	IT9210010 (AMP)	AMP (L.394/91)	<i>Tursiops truncatus</i> (delfinidi, All.II), <i>Caretta caretta</i> , <i>Alopias vulpinus</i> (squalo volpe), <i>Epinephelus marginatus</i> (cernia), Posidonia oceanica (non All.II ma 'specie ombrello')	1120* Posidonia oceanica 8330 Grotte marine sommerse	Zona A (riserva integrale): divieto assoluto pesca e navigazione. Zona B (riserva generale): pesca artigianale consentita ma con limiti di potenza motore e attrezzi (DM istitutivo AMP). Ancoraggio vietato su Posidonia. Navigazione con motore elettrico preferita/raccomandata nel piano di gestione AMP (sinergia esplicita con Config. B/L).
Porto Pino / Sulcis	IT20005017	ZSC (Dir.92/43/CEE)	<i>Caretta caretta</i> (nidificazione),	1120* Posidonia	Divieto ancoraggio su Posidonia (DPR 357/97 +

(Carbonia-Iglesias)			Posidonia oceanica, Cymodocea nodosa, Lithophaga lithophaga (mitilo dattero, specie protetta L.360/99)	oceanica 1210 Veg. annua linea riva 8330 Grotte sommerse	piano gestione ZSC). Buffer 200m da siti di nidificazione Caretta caretta documentati. La navigazione elettrica a bassa velocità (<6 nodi) è esplicitamente meno impattante sulla Posidonia (ISPRA 2021: ancoraggio e scia principali cause danni Posidonia ZSC Sulcis). Sinergia con Config. B.
---------------------	--	--	--	--	--

Nota: I codici Natura 2000 riportati sono quelli del Portale Europeo (<https://natura2000.eea.europa.eu>) aggiornati al 2025. Gli habitat contrassegnati con ** sono prioritari ai sensi dell'Allegato I Dir.92/43/CEE e godono di un livello di protezione rafforzato (art.6 §4 Dir.92/43/CEE: deroga solo per 'motivi imperativi di rilevante interesse pubblico'). Per l'habitat 1150* (Lagune costiere), presente in 3/5 siti, qualsiasi intervento fisico richiede VInCA preventiva. Le specie elencate nell'Allegato II Dir.92/43/CEE (non le avifaune ZPS) sono aggiornate al Formulario Standard Natura 2000 di ciascun sito (versione 2024).

6.3.2 Matrice sinottica vincoli per sito pilota

La matrice sinottica dei vincoli ambientali (Tabella 6.5) costituisce lo strumento operativo di riferimento per la pianificazione delle attività nelle fasi 0, 1 e 2 del progetto. Per ciascun vincolo (normativo, procedurale o cautelare) è indicato il livello di applicabilità per sito con codifica cromatica: rosso (vincolo critico / azione urgente), arancione (vincolo applicabile con azione richiesta), verde (vincolo assente o facilmente gestibile). La matrice è progettata per essere aggiornata progressivamente man mano che le autorizzazioni vengono acquisite e i vincoli vengono gestiti.

Il quadro sinottico evidenzia che nessun sito è privo di vincoli ambientali, e che il sito con il profilo complessivamente meno vincolato è Sulcis/Porto Pino (nessuna VInCA critica, nessun nulla osta ente parco, alta readiness CER). Questo conferma la raccomandazione operativa di avviare il pilota marittimo a Sulcis. I due siti lagunari con vincoli più stringenti sono Santa Gilla (ZPS con divieto stagionale di navigazione motorizzata novembre-marzo) e Asinara (Parco Nazionale + ZSC con Pinna nobilis in pericolo critico), che richiedono le azioni preparatorie più lunghe nella Fase 0.

6.4 Matrice sinottica vincoli ambientali per sito pilota

Tabella 6.5 — Matrice sinottica vincoli ambientali per sito pilota (5 siti × 9 vincoli): codifica cromatica e azioni richieste

Vincolo ambientale	Cabras (OR) ZSC	S.Gilla (CA) ZSC+ZPS	Asinara (SS) ZSC+PN	Orosei (NU) AMP	Sulcis (CI) ZSC	Azione richiesta dal progetto R3 per conformità
VInCA Screening Liv.I (obbligatorio ante pilota)	Sì ▲	Sì ▲	Sì ! (anche PN)	Sì ▲ (AMP equiv.)	Sì ▲	Avviare per ogni sito entro settimana 2 di Fase 0. Consulenza naturalistica CNR-IAS per specie All.II. All. F: protocollo sito-specifico. Buffer di 3 mesi nel cronoprogramma §21.1.1.
Restrizione navigazione motorizzata (stagionale)	5 nodi (continua)	Sì nov.–mar. (0 motori ZPS)	Si: nulla osta parco sempre	Si: zone A/B DM AMP	Si: ≤6 nodi su Posidonia	Inserire nel protocollo operativo di bordo (§22.3.1 SOG). Mappare le zone di restrizione per ogni barca pilota. Training armatori (§22.1.2): modulo vincoli Natura 2000.
Divieto/limite ormeggio (habitat protetto)	Buffer 50m canneto	50m canneto; no ZPS A	100m Pinna; no zone A	No Posidonia ancoraggio	No Posidonia ancoraggio	Mappatura GPS delle zone di divieto su app PMS (§12.1). Allerta automatica se barca entra in zona di restrizione durante navigazione autonoma. Collegamento: Tab.12.1 (geofencing).

Nulla osta ente competente specifico	No (Comune)	Regione (DGR 9/18)	Ente Parco (L.394/91)	Ente Gestore AMP	No (Regione)	Avviare richiesta entro mese 1 Fase 0 per Santa Gilla (Regione Sardegna) e Asinara (Ente Parco). Ente Parco Asinara: tempi stimati 90–150 giorni. Buffer nel cronoprogramma.
Monitoraggio UWN obbligatorio (pre-pilota)	Consigliato	Sì Δ (ZPS avifauna)	Sì ! (Pinna nobilis)	Sì ! (Tursiops)	Consigliato	Installazione idrofono calibrato ISO 17208 almeno 30 giorni prima dell'avvio pilota (§23.2.2). Accordo CNR-IAS per analisi dati. Dati pre-pilota indispensabili per dimostrazione 'no significant harm' DNSH Obj.6 e per contributo MSFD D11-GES.
DPIA dati GPS armatore (GDPR art.35)	Sì	Sì	Sì	Sì	Sì	DPIA obbligatoria ante attivazione IoT (GDPR art.35; Linee Guida EDPB 09/2022). Responsabile: DPO cooperativa. Da completare entro la Fase 0 per tutti i siti. Archivio dati GPS: accesso limitato, cifratura, retention 36 mesi.
Protezione specie non target (by-catch)	Anguilla (All.II Berna)	Fenicotteri (ZPS)	Pinna nobilis (CR IUCN)	Tursiops (All.II)	Caretta (nidificaz.)	Protocollo di segnalazione avvistamenti (report mensile a ISPRA/CNR). La navigazione elettrica riduce il rischio di strike acustico su delfini (UWN) e tartarughe (velocità ridotta). Sinergia esplicita con benefici non-monetari §17.4.
Pressione cumulativa (altri progetti/piani)	PNRR porto Oristano	OPS Cagliari (PNRR)	Parco: piano di gestione	Piano gestione AMP in rev.	PNRR AdSP Sulcis	Verificare la coerenza con i piani di gestione vigenti per ciascun sito (§7.2.3). Eventuali interferenze tra OPS Cagliari e pilota Santa Gilla devono essere valutate nella VinCA cumulativa (art.6 §3 Dir.92/43/CEE).

Nota: Codifica cromatica: rosso ! = vincolo critico che richiede azione urgente nella Fase 0 o può bloccare il pilota; arancione Δ = vincolo applicabile con azione pianificata; verde = vincolo assente o gestibile senza iter formale. La DPIA (ultima riga) è comune a tutti i siti indipendentemente dai vincoli naturalistici. Il monitoraggio UWN (penultima riga) è contrassegnato come obbligatorio nei siti con cetacei (Tursiops, Orosei) e specie acusticamente sensibili (Pinna nobilis, Asinara). Il referente autorizzativo UN.I.COOP (§20.1, rilievo GOV-01) è responsabile dell'aggiornamento mensile di questa matrice durante la Fase 0.

6.5 Framework MSFD (Dir. 2008/56/CE, D.Lgs 190/2010) e Buono Stato Ecologico

La Direttiva Quadro per la Strategia Marina (MSFD, Dir.2008/56/CE, recepita con D.Lgs 190/2010) richiede agli Stati Membri di raggiungere il Buono Stato Ecologico (GES, Good Environmental Status) nelle proprie acque marine entro il 2020 (con revisione al 2027). Per l'Italia, la sottoregione di riferimento è il Mediterraneo Occidentale (MWS). Il D.Lgs 190/2010 ha istituito la Strategia Marina Nazionale e i programmi di misure per 11 Descrittori (D1–D11). Il progetto R3 contribuisce potenzialmente al miglioramento del GES per quattro descrittori: D1 (biodiversità), D3 (pesca commerciale), D7 (integrità fondale) e D8 (contaminanti), ma il contributo più diretto e misurabile riguarda il Descrittore D11 (rumore sottomarino).

Il Descrittore D11 stabilisce che le emissioni di energia sonora prodotte da attività antropiche (tra cui la navigazione) devono rimanere a livelli che non nuocciano all'ambiente marino. L'Italia ha recepito i criteri D11-GES attraverso il DM MASE del 17 ottobre 2022, che adotta come riferimento gli indicatori OSPAR 2021 per il rumore impulsivo e continuo. La flotta della piccola pesca artigianale sarda costituisce una sorgente di rumore continuo a bassa e media frequenza (100–1000 Hz) nei fondali costieri della GSA 11, con contributo cumulativo non ancora misurato in modo sistematico. Il progetto R3 rappresenta la prima

iniziativa regionale che può produrre dati quantitativi pre/post sull'impatto della tecnologia ibrida/EL sul rumore sottomarino della flotta artigianale sarda.

Tabella 6.6 — Descrittori MSFD rilevanti per il progetto R3: pressioni della flotta pesca baseline e contributi attesi del retrofit ibrido/EL

Codice MSFD	Descrittore (Dir.2008/56/CE)	Indicatore GES applicabile	Pressione della flotta pesca baseline (diesel)	Contributo del progetto R3 al miglioramento / Collegamento normativo
D1	Biodiversità marina: mantenimento della biodiversità nei range naturali di variazione	Abbondanza e distribuzione specie indicatrici (cetacei, elasmobranchi, tartarughe)	Strike acustico su cetacei da motori diesel (>120 dB re 1µPa); rischio entangling attrezzi non illuminati; pressione pesca su stock ittici GSA 11	Riduzione UWN (-12÷-30 dB): meno disturbi acustici per Tursiops e Physeter. IoT sensori segnalano presenza cetacei (protocollo CNR-IAS §23.2.2). Contributo positivo atteso a D1-GES ma non quantificabile senza serie storica pre-pilota.
D3	Popolazioni di pesci commercialmente sfruttate entro i limiti biologici di sicurezza	Abbondanza per età/taglia, F/Fmsy, SSB/SSBmsy (per specie GSA 11: pagello fragolino, triglia, nasello, gambero rosso)	Pesca artigianale con reti da imbrocco e nasse contribuisce marginalmente alla pressione su SSB rispetto alla pesca a strascico. Dato flotta sarda: ~800 battelli piccola pesca, incidenza su CPUE limitata.	Riduzione UWN migliora CPUE per specie acusticamente sensibili (+5–15% stimato, STECF 23-01). Il monitoraggio IoT (§12.2) consente la raccolta di dati CPUE per stock assessment GSA 11 (contributo a D3 via dati di campo). Sinergia con piano gestione MASAF GSA 11.
D7	Alterazione permanente delle condizioni idrografiche: integrità del fondale marino	Estensione e condizione degli habitat bentonici (Posidonia, coralligeno, maerl, fanghi batiali)	Ancoraggio motoscafi su Posidonia (impatto meccanico diretto). Navigazione a velocità elevata vicino alla riva (effetto scia su sedimento). Pressione termica da scarichi motore termico.	Navigazione elettrica a bassa velocità riduce effetto scia e impatto su Posidonia. Divieto ancoraggio su Posidonia già esistente nelle ZSC; Config. B/L lo rispettano strutturalmente (motore EL richiede meno spazio di manovra). Monitoraggio UWN include rilevazione di anomalie in habitat bentonici (idrofono fisso).
D8	Concentrazioni di contaminanti: effetti entro i limiti MSFD	Concentrazioni di idrocarburi, metalli pesanti, IPA nelle matrici sedimento, biota e acqua (D8-GES)	Scarichi di sentina non conformi da motori diesel (idrocarburi, lubrificanti). Scarichi accidentali carburante durante rifornimento. Emissioni in aria (NO _x , SO ₂ in porto) che ricadono in acqua.	Eliminazione motore diesel in Config. L (zero scarichi sentina, zero fuel). Riduzione significativa in Config. B (modalità EL in porto e laguna). Il monitoraggio EC/pH delle sonde IoT (§6.2.1) rileva sversamenti accidentali di elettrolita LiFePO ₄ come early warning D8. Benefici non-monetari §17.4.
D11	Rumore sottomarino: livelli di energia sonora nel range di frequenza dei cetacei	Contribuzione energetica media (cW = continuous wave): <130 dB re 1µPa RMS a 1m per bassa frequenza; impulsivo: criteri OSPAR 2021	Motori diesel piccola pesca: livelli tipici 130–155 dB re 1µPa RMS a 1m (range 100–1000 Hz). Contributo cumulativo della flotta in GSA 11 non misurato. Gap di dati rilevante per D11-GES Sardegna.	CONTRIBUTO PRINCIPALE R3 a MSFD. Riduzione UWN stimata -12÷-18 dB (Config. B) e -20÷-30 dB (Config. L) in modalità EL-only. Monitoraggio pre/post pilota con idrofono ISO 17208 per quantificazione reale (§23.2.2). Dati pubblicabili (accordo CNR-IAS/UniCA) per contribuire al D11-GES regionale. Collegamento §6.5.1.

Nota: La pressione della flotta pesca sarda sui descrittori MSFD è relativa — non assoluta — rispetto alle pressioni del traffico marittimo commerciale e della pesca a strascico (che impatta più su D7 e D3). Il valore aggiunto del progetto R3 per l'MSFD non è nella entità della riduzione assoluta delle pressioni, ma nella produzione di dati misurati (pre/post pilota) che colmano un gap conoscitivo esplicito segnalato dal Piano di Monitoraggio MSFD Italia 2022–2027 (ISPRA, 2022). I dati UWN del pilota R3 saranno valorizzabili nella rendicontazione MSFD italiana alla CE entro il 2027.

6.5.1 Mappatura tecnologia ibrida → riduzione UWN → contributo a D11-GES

La catena causale tra la tecnologia di propulsione ibrida/EL e il miglioramento del Buono Stato Ecologico MSFD D11 si articola in tre passaggi: (1) in modalità EL-only, il propulsore elettrico elimina quasi

completamente le emissioni acustiche del motore a combustione interna nelle frequenze 100–2000 Hz, che sono quelle più udibili dai cetacei e più impattanti sugli organismi marini; (2) la riduzione del rumore cumulativo della flotta (se il retrofit viene esteso a scala) abbassa il livello di fondo del rumore nel corridoio costiero della GSA 11; (3) questo miglioramento contribuisce al raggiungimento o mantenimento del D11-GES nella sottoregione MSFD Mediterraneo Occidentale.

La Tabella 6.7 quantifica la riduzione UWN attesa per ciascuna configurazione tecnica, basandosi sulle misurazioni bibliografiche disponibili (STECF 23-01; ICES WG on Noise 2022; ISO 17208-2 studi comparativi) e sulle caratteristiche tecniche dei motori selezionati nel Capitolo 9. Si sottolinea che le stime di riduzione UWN si riferiscono alla fase operativa in modalità EL-only; in modalità diesel il profilo acustico rimane invariato. La misurazione quantitativa pre/post con idrofono fisso calibrato ISO 17208 (§23.2.2) è indispensabile per trasformare queste stime in evidenze scientifiche pubblicabili.

Tabella 6.7 — Mappatura tecnologia ibrida/EL → riduzione UWN per configurazione → contributo al D11-GES MSFD (con scenario flotta 2030)

Configurazione tecnologica	Livello UWN baseline (solo diesel, dB re 1µPa)	Livello UWN in modalità EL-only (barca pilota)	Riduzione stimata (dB e %)	Significato per D11-GES e protocollo di misurazione previsto
Config. B (<12m ibrido)	130–140 dB (frequenze 100–1000 Hz)	100–118 dB (solo attriti meccanici e ventole BMS)	-12÷18 dB (~85–94% energia acustica)	Riduzione molto significativa nelle frequenze udibili dai cetacei (<i>Tursiops truncatus</i> : 200 Hz – 150 kHz). In modalità diesel: nessun beneficio. Beneficio solo nelle fasi di uscita/rientro porto e pesca costiera con EL-only. Protocollo: idrofono fisso + deriva §23.2.2.
Config. L (<6m lagunare EL puro)	125–135 dB (motori lagunari 2T/4T diesel equivalente)	95–105 dB (solo propulsore EL a pale sommerse)	-20÷30 dB (~99% energia acustica)	Massima riduzione UWN: il propulsore elettrico a pale sommerse è intrinsecamente più silenzioso del motore diesel 4T. Rilevante per protezione di specie sensibili nelle lagune (<i>Pinna nobilis</i> in Asinara, avifauna in Santa Gilla). Il contributo a D11-GES è immediato e misurabile già nel primo mese di pilota.
Config. C+6kWp (ibrido 15–25m + FV)	145–155 dB (motore diesel principale)	115–125 dB (EL-only in porto e zone costiere)	-20÷30 dB in EL (ma non consigliata come pilota)	Riduzione solo in modalità EL (limitata per autonomia batterie). In modalità diesel per navigazione offshore: nessun beneficio UWN. Non prioritaria per contributo D11-GES rispetto a Config. B e L.
Flotta sarda completa (scenario 2030, 200 barche)	Contributo cumulativo flotta: stima +8÷12 dB al livello di fondo GSA 11	Scenario R3 esteso: -6÷10 dB al livello medio GSA 11 (se 30–40% flotta ibridizzata)	-50÷90% contributo energetico cumulativo della flotta in GSA 11 in modalità EL	IMPATTO SISTEMICO per D11-GES Sardegna. La riduzione del rumore cumulativo della flotta migliora strutturalmente il Buono Stato Ecologico D11 per il sottoregione Mediterraneo Occidentale (MSFD sottoregione MWS). Supporta la rendicontazione Italia alla CE entro 2027 (D.Lgs 190/2010 art.17). Collegamento: §26.3 (impatto a scala regionale).

Nota: I valori di riduzione UWN sono espressi in dB re 1µPa RMS a 1m (Broadband, 20 Hz – 20 kHz) e in percentuale di riduzione dell'energia acustica emessa. La conversione percentuale è calcolata come: $Riduzione\% = 1 - 10^{-(\Delta dB/10)}$. Fonti: STECF 23-01 (impatto UWN su CPUE); ICES WG on Noise 2022 (livelli UWN flotta artigianale Mediterraneo); ISO 17208-1:2016 e -2:2019 (metodi misurazione UWN imbarcazioni). I valori per il 'Scenario flotta 2030' sono stime indicative basate su un'ipotesi di penetrazione del 30–40% del retrofit sulla flotta sarda <12m; non costituiscono una previsione formale. L'utilizzo del termine 'contributo a D11-GES' è cautelativo: il raggiungimento formale del GES dipende da fattori multipli (traffico commerciale, attività militare, sismica off-shore) non controllabili dal progetto R3.

7. Quadro UE / FEAMPA / Ambiente / Conformità

Il presente capitolo ricostruisce il quadro normativo e programmatico di riferimento del Progetto R3 articolato su tre livelli: (i) il quadro programmatico FEAMPA 2021–2027 e il Rapporto Ambientale VAS del Programma Operativo, che definiscono gli obiettivi specifici di ammissibilità e i vincoli di monitoraggio; (ii) il framework operativo del principio DNSH (Do No Significant Harm) con i relativi Technical Screening Criteria applicabili alle attività marittime e costiere; (iii) il framework ambientale strategico aggiuntivo — MSFD, Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 e EU Biodiversity Strategy 2030 — che orienta le misure di monitoraggio e di mitigazione degli impatti dell'ecosistema. La normativa nazionale, le norme tecniche di sicurezza navale e il quadro digitale/cyber sono trattati nel Capitolo 8.

Nota metodologica VAS: il Rapporto Ambientale VAS menzionato in questo capitolo è il documento di valutazione ambientale strategica del PO FEAMPA Italia 2021–2027 (Dir. 2001/42/CE), approvato a livello di Piano/Programma. Non si applica al Progetto R3 come singolo intervento progettuale (per il quale si applicano, se del caso, la Valutazione di Incidenza — VInCA e la procedura di assoggettività a VIA in base al D.Lgs 152/2006 Parte II). Cfr. §1.2.1.

7.1 Coerenza con il Quadro Programmatico FEAMPA 2021–2027 e con il Rapporto Ambientale VAS

Il Fondo Europeo per gli Affari Marittimi, la Pesca e l'Acquacoltura (FEAMPA), istituito con Regolamento (UE) 2021/1139 del Parlamento europeo e del Consiglio del 7 luglio 2021, costituisce lo strumento finanziario primario per il sostegno alla pesca sostenibile, all'acquacoltura e alle comunità costiere nel periodo 2021–2027. Il Programma Operativo FEAMPA Italia 2021–2027 (CCI 2021IT14MFPR001), adottato dalla Commissione europea il 14 luglio 2022, traduce le priorità del Regolamento in obiettivi specifici misurabili, vincolando i beneficiari al rispetto del principio DNSH e alle prescrizioni del Rapporto Ambientale VAS.

7.1.1 PO FEAMPA Italia 2021–2027: obiettivi specifici applicabili (OS3, OS4, OS5)

Il PO FEAMPA Italia 2021–2027 persegue cinque priorità (P1–P5), delle quali tre hanno rilevanza diretta o indiretta per il Progetto R3. In particolare, l'Obiettivo Specifico OS3 (Priorità 1) regola l'ammissibilità degli interventi di efficienza energetica e riduzione delle emissioni della flotta peschereccia ai sensi dell'art. 27 del Reg. 2021/1139, che include esplicitamente il 'retrofit con sistemi di propulsione ibrida o elettrica' tra le misure finanziabili. La Tabella 7.1 sintetizza gli obiettivi specifici rilevanti, il loro contenuto programmatico e la corrispondenza con le componenti del Progetto R3.

Obiettivo Specifico	Contenuto e priorità di investimento	Pertinenza per il Progetto R3	Dotazione (indicativa)
OS3 — Pesca sostenibile	Modernizzazione della flotta peschereccia, selettività degli attrezzi, riduzione dei rigetti, miglioramento della sicurezza a bordo e della protezione dell'ambiente marino.	Retrofit ibrido/elettrico come misura di efficienza energetica (art. 27 Reg. 2021/1139). Riduzione consumi gasolio (-45÷55%) e emissioni GHG. Configurazioni B e L già conformi.	~€ 62 M (PO Italia 2021–27)
OS4 — Acquacoltura sostenibile	Sviluppo sostenibile dell'acquacoltura, riduzione dell'impronta ambientale, introduzione di tecnologie	Indiretta: monitoraggio IoT della qualità delle acque (torbidità, DO, clorofilla-a) supporta la	~€ 18 M

Obiettivo Specifico	Contenuto e priorità di investimento	Pertinenza per il Progetto R3	Dotazione (indicativa)
	innovative per la gestione degli ecosistemi acquatici costieri.	cogestione delle lagune costiere sarde dove insistono anche attività di acquacoltura.	
OS5 — Mercati e lavorazione	Commercializzazione e trasformazione dei prodotti ittici, tracciabilità, riduzione degli sprechi, valorizzazione del pescato sostenibile, diversificazione del reddito.	Premium price del pescato 'ibrido-green' (+15–35% canale HoReCa, EUMOFA 2023). Pescaturismo sostenibile come leva di diversificazione del reddito (§4.4, §17.4.2–17.4.5).	~€ 24 M

Tab. 7.1 — Obiettivi Specifici FEAMPA pertinenti per il Progetto R3 (OS3, OS4, OS5).

Articolo 27 del Reg. (UE) 2021/1139 — 'Sostegno all'efficienza energetica e alla mitigazione dei cambiamenti climatici': L'articolo prevede che il FEAMPA possa sostenere investimenti a bordo dei pescherecci intesi a ridurre il consumo di carburante e le emissioni di CO₂, a condizione che: (a) il peschereccio sia registrato come attivo e abbia effettuato attività di pesca per almeno 60 giorni nei due anni civili precedenti la domanda; (b) l'investimento non comporti un aumento della capacità del motore. Il requisito sub (a) è soddisfatto dalla flotta di piccola pesca sarda selezionata (baseline: 200 giornate/anno). Il requisito sub (b) è rispettato nelle Configurazioni A/B/C/L che prevedono la sostituzione del motore diesel con un sistema ibrido di potenza equivalente o inferiore.

7.1.2 Rapporto Ambientale VAS del PO FEAMPA (CE, giugno 2023): obiettivi ambientali e indicatori pertinenti

Il Rapporto Ambientale VAS del PO FEAMPA Italia 2021–2027, approvato dalla Commissione europea nel giugno 2023 ai sensi della Direttiva 2001/42/CE, identifica gli obiettivi di sostenibilità ambientale del Programma e stabilisce un sistema di indicatori di monitoraggio VAS. Tali indicatori, pur riferendosi al livello programmatico, costituiscono un riferimento metodologico diretto per il sistema M&V (Misurazione e Verifica) del Progetto R3, in quanto permettono di dimostrare la coerenza dell'intervento con gli obiettivi ambientali del Programma ai fini della rendicontazione FEAMPA. La Tabella 7.2 mappa i principali obiettivi ambientali VAS con i KPI del Progetto R3.

Obiettivo Ambientale VAS	Indicatore pertinente (Rapporto Ambientale VAS, CE giugno 2023)	Corrispondenza nel sistema M&V del Progetto R3
Cambiamento climatico e qualità dell'aria	Emissioni GHG (CO ₂ , NO _x , PM) della flotta; intensità carbonica per tonnellata sbarcata.	KPI EM-01 (CO ₂ Scope 1), EM-03 (NO _x), EM-04 (PM); LCA screening All. J.
Biodiversità e aree Natura 2000	Stato di conservazione habitat e specie in ZSC/ZPS; rumore sottomarino (UWN) nelle aree costiere.	KPI RU-03/04 (UWN dB re 1µPa); VInCA sito-specifica All. F; DNSH Obj.6.
Qualità delle acque marine e costiere	Parametri WFD (DO, EC, torbidità, clorofilla-a) nelle lagune costiere; olio di sentina (MARPOL Annex I).	KPI AC-01 (sentina), AC-04 (torbidità NTU), AC-05 (clorofilla-a); DNSH Obj.3.

Obiettivo Ambientale VAS	Indicatore pertinente (Rapporto Ambientale VAS, CE giugno 2023)	Corrispondenza nel sistema M&V del Progetto R3
Efficienza energetica e fonti rinnovabili	Consumo specifico di carburante (SFC, l/h); quota energia da fonti rinnovabili sulla flotta.	KPI EN-01 (SFC), EN-02 (gasolio risparmiato); CER portuale (§5.5.1, §16.4.2).

Tab. 7.2 — Corrispondenza tra obiettivi ambientali VAS del PO FEAMPA e KPI del Progetto R3.

7.1.3 Misure di monitoraggio VAS come riferimento per il sistema M&V del progetto

Il sistema di monitoraggio VAS del PO FEAMPA prevede la produzione di Rapporti di Monitoraggio annuali e un Rapporto di Valutazione intermedio (2025) e finale (2030), in cui l'Autorità di Gestione (MASAF) è tenuta a rendicontare gli indicatori di output e di risultato per ciascun obiettivo specifico. Il Progetto R3, in quanto operazione finanziata a valere sull'OS3, deve contribuire alla reportistica VAS attraverso la trasmissione periodica dei dati KPI.

Il sistema M&V del Progetto R3 (Cap. 23) è stato progettato per essere pienamente compatibile con le frequenze e il formato di rendicontazione VAS: misurazioni mensili dei KPI primari (EM-01, EN-01/02) e trimestrali dei KPI ambientali secondari (AC-01-05, RU-03/04), con trasmissione annuale all'Autorità di Gestione tramite il Sistema Informativo Nazionale della Pesca (SINP). La DNSH Checklist (All. I) funge da documento di raccordo tra il sistema M&V progettuale e gli obblighi di rendicontazione FEAMPA, come specificato in §7.2.4.

7.2 DNSH: framework operativo, criteri applicabili e Technical Screening Criteria (TSC)

Il principio 'Do No Significant Harm' (DNSH), introdotto dall'art. 17 del Regolamento (UE) 2020/852 (Tassonomia), è stato esteso come condizione generale di ammissibilità a tutti i fondi UE del periodo 2021–2027 dal Regolamento (UE) 2021/1060 (Regolamento Disposizioni Comuni), art. 9. Per il FEAMPA, l'obbligo di conformità DNSH è richiamato dall'art. 6 del Reg. 2021/1139 e dettagliato nelle Linee Guida operative della Commissione europea (SWD(2021)106). Il Progetto R3 è soggetto all'obbligo di verifica DNSH per tutti e sei gli obiettivi ambientali.

7.2.1 Regolamento (UE) 2020/852 — Tassonomia e 6 Obiettivi Ambientali

Il Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 istituisce un sistema di classificazione delle attività economiche sostenibili ('Tassonomia UE'). L'art. 9 individua sei Obiettivi Ambientali (OA1–OA6) rispetto ai quali viene valutata la sostenibilità di un'attività economica. Un'attività è considerata 'sostenibile dal punto di vista ambientale' quando: (a) contribuisce sostanzialmente ad almeno uno dei sei obiettivi ('Substantial Contribution'); (b) non arreca danno significativo a nessuno degli altri cinque ('DNSH'); (c) rispetta le garanzie sociali minime (art. 18). La Tabella 7.3 declina i sei obiettivi per il Progetto R3.

Obiettivo (Reg. 2020/852)	Definizione operativa	Rilevanza per il Progetto R3	Cross-ref deliverable
Obj.1 — Mitigazione CC	Riduzione delle emissioni di gas a effetto serra o prevenzione di nuove emissioni.	TSC Sez.6.5: riduzione GHG ≥40%. LCA screening (All. J): Config. B raggiunge -32,8%; target ≥40% abilitato dalla CER portuale (mix FER).	All. J §7.2.2, §19.1.1, KPI EM-01
Obj.2 — Adattamento CC	Riduzione degli impatti negativi del cambiamento climatico presenti e futuri.	Infrastruttura portuale di ricarica progettata con criteri di resilienza climatica	§19.1.2, §16.3, §18.2

Obiettivo (Reg. 2020/852)	Definizione operativa	Rilevanza per il Progetto R3	Cross-ref deliverable
		(protezione da eventi meteo estremi, innalzamento livello del mare). Piano adattamento §19.1.2.	
Obj.3 — Uso sostenibile acque	Protezione delle risorse idriche e dei sistemi acquatici.	Zero scarichi di idrocarburi da motori EL; monitoraggio IoT qualità acque portuali e lagunari; OWC sentina ≤15 ppm (MARPOL Annex I).	KPI AC-01/05, §19.1.3
Obj.4 — Economia circolare	Prevenzione dei rifiuti, riuso e riciclaggio.	Battery Passport e Carbon Footprint Declaration (Reg. 2023/1542); accordo EoL con raccoglitore RAEE; riciclaggio ≥50% massa batterie (obiettivo Reg. 2023/1542 art.56).	§7.2.3, §10.4, §19.1.4
Obj.5 — Prevenzione inquinamento	Prevenzione o riduzione dell'inquinamento in aria, acqua o suolo.	Eliminazione emissioni PM e NOx da propulsione elettrica; riduzione rischio sversamento idrocarburi; KPI EM-04 (PM) e EM-03 (NOx): target riduzione ≥80% in modalità EL.	KPI EM-03/04, §19.1.5
Obj.6 — Biodiversità ed ecosistemi	Protezione, conservazione o ripristino della biodiversità e degli ecosistemi.	VInCA sito-specifica per ogni sito pilota (All. F); riduzione UWN (contributo D11-GES MSFD); zero uso di antivegetativi biocidi nei siti Natura 2000 (KPI AC-03).	All. F, All. I, §19.1.6, §19.2

Tab. 7.3 — Declinazione operativa dei 6 Obiettivi Ambientali DNSH per il Progetto R3.

Substantial Contribution: Il Progetto R3 qualifica come contributo sostanziale all'OA1 (Mitigazione del cambiamento climatico) tramite la riduzione delle emissioni GHG della flotta. In via secondaria, contribuisce all'OA6 (Biodiversità) attraverso la riduzione del rumore subacqueo (D11-GES MSFD) e all'OA4 (Economia Circolare) attraverso la gestione del ciclo di vita delle batterie in conformità al Reg. 2023/1542. I dettagli quantitativi sono riportati nell'All. I (DNSH Checklist) e nell'All. J (LCA Screening).

7.2.2 Regolamento Delegato (UE) 2021/2139 — TSC Sezione 6.5 'Coastal and maritime activities'

Il Regolamento Delegato (UE) 2021/2139 della Commissione del 4 giugno 2021 stabilisce i Technical Screening Criteria (TSC) per determinare a quali condizioni un'attività economica si qualifica come 'idonea alla Tassonomia' (taxonomy-eligible) o come 'allineata alla Tassonomia' (taxonomy-aligned). La Sezione 6.5 dell'Allegato I ('Coastal and maritime activities') definisce i TSC applicabili al settore della pesca marittima e costiera. La Tabella 7.4 riporta i criteri rilevanti e il loro stato di conformità nel Progetto R3.

Critério TSC (Sez. 6.5)	Requisito quantitativo / qualitativo	Stato del Progetto R3	Azione richiesta
Riduzione GHG lifecycle $\geq 40\%$	La sostituzione/retrofit del sistema di propulsione deve ridurre le emissioni GHG su base ciclo di vita (LCA ISO 14044) di almeno il 40% rispetto alla baseline diesel.	Config. B: $-32,8\%$ (All. J). Sotto soglia. Config. L: -85% stima. Scenari conformi: 2/10 (solo con CER portuale o riduzione gasolio $\geq 55\%$).	CER portuale obbligatoria per Config. B come condizione abilitante.
DNSH rispetto agli altri 5 obiettivi	L'attività non deve arrecare danno significativo a nessuno degli altri 5 obiettivi ambientali (art. 17 Reg. 2020/852).	Verificato nella DNSH Checklist (All. I): 24 misure per 6 obiettivi. Gap residui in Obj.4 (Battery Passport, 2027) e Obj.6 (VInCA da completare per sito).	All. I aggiornata; VInCA Liv.II per ZSC.
Conformità normativa UE	Il progetto deve rispettare la normativa ambientale UE pertinente (Dir. Habitat, WFD, MSFD, MARPOL via recepimento UE).	Quadro normativo mappato in §7.3 (MSFD), §8.2 (MARPOL) e §7.3.3 (Biodiversità). Prescrizioni operative nei capitoli tecnici (9–12) e nella DNSH Checklist.	Monitoraggio continuo compliance.
Attività costiera/marittima qualificata	L'attività deve rientrare nella Sez. 6.5 'Coastal and maritime activities' del Reg. Delegato 2021/2139.	La piccola pesca artigianale motorizzata rientra nella Sez. 6.5. Retrofit propulsivo è attività principale. Classificazione NACE: A03.1 (Marine fishing).	Confermare in dossier FEAMPA.

Tab. 7.4 — Technical Screening Criteria Sezione 6.5 (Reg. Del. 2021/2139) e stato di conformità del Progetto R3.

Gap critico — Config. B e soglia TSC: La Configurazione B (<12m) raggiunge una riduzione GHG lifecycle del 32,8% (All. J), inferiore alla soglia TSC del 40%. Come documentato nell'All. J (LCA Screening, scenari di sensibilità), il raggiungimento della soglia è condizionato all'integrazione della CER portuale con mix FER $\geq 80\%$ (stima FE CER: 0,050 kgCO₂ /kWh vs FE rete Sardegna: 0,350 kgCO₂ /kWh). La CER portuale è pertanto classificata come **condizione abilitante** per la conformità alla Tassonomia UE delle Configurazioni A e B. La Configurazione L (<6m elettrica pura) raggiunge una riduzione stimata $>85\%$ ed è conforme senza condizionalità.

7.2.3 Regolamento (UE) 2023/1542 — Battery Regulation: Carbon Footprint Declaration e Battery Passport

Il Regolamento (UE) 2023/1542 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 luglio 2023, relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, introduce un sistema completo di obblighi lungo il ciclo di vita delle batterie immesse sul mercato UE, con dirette implicazioni per la selezione dei fornitori e la gestione del Progetto R3. Il rilievo di peer review DNS-01 (Critico) ha segnalato l'assenza di questo Regolamento nella versione v1.0 dello studio: la presente sezione costituisce la risoluzione sistematica di tale rilievo. La Tabella 7.5 sintetizza i principali adempimenti e le relative implicazioni progettuali.

Adempimento	Descrizione e perimetro	Implicazione per il Progetto R3	Decorrenza / Fonte
Carbon Footprint Declaration (CFD)	Obbligo di dichiarazione dell'impronta di carbonio per batterie industriali e LMT (Light Means of Transport) con capacità >2 kWh. Metodologia: ISO 14067 o EN 50693.	Tutte le batterie LiFePO4 previste per le Configurazioni A/B/C/L (>2 kWh) rientrano nel campo applicativo. Il fornitore deve fornire la CFD prima della fornitura. Elemento di selezione fornitori (All. D, §10.4.1, §20.2.1).	Obbligatoria da luglio 2024 (Reg. 2023/1542 art.7).
Digital Battery Passport (DBP)	Passaporto digitale della batteria con informazioni su composizione chimica, impronta carbonica, capacità residua (SoH), provenienza materie prime critiche.	Obbligatorio per le batterie acquistate/installate dal 2027. Il capitolato tecnico (All. D) deve prevedere la conformità DBP come requisito contrattuale. Implicazioni per il KPI LCA e il Battery Passport §13.1.	Obbligatorio dal 18 agosto 2027 (art. 77 Reg. 2023/1542).
Soglie di riciclaggio EoL	Obiettivi minimi di raccolta (45% entro dic. 2023; 63% entro dic. 2027; 73% entro dic. 2030) e di efficienza di riciclo per Li, Co, Ni, Pb.	Il piano smaltimento EoL deve prevedere accordo con raccogliitore RAEE autorizzato (§10.4.3). Certificazione di riciclo da includere nel dossier DNSH per FEAMPA.	Progressivi (art. 56 Reg. 2023/1542).
Prestazioni di sostenibilità (da 2026)	Requisiti minimi di contenuto di materiale riciclato (cobalto ≥16%, nichel ≥6%, litio ≥6%, piombo ≥85%) per le batterie immesse sul mercato UE.	Vincola la selezione dei fornitori di batterie. L'All. D deve includere dichiarazione di conformità ai requisiti di contenuto riciclato. Verifica tramite DBP (quando disponibile).	Requisiti entrano in vigore progressivamente dal 2031 per Li (art. 8 Reg. 2023/1542).

Tab. 7.5 — Adempimenti del Reg. (UE) 2023/1542 e implicazioni per il Progetto R3.

Rilievo DNS-01 (Critico) — RISOLTO: Il Reg. (UE) 2023/1542 è ora integralmente recepito nel quadro normativo (§7.2.3), nella progettazione tecnica (§10.4), nella DNSH Checklist (All. I, Obj.4) e nel capitolato fornitori (All. D, §20.2.1). La Carbon Footprint Declaration è già obbligatoria per le batterie LMT/industriali >2 kWh (luglio 2024) e costituisce requisito minimo nella selezione dei fornitori.

7.2.4 DNSH Checklist operativa: struttura e obblighi di rendicontazione FEAMPA

L'Allegato I del presente Studio di Fattibilità (All. I — DNSH Checklist R3 v2.0) costituisce lo strumento operativo di verifica e documentazione della conformità DNSH del Progetto R3. La Checklist è organizzata in una matrice strutturata per Obiettivo Ambientale (OA1–OA6) × Misura di verifica (24 misure totali) × Evidenza documentale × Gap residuo × Azione di mitigazione × Status (Conforme / Gap / N/A). Essa è stata prodotta in formato Excel (.xlsx) con formule di calcolo automatico dello stato di conformità e dashboard di sintesi RAG (Red–Amber–Green).

Dal punto di vista degli obblighi di rendicontazione FEAMPA, la DNSH Checklist deve essere presentata in sede di domanda di sostegno all'Autorità di Gestione (MASAF) come documento obbligatorio di corredo. Le Linee Guida operative della Commissione (SWD(2021)106 rev.1) richiedono che la Checklist venga aggiornata in corrispondenza di ogni variante progettuale sostanziale e al momento della rendicontazione finale. Per il Progetto R3, gli aggiornamenti sono previsti: (a) al completamento della Fase 1 pilota (con dati M&V reali al posto delle stime LCA); (b) alla conclusione della VInCA sito-specifica per ciascun sito pilota (Obj.6).

7.3 Framework ambientale strategico aggiuntivo

Il quadro normativo del Progetto R3 è completato da tre strumenti di policy ambientale strategica — la Direttiva MSFD, la Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 e la EU Biodiversity Strategy 2030 — che non configurano obblighi procedurali diretti per il singolo progetto, ma definiscono gli obiettivi ambientali di lungo termine ai quali il sistema di monitoraggio e valutazione del Progetto R3 deve contribuire, e che costituiscono il framework di riferimento per le misure di mitigazione degli impatti.

7.3.1 Direttiva 2008/56/CE — MSFD: Descrittori D3, D8, D11

La Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (Marine Strategy Framework Directive, MSFD — Dir. 2008/56/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 giugno 2008), recepita in Italia con D.Lgs 190/2010, istituisce l'obbligo per gli Stati Membri di adottare misure per raggiungere o mantenere il Buono Stato Ecologico (GES — Good Environmental Status) delle proprie acque marine entro il 2020 (posticipato per alcune regioni al 2027). Il GES è definito operativamente attraverso 11 Descrittori, tre dei quali sono direttamente pertinenti per il Progetto R3.

La Tabella 7.6 descrive i Descrittori D3, D8 e D11 e la loro rilevanza per le attività del Progetto R3.

Descr.	Denominazione GES	Pertinenza per la Piccola Pesca con Propulsione Ibrida	KPI / Misura di monitoraggio R3
D3	Popolazioni di specie commerciali entro limiti biologici sicuri (Buono Stato Ecologico).	La riduzione UWN riduce la perturbazione durante la riproduzione dei pesci. Studi STECF (2022) correlano il rumore subacqueo con riduzione della CPUE fino al -12% in zone costiere.	KPI RU-03 (UWN medio giornata di pesca, dB re 1µPa); CPUE normalizzata (All. C); cross-ref §17.4.4.
D8	Concentrazione di contaminanti entro livelli non nocivi.	Eliminazione perdite idrocarburi da propulsione diesel/ausiliaria. Protezione acque lagunari da olio sentina (KPI AC-01: ≤15 ppm). IoT monitora TPH (idrocarburi totali) in porto.	KPI AC-01 (OWC sentina), AC-06 (TPH porto); MARPOL Annex I (§8.2.2); DNSH Obj.3.
D11	Rumore subacqueo (Underwater Noise, UWN) entro livelli non nocivi per ecosistemi marini e costieri.	Componente più rilevante: la propulsione elettrica riduce SPL di -15÷25 dB in modalità EL rispetto al diesel. Contributo diretto al raggiungimento del GES D11. Protocollo misura: ISO 17208-1/2 e database AQUO.	KPI RU-03/04 (UWN, ΔSPL); protocollo §23.2.2; OSPAR Rec. 2019/7; cross-ref §6.5.2.

Tab. 7.6 — Descrittori MSFD pertinenti (D3, D8, D11) e corrispondenza con il sistema M&V del Progetto R3.

Contributo al D11-GES e Raccomandazione OSPAR 2019/7: La Raccomandazione OSPAR 2019/7 (per le acque nord-atlantiche europee, applicata come riferimento metodologico anche per il Mediterraneo nelle Linee Guida MSFD) definisce il protocollo di monitoraggio del rumore subacqueo impulsivo e continuo. Il Progetto R3 adotta il protocollo di misura UWN basato su ISO 17208-1 (terminologia e misura della pressione acustica subacquea) e ISO 17208-2 (stima del livello di pressione sonora delle sorgenti), con idrofono calibrato e archivio dati nel database AQUO (§23.2.2).

La riduzione UWN nelle giornate di pesca in modalità elettrica (stima -15+25 dB SPL) costituisce un contributo misurabile al GES D11 nelle acque costiere sarde.

Rilievo AMB-03 (Significativo) — RISOLTO: Il framework MSFD (Dir. 2008/56/CE) è ora integralmente integrato nel quadro normativo (§7.3.1), nel sistema M&V (§23.1.1 e §23.2.2), nella baseline ambientale (§6.5) e nella DNSH Checklist (All. I, Obj.6). I KPI RU-03/04 misurano il contributo al GES D11.

7.3.2 Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 (MASE, novembre 2023)

La Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 (SNB 2030), adottata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) nel novembre 2023, costituisce il documento programmatico nazionale di attuazione della EU Biodiversity Strategy 2030 (§7.3.3). La SNB 2030 individua 30 obiettivi nazionali raggruppati in 6 macro-obiettivi, con particolare rilievo per gli ecosistemi marini e costieri.

Per il Progetto R3, la rilevanza della SNB 2030 si articola su tre livelli: (a) il macro-obiettivo B ('Tutela e ripristino degli ecosistemi') include la riduzione del rumore subacqueo come misura di protezione degli habitat costieri, in linea con il D11-GES MSFD; (b) il macro-obiettivo E ('Pesca e acquacoltura sostenibili') promuove l'adozione di tecnologie a basso impatto ambientale nella piccola pesca artigianale, con esplicito riferimento all'efficienza energetica della propulsione; (c) il macro-obiettivo F ('Finanza per la biodiversità') incentiva l'integrazione dei valori degli ecosistemi nella valutazione economica dei progetti, in linea con la monetizzazione dei benefici ecosistemici proposta in §17.4.1–17.4.4.

Rilievo VAS-05 (Minore) — RISOLTO: La SNB 2030 (MASE, novembre 2023) è ora citata e declinata nella sua rilevanza per il Progetto R3 (§7.3.2). I macro-obiettivi B, E e F sono cross-referenziati con i KPI del Progetto (RU-03/04, EM-01:07) e con la DNSH Checklist (All. I, Obj.6).

7.3.3 EU Biodiversity Strategy 2030 (COM(2020)380) — obiettivi pertinenti

La Strategia dell'UE per la Biodiversità 2030 (Comunicazione della Commissione COM(2020)380 del 20 maggio 2020) definisce un piano d'azione per la protezione della natura e il ripristino degli ecosistemi degradati entro il 2030. Nell'ambito del Green Deal europeo, la Strategia è considerata uno dei pilastri fondamentali insieme alla Farm-to-Fork Strategy e al Piano d'Azione per l'Economia Circolare.

I principali obiettivi della EU Biodiversity Strategy 2030 pertinenti per il Progetto R3 sono: (a) l'obiettivo di proteggere giuridicamente almeno il 30% delle aree marine UE entro il 2030 (di cui almeno il 10% sotto protezione rigorosa), con implicazioni per la gestione delle ZSC/ZPS nelle aree di pesca sarde e per la VInCA sito-specifica (§19.2); (b) l'obiettivo di ripristinare gli ecosistemi marini degradati, in linea con la riduzione delle pressioni fisiche (rumore, idrocarburi) generate dalla propulsione diesel tradizionale; (c) l'allineamento con il Nature Restoration Law (Reg. (UE) 2024/1991), che fissa obiettivi vincolanti di ripristino degli ecosistemi marini e costieri, direttamente rilevanti per le lagune sarde dove insistono i siti pilota.

Il FEAMPA 2021–2027 esplicita la coerenza con la EU Biodiversity Strategy 2030 tra i propri obiettivi trasversali (Considerando 19, Reg. 2021/1139), contribuendo così a rafforzare la catena logica FEAMPA → DNSH Obj.6 → VInCA → monitoraggio IoT → GES MSFD nel Progetto R3.

7.4 Sintesi: matrice normativa x componente di progetto

La Tabella 7.7 sintetizza il quadro normativo UE analizzato nel presente capitolo incrociandolo con le cinque componenti principali del Progetto R3 (propulsione elettrica/ibrida; batterie LiFePO₄; sensoristica IoT; infrastruttura portuale/CER; formazione operatori). Il simbolo '●' indica applicabilità diretta con obblighi conformativi; '○' indica assenza di applicabilità diretta. La matrice funge da strumento di verifica della completezza normativa in sede di redazione dei capitoli tecnici (Cap. 9–12) e del Piano di Implementazione (Cap. 20–22), nonché da checklist per il responsabile compliance del Progetto.

Normativa / Atto	Propulsione EL/ibrida	Batterie LiFePO4	Sensoristica IoT	Infrastruttura portuale (CER)	Formazione operatori
Reg. (UE) 2021/1139 — FEAMPA (OS3, OS5)	● Ammissibile (art.27)	● Ammissibile (kit retrofit)	● Ammissibile (monitoraggio)	● CER portuale (art.31 D.Lgs 199/21)	● Cap. building (art.44)
Reg. (UE) 2020/852 + Reg. Del. 2021/2139 — DNSH / TSC Sez.6.5	● TSC: GHG -40%	● Obj.4: EoL, CFP	○ Non direttamente soggetto	● Obj.1: FER abilitante	○ Non soggetto
Reg. (UE) 2023/1542 — Battery Regulation	○ Indiretto (fonte ricarica)	● CFD obbligatoria (da lug. 2024); DBP da 2027	○ N/A	● Gestione EoL, raccolta RAEE	○ N/A
Dir. 2008/56/CE — MSFD (D3, D8, D11)	● D11: riduzione UWN in modalità EL	● D8: zero sversamenti elettrolita	● D3/D8: monitoraggio IoT parametri GES	● D8: qualità acqua in porto	○ N/A
IEC 60092 + RINA Rules Part E Cap.17 — Impianti elettrici navali	● Architettura impianto, protezioni	● BMS, sicurezza elettrica	● IP rating, cavi marine-grade	● CEI 64-8 Sez.709 (pontili)	● PES/PAV obbligatorie
Reg. (UE) 2024/2847 — Cyber Resilience Act (CRA)	● PMS con connettività: soggetto CRA	● BMS cloud: soggetto CRA	● Sensori IoT: principale soggetto CRA	● Gateway portuale: soggetto CRA	● Formazione cybersecurity base
D.Lgs 504/95 art.24 c.2 — Accisa agevolata gasolio pesca	● Impatta CBA: prezzo netto 0,67 €/l	○ N/A	○ N/A	○ N/A	● Formazione gestione beneficio fiscale

Tab. 7.7 — Matrice normativa UE x componente di progetto (quadro UE e ambientale). Legenda: ● applicabilità diretta; ○ non applicabile.

Nota: la normativa nazionale (D.Lgs 504/95, Legge 154/2016, D.Lgs 199/2021, Codice della Navigazione), le norme tecniche di sicurezza navale (IEC 60092, RINA Rules, MARPOL, SOLAS) e il framework digitale/cyber (CRA, NIS2, AI Act, GDPR) sono oggetto del Capitolo 8 — Quadro Nazionale e Regionale, con estensione della matrice normativa alle medesime cinque componenti progettuali.

— Fine Capitolo 7 —

8. Quadro Normativo Nazionale e Regionale

Accisa gasolio pesca · ISMEA · IEC 60092 / RINA · IMO MARPOL / MSC.1/Circ.1605 · CER D.Lgs 199/2021 · GDPR · CRA · NIS2 · AI Act

Il presente capitolo estrae le prescrizioni normative nazionali e regolamentari europee di maggiore rilevanza operativa per il progetto R3, organizzandole in tre macro-aree: (8.1) gli atti del Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste (MASAF) che regolano il regime fiscale del gasolio e le garanzie finanziarie per il settore pesca — elementi con impatto diretto sulla bankability e sulla CBA; (8.2) le norme tecniche di sicurezza e conformità per gli impianti elettrici navali (IEC 60092, RINA Rules), per la sicurezza antincendio delle batterie (IMO MSC.1/Circ.1605) e per le CER portuali (D.Lgs 199/2021); (8.3) il framework normativo digitale europeo — GDPR, Cyber Resilience Act, NIS2 e AI Act — applicato sistematicamente a ciascun componente del sistema IoT/BMS del progetto.

Il capitolo 8 integra il quadro normativo del Capitolo 7 (norme FEAMPA, Tassonomia, DNSH), focalizzandosi sulle norme di natura tecnica, fiscale e digitale che incidono sulla progettazione del sistema, sulle procedure di collaudo e sulla gestione dei dati. Ogni sezione identifica esplicitamente gli adempimenti operativi a carico del progetto R3 con il termine di completamento previsto nelle fasi del cronoprogramma (§21.1.1).

8.1 Atti MASAF pertinenti: requisiti estratti per platea e adempimenti

Il Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste (MASAF, già MIPAAFT) è l'autorità nazionale competente per la gestione del FEAMPA, il supporto all'accesso al credito nel settore pesca (tramite ISMEA), e le norme fiscali di settore. Due atti MASAF hanno impatto diretto e quantificabile sulla valutazione economica del progetto R3: il regime di accisa agevolata sul gasolio da pesca professionale (§8.1.1) — che determina il prezzo effettivo del carburante da utilizzare nella CBA — e il meccanismo di garanzia ISMEA (§8.1.2), condizione abilitante per la bankability del retrofit per gli armatori della piccola pesca sarda.

8.1.1 Accisa agevolata gasolio pesca professionale (D.Lgs 504/95 art.24 c.2)

Il D.Lgs 504/1995 (Testo Unico Accise) art.24 comma 2 stabilisce l'esenzione totale dall'accisa sul gasolio impiegato in motori fissi per l'esercizio della pesca professionale in acque marine e lagunari. Questa agevolazione riduce il prezzo effettivo del gasolio per gli armatori della piccola pesca sarda da €1,25/litro (prezzo alla pompa al dettaglio) a €0,67/litro (comprensivo di IVA al 10% sull'imponibile ante-accisa). Il differenziale ha un impatto rilevante sulla CBA del progetto R3: il vantaggio economico del retrofit è calcolato sul risparmio di gasolio a prezzo agevolato, non a prezzo pieno. Non tenerne conto nella CBA produrrebbe una sovrastima del VAN fino all'86%.

Tabella 8.1 — Accisa agevolata gasolio pesca professionale (D.Lgs 504/95 art.24 c.2): regime normativo, platea, procedura e implicazioni per la CBA R3

Elemento normativo	Contenuto e implicazioni per il progetto R3
Base normativa	D.Lgs 26 ottobre 1995, n. 504 (Testo Unico Accise), art.24 comma 2; Circ. ADM (Agenzia delle Dogane e Monopoli) n. 25/D del 2008 e s.m.i.
Aliquota accisa ordinaria gasolio (usi terrestri)	€ 0,6174/litro (aliquota 2025, aggiornata con Legge di Bilancio 2025)
Aliquota accisa agevolata pesca professionale (art.24 c.2)	€ 0,0 €/litro per la quota esente (totale esenzione accisa) → prezzo netto gasolio pesca professionale: €0,67/litro (incl. IVA 10%) vs €1,25/litro al dettaglio
Soggetti beneficiari	Imprenditori ittici titolari di licenza di pesca professionale ai sensi del D.Lgs 9 gennaio 2012, n. 4 (Codice della Pesca); cooperative di pesca; armatori iscritti al Registro delle Navi e Galleggianti presso la Capitaneria di Porto competente
Procedura di fruizione	1. Richiesta all'ADM (Ufficio delle Dogane territorialmente competente) di iscrizione nel registro degli utenti agevolati; 2. Acquisto gasolio presso depositi fiscali autorizzati con nota di consegna agevolata; 3. Rendicontazione trimestrale dei quantitativi consumati per tipologia di navigazione (pesca professionale vs altra attività)

Quantitativi esentabili	Non vi è un limite quantitativo fisso: il beneficio è parametrato all'attività di pesca effettivamente svolta, documentata dal Giornale di Bordo elettronico (e-VMS, Reg.UE 404/2011) e dai dati Portale AGEA/SIAN
Implicazione critica per R3: risparmio gasolio e base CBA	Il prezzo netto di gasolio utilizzato nella CBA (Tab.17.1, baseline) è €0,67/litro (non €1,25). Il risparmio per riduzione consumi (es. Config. B: -45% = 14,3 l/giornata) è calcolato sul prezzo agevolato: €9,58/giornata × 200 gg = €1.916/anno (non €3.575/anno a prezzo pieno). Usare il prezzo lordo sovrastimerebbe il VAN del 86%: errore metodologico grave se non chiarito.
Implicazione per la CER portuale e ricarica elettrica	L'energia elettrica per la ricarica delle batterie (CER portuale) NON beneficia di alcuna agevolazione fiscale specifica per il settore pesca. La 'simmetria fiscale' tra gasolio agevolato (€0,67/l) e energia elettrica (€0,12-0,18/kWh da CER) deve essere esplicitata nella CBA. A 2,0 kWh elettrici ≅ 1 litro di gasolio (rendimento ibrido), il costo energetico elettrico è €0,24-0,36 per equivalente litro, superiore al gasolio agevolato: il vantaggio economico del retrofit sta nel risparmio assoluto di consumi, non nella differenza di prezzo per unità di energia.
Rischio normativo per il progetto R3	Un'eventuale riforma dell'agevolazione accisa gasolio pesca (dibattito europeo sulla defossilizzazione — proposta COM/2021/563 ETD riforma energia) ridurrebbe lo spread tra gasolio agevolato e energia elettrica, migliorando la CBA del retrofit. Questo è inserito come scenario 'upside' nel §17.3.3. Monitorare: iter di recepimento italiano della Direttiva Energia 2023 (revisione accise).
Adempimenti del progetto R3 (prescrizioni operative)	1. Registrazione dati consumo gasolio baseline per ogni barca pilota prima del retrofit (fonte: dichiarazioni armatore + Giornale di Bordo e-VMS — Lv.3 di evidenza); 2. Aggiornamento dichiarazioni ADM post-retrofit per riduzione quantitativi agevolati; 3. Documentazione separata dei consumi pre/post per la rendicontazione KPI EN-01 (All. C KPI Register).

Nota: Il prezzo netto gasolio pesca di €0,67/litro è il valore utilizzato in tutta la CBA dello studio (Tab.17.1, baseline; §17.3; All. CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx). La verifica con un consulente fiscale specializzato in accise è raccomandata prima dell'avvio del pilota, poiché le aliquote possono variare con le Leggi di Bilancio annuali. L'ultimo aggiornamento disponibile al momento della stesura del presente documento è la Legge di Bilancio 2025 (L.207/2024). Collegamento: §17.1.1 (assunzioni CBA), Tab.17.1 (baseline consumi e costi).

8.1.2 Garanzie ISMEA per il settore pesca (Legge 154/2016)

La Legge 154/2016 (Collegato Agricoltura) art.17 ha rafforzato il Fondo di garanzia ISMEA per le imprese della pesca e dell'acquacoltura, estendendo la platea dei beneficiari e aumentando la percentuale di copertura fino all'80% dell'esposizione bancaria. Per gli armatori della piccola pesca sarda — in larga misura imprenditori individuali o soci di cooperative con limitata capacità patrimoniale — la garanzia ISMEA è spesso l'unico strumento che consente l'accesso al credito bancario per investimenti come il retrofit ibrido. La Tabella 8.2 analizza nel dettaglio il regime normativo, la procedura di accesso e le implicazioni operative per il progetto R3.

Tabella 8.2 — Garanzie ISMEA per il settore pesca (Legge 154/2016): regime normativo, beneficiari, procedura e implicazioni per la bankability R3

Elemento normativo	Contenuto e implicazioni per il progetto R3
Base normativa	Legge 28 luglio 2016, n. 154 (Collegato Agricoltura), art.17; Decreto MIPAAF 22 aprile 2011 (Fondo di garanzia ISMEA per il settore pesca e acquacoltura); Circolare operativa ISMEA n. 2/2022
Soggetto gestore	ISMEA — Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare (Ente pubblico economico vigilato dal MASAF)
Tipologia di garanzia	Garanzia diretta: ISMEA si sostituisce al debitore in caso di insolvenza. Controgaranzia: ISMEA controgarantisce i Consorzi di Garanzia Fidi (Confidi) che a loro volta garantiscono le banche erogatrici. Per il settore pesca: garanzia fino all'80% del finanziamento.
Beneficiari ammissibili	Imprese di pesca e acquacoltura iscritte nel Registro delle Imprese CCIAA; cooperative di pesca con sede operativa in Italia; armatori con licenza di pesca professionale regolare. Requisiti: assenza di irregolarità fiscali/contributive (DURC regolare); nessuna procedura concorsuale in corso.
Massimale di garanzia	Garanzia singola: fino a €1,5M per operazione (Circ. ISMEA 2/2022). Garanzia cumulativa per cooperativa: fino a €5M totali. Per investimenti FEAMPA con co-finanziamento pubblico: il massimale si applica alla quota privata netta (CAPEX lordo meno contributo FEAMPA).

Costo della garanzia (commissione)	0,00% per i primi 3 anni (moratoria COVID proroga) → 0,25–0,50% annuo sulla quota garantita a partire dal quarto anno. Costo complessivo garanzia 10 anni per €30.000 garantiti (Config. B CAPEX netto): €375–750 (marginale sul VAN).
Procedura di accesso	1. Richiesta garanzia tramite banca convenzionata ISMEA (elenco su portale ismea.it/pesca); 2. Valutazione creditizia dell'impresa (rating interno banca + DURC); 3. Delibera ISMEA in 20 gg lavorativi; 4. Erogazione finanziamento con garanzia ISMEA attiva; 5. Monitoraggio annuale posizioni garantite.
Durata del finanziamento garantito	Fino a 10 anni (ammortamento). Per attrezzature e macchinari (incluso motore ibrido, batterie): tipicamente 5–7 anni. L'allungamento a 10 anni, possibile con garanzia ISMEA, migliora il VAN perché riduce la rata annua sotto la soglia di risparmio gasolio.
Cumulabilità con FEAMPA	Pienamente cumulabile: ISMEA garantisce il finanziamento bancario che copre la quota privata del CAPEX (quota non coperta dal co-finanziamento FEAMPA). Schema: FEAMPA copre 55–70% CAPEX lordo; l'armatore finanzia il 30–45% restante con mutuo bancario garantito da ISMEA.
Implicazione critica per R3	La garanzia ISMEA è la condizione di bankability del progetto per gli armatori di piccola pesca: senza garanzia, molti armatori della flotta sarda (spesso imprenditori individuali con patrimonio limitato) non ottengono il finanziamento bancario. Il §17.2.2 sviluppa il modello finanziario con e senza ISMEA. La verifica pre-ammissibilità ISMEA è classificata come criterio GO della Fase 0 (Tab.17.10).
Adempimenti del progetto R3	1. Raccogliere DURC aggiornati per tutti gli armatori candidati al pilota (prerequisito settimana 1 Fase 0); 2. Contattare almeno 2 banche convenzionate ISMEA (es. BCC Sardegna, Banco Sardegna) per accordo quadro con condizioni standardizzate per il pilota UN.I.COOP; 3. Prevedere nel capitolato fornitori la fatturazione separata del retrofit per facilitare il finanziamento bancario.

Nota: Il modello finanziario con garanzia ISMEA è sviluppato nel dettaglio in §17.2.2, che confronta il flusso di cassa per un armatore tipo con e senza garanzia (differenza sulla rata annua: circa €800–1.200/anno su Config. B a 7 anni). La verifica pre-ammissibilità ISMEA (DURC + rating banca convenzionata) è classificata come criterio GO della Fase 0 (Tab.17.10) e deve essere completata entro la settimana 4 dalla Fase 0 per tutti gli armatori candidati al pilota. Collegamento: §17.2.2–17.2.3 (modelli finanziari), §15.1 (criteri selezione barche pilota).

8.2 Norme tecniche di sicurezza e conformità: evidenze dai preventivi

Le norme tecniche di sicurezza per gli impianti elettrici navali, per la gestione delle batterie e per le Comunità Energetiche Rinnovabili costituiscono il quadro di riferimento imprescindibile per la progettazione esecutiva dei sistemi del progetto R3. Il rispetto di queste norme è verificato dal capitolato tecnico (Allegato D) che impone ai fornitori la produzione di evidenze documentali (certificati, dichiarazioni di conformità, rapporti di collaudo) come condizione di accettazione della fornitura. I §8.2.1–8.2.3 analizzano le tre aree normative tecniche principali.

8.2.1 Serie IEC 60092 (impianti elettrici navali) e RINA Rules Part E Ch.17

La serie normativa IEC 60092 definisce i requisiti tecnici per la progettazione, installazione e manutenzione degli impianti elettrici a bordo di navi e imbarcazioni. Per il progetto R3, le norme più rilevanti sono: IEC 60092-101 (requisiti generali), IEC 60092-350 (cavi per uso navale), IEC 60092-507 (piccole imbarcazioni <24m — applicazione diretta alle barche pilota), IEC 60092-509 (operazione e manutenzione), IEC 62619 (sicurezza batterie al litio) e IEC 62196-2 (connettori di ricarica). Le RINA Rules for Classification of Ships Part E Chapter 17 (2024) sono il riferimento complementare per i sistemi di propulsione elettrica e i sistemi di accumulo energia (ESS), adottato come best practice indipendentemente dall'obbligo formale di classificazione.

Tabella 8.3 — Serie IEC 60092, IEC 62619, IEC 62196-2 e RINA Rules Part E Ch.17: norme applicabili per componente, adempimenti R3 e inserimento nel capitolato fornitori

Norma / Standard	Ambito di applicazione	Requisiti principali applicabili al progetto R3 e adempimenti
IEC 60092-101:2018 (Definizioni e requisiti generali)	Impianti elettrici su navi —	Definisce le classi di installazione elettrica a bordo. Per il progetto R3: il sistema ibrido (motore EL + BMS + cablaggio) deve essere progettato come 'impianto elettrico navale' e non come semplice 'impianto EV terrestre'. Distinzione critica per la garanzia del costruttore e per il collaudo RINA.

	requisiti di base	
IEC 60092-350:2020 (Cavi per installazione navale)	Cavi di potenza e controllo a bordo navi	Requisiti per isolanti, guaine, resistenza alla fiamma e alla corrosione marina. Applicazione per R3: cavi di potenza batteria↔motore EL e cavi segnale BMS devono rispettare IEC 60092-350 (categoria EPR/XLPE con guaina PVC FR marittimo). Vita utile ≥20 anni in ambiente marino. Incluso nel capitolato tecnico All. D.
IEC 60092-507:2014 (Piccole imbarcazioni)	Impianti elettrici su imbarcazioni <24m	Norma specifica per le dimensioni delle barche pilota del progetto R3 (Config. B: <12m; Config. A: 12–20m). Requisiti: isolamento DC minimo 1 MΩ per sistema 48V; interruttore principale BMS accessibile entro 1m dal posto di guida; marcatura cavi permanente. Particolarmente rilevante per Config. L (lagunare <6m).
IEC 60092-509:2016 (Operazione degli impianti a bordo)	Procedure operative e manutenzione impianti elettrici	Definisce le procedure di commutazione diesel/EL (lock-out/tag-out). Per il progetto R3: il manuale operativo di bordo (SOG, §22.1.2) deve incorporare le procedure IEC 60092-509 per la commutazione in sicurezza. Prerequisito per il collaudo RINA e per l'addestramento PES/PAV degli armatori (§22.1.1).
IEC 62619:2022 (Batterie per uso navale e veicoli EL: requisiti sicurezza)	Batterie al litio per installazioni non consumer	Standard di sicurezza primario per le batterie LiFePO4 dei sistemi R3. Requisiti: test abuso (sovratemperatura, cortocircuito, overcharge, crush test); BMS con protezioni OTP/OVP/CVM; documentazione tecnica per ogni lotto. Richiede certificato di conformità IEC 62619 dal fornitore batterie (requisito contrattuale All. D).
RINA Rules for the Classification of Ships Part E, Ch.17 (2024)	Propulsione elettrica e sistemi di accumulo su navi classificate RINA	Capitolo dedicato agli impianti di propulsione elettrica e sistemi di accumulo energia (ESS) a bordo. Per il progetto R3: le barche pilota non sono necessariamente classificate RINA, ma il progettista deve rispettare i criteri tecnici Part E Ch.17 come riferimento di best practice per: dimensionamento cavi potenza, coordinamento protezioni, separazione fisica rete propulsione/loT. Il collaudo in mare (Fase 1) è condotto con presenza di perito RINA (costo stimato €800–1.500/barca).
RINA Cyber Requirements for Ships (2023)	Cybersecurity sistemi di bordo e sistemi IT/OT	Linee guida RINA per la cybersecurity dei sistemi di controllo navali, complementari a IEC 62443. Applicazione a R3: il BMS e il gateway loT devono rispettare i requisiti RINA Cyber di Livello 1 (per barche <500 GT non classificate) come evidenza contrattuale per il capitolato fornitori. Riferimento per il §18.4.1 (IEC 62443 architettura di sicurezza).
IEC 62196-2:2022 (Connettori ricarica EV)	Connettori di ricarica per veicoli e imbarcazioni EL	Applicazione a R3: connettori shore-power sulle colonnine pontile devono essere conformi IEC 62196-2 (Type 2, trifase 32A per Config. B). Garantisce la standardizzazione e la sostituibilità dei connettori tra diversi fornitori di colonnine. Requisito obbligatorio nel capitolato tecnico All. D per le colonnine portuali (§5.4, Tab.5.4).

Nota: Le norme IEC 60092-507 e IEC 62619 sono obbligatorie come requisiti contrattuali nel capitolato fornitori (All. D): il fornitore deve consegnare i certificati di conformità prima della firma del contratto di fornitura. Le RINA Rules Part E Ch.17 sono adottate come riferimento tecnico volontario (best practice), non come requisito obbligatorio di classificazione per le barche della piccola pesca artigianale non classificate RINA. La presenza del perito RINA al collaudo in mare (Fase 1) è fortemente raccomandata per dare evidenza documentale della conformità tecnica al sistema e per supportare la rendicontazione FEAMPA. Collegamento: Cap.9 (propulsione EL/ibrida), Cap.10 (batterie marittime), All.D (capitolato fornitori).

8.2.2 IMO MARPOL Annex VI (emissioni) e IMO MSC.1/Circ.1605 (fire safety batterie)

L'IMO MARPOL Annex VI stabilisce i limiti alle emissioni di ossidi di zolfo (SO_x) e azoto (NO_x) dal trasporto marittimo. Le navi della piccola pesca sarda (<400 GT) non sono soggette agli obblighi quantitativi EEDI/SEEMP, ma il trend normativo internazionale — con la probabile designazione del Mediterraneo come ECA (Emission Control Area) per NO_x — rende strategicamente rilevante il retrofit R3 come anticipazione proattiva della conformità. La circolare IMO MSC.1/Circ.1605 (2019, aggiornata 2022) è invece immediatamente applicabile al progetto R3 come standard tecnico obbligatorio per la sicurezza antincendio delle batterie al litio a bordo.

Tabella 8.4 — Norme IMO applicabili al progetto R3: MARPOL Annex VI (emissioni), MSC.1/Circ.1605 (fire safety batterie LiFePO₄), Cod. SFV e IMO GHG Strategy 2023

Norma IMO / Atto	Ambito	Applicazione e adempimenti per il progetto R3
------------------	--------	---

IMO MARPOL Annex VI (Reg. 14–15 NO_x/SO_x, Reg.20–22 EEDI/SEEMP)	Emissioni in atmosfera dal trasporto marittimo	Annex VI si applica a navi >400 GT per EEDI (Energy Efficiency Design Index) e SEEMP. Le barche della piccola pesca R3 (<25m, <400 GT) non sono soggette direttamente a EEDI/SEEMP. Rilevanza indiretta: MARPOL Annex VI stabilisce i limiti NO _x Tier III (Reg.13) applicabili nelle ECAs (Emission Control Areas). Il Mediterraneo non è ancora ECA-NO _x (situazione marzo 2026, iter in corso a IMO-MEPC). Il retrofit R3 anticipa comunque la conformità Tier III abbattendo le emissioni NO _x in proporzione alla riduzione di gasolio.
IMO MARPOL Annex VI Reg.28: CII (Carbon Intensity Indicator, da 2023)	Valutazione dell'intensità di carbonio operativa	CII si applica a navi >5.000 GT: le imbarcazioni R3 sono esenti. Ma il Portogallo e altri Stati UE stanno valutando estensione del CII alla piccola pesca nell'ambito della strategia IMO 2023 per la decarbonizzazione. Il monitoraggio IoT (dati consumo gasolio/kWh bordo) predispone la flotta sarda a una futura rendicontazione CII-equivalente senza costi aggiuntivi.
IMO MSC.1/Circ.1605 (2019) — Interim Guidelines for Lithium-ion Battery Fire Safety	Sicurezza antincendio per batterie al litio a bordo navi	DOCUMENTO DI RIFERIMENTO OBBLIGATORIO per il progetto R3. Le linee guida MSC.1/Circ.1605 forniscono requisiti tecnici specifici per l'installazione e la gestione delle batterie al litio a bordo di navi da pesca, integrando le regole SOLAS Ch.II-1 Reg.55. Requisiti chiave applicabili a R3: 1. RILEVAZIONE: sensore di temperatura e sensore gas H₂ nel vano batterie (early warning thermal runaway); 2. CONTENIMENTO: il vano batterie deve essere progettato per contenere eventuali perdite di liquido refrigerante/elettrolita senza diffusione in altri spazi; 3. SOPPRESSIONE: sistema di soppressione con N₂ o CO₂ per vani batterie >10 kWh (obbligatorio per Config. A e C; consigliato per Config. B); 4. VENTILAZIONE: ventilazione forzata del vano batterie con estrazione verso l'esterno (min. 6 ricambi/ora) per evitare accumulo H₂; 5. PROCEDURE: istruzioni di emergenza affisse a bordo in italiano e in inglese, inclusa la procedura di smaltimento batteria danneggiata in porto.
IMO MSC-MEPC.2/Circ.16 (2021) — Code of Safety for Fishing Vessels (SFV) Capitolo 10	Sicurezza su navi da pesca (complementare SOLAS per navi da pesca)	Il Codice SFV (basato sul Torremolinos Protocol 1993, ratificato da Italia) include requisiti di sicurezza per impianti elettrici a bordo di navi da pesca >45m. Per le barche pilota R3 (<25m), il riferimento è la normativa nazionale D.Lgs 171/2005 (Codice della Nautica da Diporto) e le Circ. Comando Generale delle Capitanerie di Porto n. 153/2019 (sicurezza imbarcazioni da pesca <24m). Adempimento: verifica Capitaneria ante avvio pilota (§5.6, Tab.5.7).
IMO Res. MEPC.377(80) (2023) — IMO Greenhouse Gas Strategy 2023	Strategia IMO per la decarbonizzazione del trasporto marittimo	La strategia IMO 2023 fissa obiettivi di riduzione GHG: -20% emissioni totali entro 2030, -70% entro 2040, net-zero 'entro o intorno al 2050' (rispetto al 2008). Sebbene formalmente applicabile a navi >400 GT, la strategia crea un quadro di incentivi crescenti per la decarbonizzazione della pesca artigianale. Il progetto R3 è strategicamente allineato con gli obiettivi IMO 2030: una riduzione GHG del 40–85% lifecycle per Config. B e L supera già il target IMO 2030.
D.Lgs 18 luglio 2005, n.171 (Codice della Nautica) e circ. CP 153/2019	Sicurezza imbarcazioni da pesca <24m in acque nazionali	Normativa di riferimento nazionale per le barche pilota R3 (non classificate RINA, <24m). Requisiti operativi: dotazione minima antincendio (estintore CO ₂ ≥5 kg per ogni locale motore); registrazione impianto elettrico modificato presso Capitaneria; comunicazione preventiva all'ENAC e alla Capitaneria per le prove in mare del pilota. Il piano di emergenza bordo deve essere aggiornato per includere le procedure di emergenza batterie (MSC.1/Circ.1605).

Nota: L'IMO MSC.1/Circ.1605 è il documento più critico di questa sezione per l'operatività del pilota: i suoi requisiti tecnici (sensore H₂, ventilazione forzata, sistema di soppressione per vani >10 kWh, procedure di emergenza) devono essere recepiti nel capitolato tecnico (All.D) e nel piano operativo di bordo (SOG, §22.1.2) prima dell'avvio dei test in mare. Il mancato rispetto di MSC.1/Circ.1605 è un rischio di sicurezza critico (RT-06, Tab.18.1) oltre che un potenziale motivo di invalidazione del collaudo RINA. Collegamento: Cap.10 §10.3 (fire safety batterie), §22.1.2 (piano di emergenza bordo).

8.2.3 D.Lgs 199/2021 (CER) e DM MASE 7 dic. 2023 (incentivi)

Il D.Lgs 199/2021 art.31 e il DM MASE 7 dicembre 2023 costituiscono il quadro normativo della Comunità Energetica Rinnovabile portuale, già analizzata nel §5.5.1 dal punto di vista della governance energetica. Il presente paragrafo integra quell'analisi con i dettagli normativi sulla struttura giuridica ammessa, sulla procedura di riconoscimento GSE, sul trattamento fiscale degli incentivi e sulla regola della stessa cabina di trasformazione — elemento tecnico-normativo determinante per la fattibilità della CER nei porti sardi.

Tabella 8.5 — D.Lgs 199/2021 art.31 e DM MASE 7 dic.2023: struttura normativa CER portuale, tariffa GSE, fattore emissivo per DNSH e adempimenti R3

Elemento normativo	Contenuto e implicazioni specifiche per il progetto R3
Base normativa CER	D.Lgs 8 novembre 2021, n. 199, art.31 (recepimento Dir.UE 2018/2001 'RED II'); DM MASE 7 dicembre 2023 (Regolamento incentivi CER, in vigore dal 24 gennaio 2024); Reg. GSE n. 1/2024 (procedure operative)
Struttura giuridica ammessa per CER portuale R3	Enti del Terzo Settore (ETS), cooperative, associazioni (comprese le associazioni di cooperative come UN.I.COOP), enti locali (Comuni, Autorità Portuali), PMI. La CER portuale R3 può essere costituita come associazione di secondo livello tra le cooperative associate UN.I.COOP + AdSP/Comune portuale + CNR-IAS (socio produttore scientifico). Forma raccomandata: associazione non riconosciuta per semplicità, con atto costitutivo che include la clausola di benefici a favore del territorio e dei soci.
Condizione della stessa cabina (art.31 c.1 — regola di prossimità)	I punti di prelievo (barche a carica + utenze porto) e i punti di immissione (impianto FV sul tetto magazzini porto) devono essere connessi sotto la stessa cabina di trasformazione MT/BT. Questa condizione è soddisfatta per i porti della piccola pesca sarda dove tutta l'utenza portuale condivide la stessa cabina. ECCEZIONE: se il magazzino con il FV è su una diversa cabina rispetto al pontile, la CER non è tecnicamente costituibile senza accordo con Enel DS per la 'cabina virtuale'.
Potenza massima impianto FV per CER (art.31 c.1)	Max 1 MW per CER, con possibilità di CER multiple fino a 200 MW (per configurazioni di più CER in aree contigue). Per il pilota R3: impianto FV 30–60 kWp ampiamente entro il limite. In caso di scale-up a tutta la flotta sarda, la struttura a CER multipla è prevista dall'art.31 c.1 bis (introdotto con D.Lgs 190/2024).
Tariffa incentivo GSE (DM MASE 7 dic.2023 art.8)	Zona Centro-Sud (Sardegna): € 0,097 €/kWh (base) + eventuale maggiorazione fino a 0,021 €/kWh per CER in Comuni <5.000 abitanti con impianto su struttura pubblica → max €0,118/kWh. La tariffa si applica all'energia condivisa nella CER (energia prodotta dall'FV e consumata dai soci nella stessa ora di produzione). Il GSE eroga la tariffa per 20 anni dalla data di riconoscimento (Reg. GSE 1/2024 art.12).
Incentivo in conto energia vs Tariffa premio (distinzione)	Il DM MASE 7 dic.2023 ha sostituito il precedente sistema 'in conto energia' (Conto Energia I–V) con la 'tariffa premio' applicata all'energia condivisa (non all'intera produzione FV). L'energia FV autoconsumata individualmente (es. uffici porto) riceve solo il risparmio in bolletta, non la tariffa premio. Ottimizzazione R3: massimizzare la quota di energia FV condivisa tra soci simultaneamente attivi (ricarica barche in orario diurno mentre il FV produce).
Procedura di accesso al GSE (Reg. 1/2024)	1. Costituzione CER (atto notarile o scrittura privata autenticata); 2. Registrazione sul portale GSE 'FER1 – Sezione CER'; 3. Caricamento documenti: statuto, planimetria impianto FV, dati catastali, POD delle utenze; 4. Verifica tecnica GSE (15 gg lavorativi); 5. Stipula convenzione con GSE; 6. Attivazione incentivo dal mese successivo alla convenzione. Tempistica totale stimata: 30–60 giorni dalla sottoscrizione dei documenti.
Fattore emissivo FV per DNSH (implicazione per art.17 Tassonomia)	L'energia prodotta dall'impianto FV della CER portuale ha un fattore emissivo medio di ~0,020–0,050 kgCO ₂ /kWh (dipende dal BOS — Balance of System: componenti di montaggio, inverter, ecc.). Questo valore è drasticamente inferiore al FE rete Sardegna (0,350 kgCO ₂ /kWh ISPRA 2023) e abilita la conformità DNSH Obiettivo 1 (TSC riduzione GHG ≥40%) per la Config. B. Il FE dell'impianto FV deve essere calcolato con un LCA del pannello e comunicato annualmente all'AdG FEAMPA nella rendicontazione DNSH.
Trattamento fiscale degli incentivi GSE per la cooperativa	La tariffa premio GSE è fiscalmente qualificata come contributo in conto esercizio (non ricavo da cessione energia) per gli ETS e le cooperative non commerciali: non concorre alla formazione del reddito imponibile IRES/IRAP se l'ente rientra nel perimetro del D.Lgs 117/2017 (Codice del Terzo Settore). Verifica necessaria con fiscalista specializzato in ETS prima della costituzione della CER, per ottimizzare la struttura giuridica.
Adempimento R3 prioritario	Avviare la procedura di costituzione della CER portuale entro mese 2 della Fase 0 per il porto pilota Sulcis (readiness massima, §5.1 Tab.5.1). Il referente UN.I.COOP designato (§20.1) deve coordinare la raccolta documenti (statuto, atti costitutivi cooperative associate, dati POD) e l'invio al GSE. Obiettivo: CER attiva entro mese 6 dalla Fase 0 (Lol firmata entro mese 2 come criterio GO per la Fase 1 §17.5.2).

Nota: Il DM MASE 7 dicembre 2023 è entrato in vigore il 24 gennaio 2024 e ha abrogato il precedente regime transitorio (Circ. GSE del 2022 sulla CER in attesa del decreto). Le domande di incentivo presentate sotto il regime transitorio mantengono il trattamento previsto dalla circolare. Il Reg. GSE n.1/2024 (procedure operative) è disponibile sul portale GSE.it e definisce modelli e formati documentali per la richiesta di incentivo. Collegamento: §5.5 (governance CER portuale), §19.1.1 (DNSH Obiettivo 1 con fattore emissivo CER), All.G (analisi fattibilità CER completa).

8.3 Framework normativo digitale: GDPR, Cybersecurity e AI

Il sistema IoT/BMS del progetto R3 genera, trasmette e archivia dati che ricadono sotto tre regimi normativi europei entrati in vigore (o che hanno avuto inizio dei loro effetti) nel biennio 2024–2025: il GDPR (Reg.UE 2016/679, pienamente in vigore dal 2018 ma con nuove linee guida EDPB pertinenti del 2022–2024), il Cyber Resilience Act (Reg.UE 2024/2847, in vigore dall'11 dicembre 2024 con obblighi scaglionati), il recepimento della Direttiva NIS2 (D.Lgs 138/2024, in vigore dal 16 ottobre 2024) e l'AI Act (Reg.UE 2024/1689, in vigore dal 2 agosto 2024 con obblighi progressivi per categoria). L'analisi sviluppata in questo paragrafo è coordinata con il risk register cyber/dati/AI del §18.4.4 (Tab.18.7), che declina gli stessi obblighi in forma di rischi con misure di mitigazione.

8.3.1 GDPR (Reg. UE 2016/679): trattamento dati personali GPS e identità armatore

Il sistema IoT del progetto R3 tratta categorie di dati personali (definiti dall'art.4 §1 GDPR come 'qualsiasi informazione riguardante una persona fisica identificata o identificabile') in misura maggiore di quanto appaia a prima vista. Le coordinate GPS della barca, associate all'armatore titolare della licenza, costituiscono dati personali indiretti che rivelano informazioni sensibili (aree di pesca, abitudini operative, presenza/assenza in porto). Questa qualificazione determina l'applicabilità integrale del GDPR e, in particolare, l'obbligo di Valutazione di Impatto (DPIA, art.35) prima dell'avvio del trattamento. La Tabella 8.6 classifica sistematicamente le tipologie di dati trattati dal sistema R3 con la qualificazione GDPR e le misure di protezione obbligatorie.

Tabella 8.6 — GDPR Reg.UE 2016/679: classificazione dei dati trattati dal sistema IoT R3, qualificazione legale e misure di protezione obbligatorie per tipologia

Dato trattato dal sistema IoT	Qualificazione GDPR	Misure di protezione obbligatorie (art.25 e art.32 GDPR) e adempimenti R3
Coordinate GPS barca (posizione in tempo reale e storica)	Dato personale indiretto se correlabile all'armatore (art.4 §1 GDPR). Dato sensibile de facto: rivela abitudini, aree di pesca, rotte — informazioni commercialmente sensibili.	Pseudonimizzazione obbligatoria (art.25 — privacy by design): coordinate troncate a 2 decimali per archiviazione storica; trasmissione cifrata TLS 1.3; accesso in lettura limitato a: sistema di rendicontazione FEAMPA + armatore stesso. DPIA obbligatoria (art.35) ante pilota. Retention: 36 mesi (poi anonimizzazione irreversibile). Log accessi archiviato per 12 mesi.
Identità armatore (nome, codice fiscale, partita IVA, IBAN)	Dati personali diretti (art.4 §1). Trattamento necessario per: erogazione incentivi FEAMPA, fatturazione energia CER, rendicontazione KPI.	Base giuridica: esecuzione contratto (art.6 §1(b)) per la ricarica CER; obbligo legale (art.6 §1(c)) per la rendicontazione FEAMPA. Cifratura at-rest AES-256 per database cloud. Accesso dati anagrafica: solo responsabile cooperativa e AdG FEAMPA su richiesta formale. Informativa privacy art.13 GDPR da consegnare a ogni armatore prima dell'arruolamento nel pilota.
Dati di consumo energetico (kWh ricarica, litri gasolio, SoC batteria)	Dati tecnici non personali se aggregati a livello di flotta; personali se riferiti alla singola barca/armatore.	Aggregazione mensile per la rendicontazione FEAMPA (non dato individuale). Accesso ai dati granulari per armatore: riservato all'armatore stesso + sistema di audit trail. Il fornitore IoT è qualificato come 'responsabile del trattamento' (art.28 GDPR): obbligo di Data Processing Agreement (DPA) firmato prima dell'installazione.
Dati di pesca (CPUE, specie, attrezzi, aree di cattura)	Dati personali + dati commercialmente riservati. In parte coincidono con obbligo di reporting al	Duplici regimi: GDPR per il trattamento nell'ambito del progetto R3; Reg.1224/2009 (controllo pesca) per il reporting obbligatorio a MASAF. I dati R3 non sostituiscono il VMS obbligatorio. Segregazione logica dei database obbligatoria: dati R3 ≠ dati VMS. Verifica con avvocato specializzato in diritto della pesca ante avvio pilota.

<p>Immagini da telecamere di bordo (eventuale futura funzionalità PMS)</p>	<p>Giornale di Bordo elettronico (VMS/ERS, Reg.UE 404/2011 e 1224/2009).</p> <p>Dati personali (art.4 §1) se captano persone riconoscibili (armatore, equipaggio, passeggeri).</p>	<p>Se implementate: obbligo di informativa art.13 + cartello visibile. Registrazione locale solo (no cloud streaming). Retention max 72h. Valutazione separata DPIA ex art.35 per questa funzionalità specifica (non inclusa nel pilota Fase 1).</p>
<p>Dati di terzi trasmessi accidentalmente (avvistamenti specie protette, coordinate altri pescherecci)</p>	<p>Dati non personali ma ecologicamente sensibili (coordinate ZSC, specie lista rossa IUCN).</p>	<p>Protocollo di gestione dati sensibili non-personali: accesso riservato a team scientifico CNR-IAS; accordo di confidenzialità (NDA) con tutti i soggetti che accedono alla piattaforma IoT; policy di non divulgazione delle coordinate di pesca ad altri armatori (protezione anticoncorrenziale).</p>

Nota: La DPIA è obbligatoria (art.35 GDPR) perché il trattamento riguarda dati di localizzazione sistematica su larga scala (flotta di barche). Il responsabile della DPIA è il DPO della cooperativa o, in sua assenza, il referente GDPR designato (uno degli adempimenti GOV-01 del §20.1). La DPIA deve essere completata prima dell'attivazione del sistema IoT su qualsiasi barca pilota, indipendentemente dal sito. Il Data Processing Agreement (DPA) con il fornitore IoT (art.28 GDPR) deve essere firmato contestualmente al contratto di fornitura. Collegamento: §12.6 (audit trail IoT), §18.4.4 (RC-03, RC-04, RC-07 nel risk register cyber).

8.3.2 Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847, in vigore 11 dic. 2024)

Il Cyber Resilience Act (CRA, Reg.UE 2024/2847) è il primo regolamento europeo orizzontale sulla cybersecurity dei prodotti con elementi digitali (hardware e software) messi in commercio nell'UE. È entrato in vigore l'11 dicembre 2024 con un regime di obblighi progressivi: gli obblighi per i produttori di segnalare vulnerabilità al CSIRT sono applicabili dal dicembre 2025; gli obblighi completi di conformità (SBOM, valutazione di conformità) sono applicabili dal dicembre 2027. Per il progetto R3, il CRA è rilevante perché i gateway IoT di bordo e il BMS rientrano nella definizione di 'prodotti con elementi digitali' di Classe II (gateway connessi a rete), soggetti a valutazione di conformità da organismo notificato.

L'implicazione operativa principale per il progetto R3 è la richiesta contrattuale al fornitore IoT di consegnare lo SBOM (Software Bill of Materials) in formato CycloneDX 1.4 o SPDX 2.3 contestualmente all'offerta, e di garantire il supporto con patch di sicurezza per almeno 8 anni (allineato con la vita utile del sistema). Questo requisito è inserito nel capitolato fornitori (Allegato D) come condizione di ammissibilità delle offerte, indipendentemente dall'entrata in vigore formale degli obblighi CRA nel 2027.

8.3.3 Direttiva NIS2 (Dir. 2022/2555) e D.Lgs 138/2024 (in vigore 16 ott. 2024)

La Direttiva NIS2 (Dir.2022/2555/UE) è stata recepita in Italia con il D.Lgs 4 settembre 2024, n. 138, entrato in vigore il 16 ottobre 2024. Il decreto amplia la platea dei soggetti obbligati ('soggetti essenziali' e 'soggetti importanti') rispetto alla precedente NIS1 e introduce obblighi più stringenti di gestione del rischio cyber e di notifica degli incidenti. Per le cooperative di pesca associate UN.I.COOP, la verifica del perimetro di applicabilità NIS2 è necessaria: un'organizzazione che gestisce infrastrutture energetiche portuali (CER) o sistemi IoT connessi a reti critiche potrebbe rientrare nella categoria 'soggetti importanti' se supera le soglie di fatturato (>€10M) o numero di dipendenti (>50) previste dall'art.3 D.Lgs 138/2024.

Indipendentemente dall'applicabilità diretta della NIS2, gli obblighi di notifica degli incidenti al CSIRT Italia (entro 24h per notifica iniziale, 72h per notifica completa, 30 giorni per report finale — art.23 D.Lgs 138/2024) sono incorporati nel Piano di Risposta agli Incidenti (IRP) del §18.4.3 (Tab.18.6) come prassi operativa obbligatoria per qualsiasi incidente cyber significativo sul sistema IoT/BMS, a prescindere dalla formale qualifica NIS2 della cooperativa.

8.3.4 AI Act (Reg. UE 2024/1689, in vigore agosto 2024): PMS con ottimizzazione ML

Il Regolamento UE 2024/1689 (AI Act) è entrato in vigore il 2 agosto 2024 con un regime di obblighi progressivi per categoria di rischio: i divieti di sistemi AI vietati si applicano dal febbraio 2025; gli obblighi per sistemi ad 'alto rischio' (Allegato III) si applicano dall'agosto 2026; gli obblighi per sistemi a 'rischio limitato' si applicano dall'agosto 2025. Per il progetto R3, la classificazione AI Act del Power Management System (PMS) con ottimizzazione machine learning è la questione normativa più delicata dell'intero framework digitale.

La classificazione corretta dipende dalle modalità operative del PMS: in modalità advisory-only (il sistema suggerisce la commutazione diesel/EL ma la decisione finale è dell'armatore) il PMS è classificato a 'rischio limitato' (art.50 AI Act) con soli obblighi di trasparenza verso gli utenti. Se il PMS eseguisse autonomamente la commutazione senza supervisione umana, rientrerebbe nell'Allegato III (infrastrutture critiche — comma 2) con obblighi di valutazione di conformità, registro degli eventi, documentazione tecnica e supervisione umana garantita. La raccomandazione del progetto R3 è di mantenere il PMS in modalità advisory-only per tutta la durata delle Fasi 1–2, rinviando la valutazione della modalità automatica alla Fase 3 dopo la verifica dei dati di campo. La Tabella 8.7 riassume gli obblighi di CRA, NIS2 e AI Act per ciascun componente digitale del progetto.

Tabella 8.7 — Matrice obblighi CRA / NIS2 / AI Act per componente digitale del sistema R3: classificazione, obblighi principali e adempimenti con termine

Componente / Funzione digitale R3	CRA Reg.2024/2847 (in vigore 11/12/2024)	NIS2 / D.Lgs 138/2024 (in vigore 16/10/2024)	AI Act Reg.2024/1689 (in vigore 02/08/2024)	Obblighi principali e adempimenti con termine
Sonde IoT bordo (T°, DO, GPS, SoC)	Classe I (art.6 All.I)	Non applicabile (utente finale)	Non applicabile (nessuna funzione AI)	CRA: SBOM SPDX 2.3 consegnato con l'offerta; nessuna credenziale di default; aggiornamento OTA firmato. Termine: obbligo effettivo per nuovi prodotti dal 11/12/2027 (CRA art.71 c.2), ma raccomandato già nel capitolato pilota.
Gateway LoRa/4G bordo (edge computing)	Classe II (art.6 All.I — gateway connessi a rete)	Potenzialmente soggetto NIS2 se connesso a infrastruttura critica	Non applicabile (nessuna funzione AI autonoma)	CRA Classe II: valutazione conformità da organismo notificato (art.24); TLS 1.3; MFA accesso remoto; log 90 gg; patch entro 30 gg da CVE. NIS2: se gateway è parte di infrastruttura portuale critica, la cooperativa potrebbe essere 'soggetto importante' art.3: notifica CSIRT entro 24h per incidenti significativi.
BMS / Controller propulsione ibrida	Classe II (safety-critical, All.I CRA)	Non applicabile (controllo fisico navale)	Non applicabile (decisioni di sicurezza non autonome ML)	CRA: air gap consigliato tra rete BMS e rete IoT; nessuna interfaccia wireless abilitata di default; bootloader sicuro; gestione certificati. Collaudo RINA come evidenza alternativa/complementare alla valutazione di conformità CRA (approccio: dichiarazione di conformità con evidenze RINA + IEC 62619).
Piattaforma cloud M&V (AWS IoT Hub / Azure IoT)	Classe II se connessa a BMS (art.7 CRA)	Soggetto art.3 NIS2 se ricavi >€50M o bilancio >€43M (provider)	Non applicabile (storage dati, non AI attiva)	CRA: clausola contrattuale obbligatoria con provider cloud per SBOM, patch management, notifica CVE entro 24h. NIS2: verificare se il provider è 'soggetto essenziale' NIS2 (Azure/AWS: sì); la cooperativa come 'utente finale' non è direttamente soggetta NIS2 ma deve scegliere provider conformi. ISO/IEC 27001 come evidenza.
App mobile PMS (supervisione SoC, allarmi)	Classe I (art.6 All.I — app periferiche)	Non applicabile	Rischio limitato (AI Act art.50 — solo obbligo trasparenza)	CRA: distribuzione su store ufficiali; SSL certificate pinning; nessun dato GPS in chiaro; aggiornamento annuale. AI Act art.50: se l'app usa algoritmi di raccomandazione o classificazione, obbligo di informazione agli utenti (armatori) sull'uso dell'IA. Adempimento semplice: nota informativa nell'app.
PMS con ML (ottimizzazione diesel/EL, previsione SoH batterie)	Classe II se componente software connessa a gateway	Non applicabile	Rischio limitato → solo se advisory (non esecuzione autonoma) Rischio alto	AI Act CRITICO: il PMS deve essere classificato correttamente. In modalità advisory-only (suggerisce la commutazione, l'armatore decide): rischio limitato, solo obbligo trasparenza art.50 (documentazione tecnica semplificata). Se il PMS

			<p>All.III se decisione autonoma sulla propulsione</p>	<p>esegue autonomamente la commutazione diesel/EL senza supervisione umana: classificazione 'alto rischio' Allegato III (infrastruttura critica), con obblighi: valutazione di conformità, registro eventi, supervisione umana garantita. RACCOMANDAZIONE: mantenere modalità advisory-only nel pilota Fase 1-2.</p>
--	--	--	---	---

Nota: La tabella riporta lo stato normativo aggiornato a marzo 2026. Gli obblighi CRA per i produttori (SBOM, valutazione conformità) entreranno pienamente in vigore nel dicembre 2027: la finestra di tre anni è sufficiente per adeguare gradualmente il portafoglio fornitori del progetto R3. L'obbligo CRA più urgente già attivo (dicembre 2025) è la notifica delle vulnerabilità attivamente sfruttate al CSIRT nazionale da parte del produttore del gateway IoT. Il progetto R3 deve verificare che il contratto SLA con il fornitore IoT includa l'obbligo di notifica a R3 contestualmente alla notifica al CSIRT. Collegamento: §18.4 (architettura di sicurezza e piano VA/PT), Tab.18.5 (piano penetration test), Tab.18.7 (risk register cyber).

9. Propulsione elettrica e ibrida

Il presente capitolo descrive lo stato dell'arte della propulsione elettrica e ibrida applicata alla piccola pesca artigianale, con riferimento specifico alle caratteristiche della flotta sarda identificata come campione pilota del Progetto R3. La trattazione è strutturata su cinque livelli: (i) il framework normativo navale applicabile, che definisce gli standard tecnici obbligatori per i sistemi di propulsione non convenzionale a bordo di imbarcazioni da pesca; (ii) le architetture propulsive disponibili e la loro idoneità alle diverse configurazioni operative; (iii) il profilo di missione delle imbarcazioni pilota, che traduce le caratteristiche operative in requisiti prestazionali misurabili e in KPI di monitoraggio; (iv) gli impatti operativi misurabili della transizione propulsiva; (v) i requisiti di protezione dalla corrosione marina e i rating IP minimi per componente. I rilievi di peer review ING-01 (framework normativo), ING-03 (imbarcazioni lagunari), ING-04 (SOLAS fire safety batterie) e ING-05 (marine-grade, IP rating) trovano risoluzione sistematica in questo capitolo.

9.1 Stato dell'arte e architetture propulsive per la piccola pesca

La propulsione elettrica e ibrida navale per il segmento della piccola pesca (imbarcazioni <25m) ha registrato un'accelerazione significativa nel decennio 2013–2023, con un aumento del numero di installazioni commerciali dal livello quasi sperimentale a una disponibilità di prodotto matura, supportata da fornitori europei specializzati. Il mercato è attualmente dominato da tre classi di soluzione tecnologica: i sistemi ibridi paralleli su albero (adatti per retrofit su imbarcazioni esistenti), i sistemi serie con generatore diesel dedicato (adatti per nuove costruzioni o retrofit profondi) e i sistemi totalmente elettrici a batterie (adatti per imbarcazioni di piccola stazza in acque protette o con autonomia limitata). A queste si aggiunge la configurazione serie-parallelo, che combina i vantaggi delle prime due al costo di una maggiore complessità tecnica e normativa.

La disponibilità tecnologica è oggi tale da rendere tecnicamente fattibile il retrofit di tutte e quattro le configurazioni del Progetto R3 (A, B, C, L) con prodotti di serie certificati da fornitori europei (Transfluid, Bellmarine, Fischer Panda, LPMR, MG Energy Systems, Torqeedo, ePropulsion). La sfida principale non è più tecnologica, bensì normativa (conformità IEC/RINA), infrastrutturale (CER portuale) e organizzativa (formazione operatori, gestione O&M).

9.1.1 Framework normativo elettrico navale applicabile: IEC 60092, RINA Rules Part E Cap. 17, BV NR 566

I sistemi di propulsione elettrica e ibrida a bordo di imbarcazioni da pesca sono soggetti a un corpus normativo tecnico articolato, che comprende standard IEC per gli impianti elettrici navali, regole di classificazione degli enti RINA e Bureau Veritas per la certificazione del sistema propulsivo, e circolari IMO per la sicurezza antincendio dei sistemi a batterie. Il rilievo di peer review ING-01 (Significativo) aveva segnalato l'assenza di questi riferimenti nella versione v1.0 dello studio: la Tabella 9.1 risolve sistematicamente tale lacuna, mappando ogni norma applicabile con il suo campo d'azione e la sua pertinenza per le configurazioni R3.

Norma / Regola	Emittente	Contenuto e campo di applicazione navale	Applicabilità al Progetto R3	Rilievo PR risolto
IEC 60092-101:2022 (Electrical installations in ships – General)	IEC (International Electrotechnical Commission)	Requisiti generali per impianti elettrici a bordo di navi. Definisce classificazione ambienti, requisiti di isolamento, protezione da corrosione e umidità marina, selettività delle protezioni.	Applicabile a tutto l'impianto di propulsione EL e ai circuiti ausiliari delle Configurazioni A/B/C/L. Requisiti IP per	ING-01 ✓

Norma / Regola	Emittente	Contenuto e campo di applicazione navale	Applicabilità al Progetto R3	Rilievo PR risolto
			cavi, connettori, quadri.	
IEC 60092-301:2021 (Generators and motors)	IEC	Requisiti specifici per motori e generatori elettrici navali. Include prove di vibrazione, resistenza alla corrosione salina, classificazione termale, raffreddamento (aria / liquido).	Motori di propulsione EL di tutte le configurazioni. Config. L: motore pod/fuoribordo EL con IP68 minimo per immersione.	ING-01 ✓
IEC 60092-352:2016 (Low voltage switchgear / controlgear)	IEC	Quadri di bassa tensione e apparecchiature di manovra a bordo. Protezione da condensazione, vibrazioni, onde d'urto (shock meccanico da mare formato). Classe di isolamento.	Quadro di distribuzione principale e BMS nelle Config. A/B/C/L. Richiesto IP ≥ 44 per ambienti semi-esposti.	ING-01 ✓
IEC 62619:2022 (Safety requirements – Secondary lithium cells/batteries)	IEC	Requisiti di sicurezza per batterie Li-ion in applicazioni stazionarie e propulsive (non-automotive). Gestione termica, BMS, protezione da sovraccarica, corto circuito, inversione di polarità.	Batterie LiFePO4 delle Config. A/B/C/L. Requisiti BMS per monitoraggio SoC e temperatura cella. Cfr. Cap. 10 §10.1.1.	ING-01 ✓
RINA Rules Part E, Chapter 17 (Electric propulsion)	RINA (Registro Italiano Navale)	Regole di classe RINA per sistemi di propulsione elettrica e ibrida su navi: verifica progettuale dell'impianto, prove in officina e a bordo, collaudo del sistema propulsivo, certificazione di classe.	Obbligatoria per ottenere la notazione di classe 'Electric Propulsion' su imbarcazioni >15 GT. Per <15 GT: applicabile per estensione. Certificazione richiesta per accesso a fondi FEAMPA (art. 27).	ING-01 ✓
BV NR 566 (Rules for classification – Hybrid propulsion)	Bureau Veritas	Regole BV per sistemi di propulsione ibrida navale. Integra i requisiti IEC 60092 con specifiche per sistemi serie/parallelo, gestione della potenza (PMS), protezione da guasto doppio (n-1).	Riferimento complementare per configurazioni parallele (Config. A/B/C). Applicato in assenza di notazione RINA	ING-01 ✓

Norma / Regola	Emittente	Contenuto e campo di applicazione navale	Applicabilità al Progetto R3	Rilievo PR risolto
			se il costruttore è certificato BV.	
IMO MSC.1/Circ.1605 (Fire safety – Lithium-ion batteries)	IMO (International Maritime Organization)	Linee guida IMO per la sicurezza antincendio dei sistemi a batterie litio a bordo di navi. Sistemi di rilevamento fumi e gas, procedure di intervento, ventilazione del vano batterie.	Applicabile ai vani batterie di tutte le configurazioni. Requisiti di ventilazione forzata e sensori di gas (H ₂) per Config. A/B/C. Cfr. §10.1.2.	ING-04 ✓
SOLAS Ch. II-1 Reg. 55 (Safe return to port)	IMO	Requisiti di continuità di propulsione e governo per navi passeggeri in caso di singolo guasto (fail-safe). Applicato per estensione ai pescherecci ibridi: ridondanza propulsiva minima.	Rilevante per Config. A/B/C con propulsione ibrida parallela: il motore diesel deve garantire propulsione minima in caso di guasto del sistema EL (fail-safe diesel).	ING-04 ✓

Tab. 9.1 — Framework normativo elettrico navale applicabile al Progetto R3 (IEC, RINA, BV, IMO). Rilievi ING-01 e ING-04 risolti.

Nota certificazione RINA: Per le imbarcazioni da pesca di lunghezza <24m (tutte le configurazioni R3), la certificazione di classe RINA con notazione 'Electric Propulsion' è facoltativa ai fini della navigazione, ma fortemente raccomandata ai fini dell'accesso al finanziamento FEAMPA e della bankability del progetto. In alternativa, è accettata la dichiarazione di conformità IEC del fornitore con collaudo in fabbrica (FAT) e a bordo (SAT), validata da un perito navale indipendente (Ingegnere Navale iscritto all'Ordine).

9.1.2 Architetture propulsive per acque aperte: parallelo, serie, serie-parallelo

Le architetture propulsive ibrido-elettriche per la piccola pesca in acque aperte si differenziano per il grado di disaccoppiamento meccanico tra il motore termico (ICE) e il motore elettrico (EM), per la funzione svolta dalle batterie (buffer energetico vs. fonte primaria) e per il ruolo del Power Management System (PMS) nella gestione ottimale del flusso di potenza. La scelta dell'architettura determina in modo significativo il profilo di consumo, l'efficienza energetica complessiva, il CAPEX e la complessità del retrofit. La Tabella 9.2 confronta le quattro architetture disponibili rispetto ai criteri rilevanti per il Progetto R3.

Architettura	Schema funzionale	Vantaggi principali	Limitazioni	Config. R3 applicabile
Ibrido parallelo	Motore diesel (ICE) e motore elettrico (EM) collegati meccanicamente allo stesso albero di trasmissione tramite riduttore/innesto.	Semplicità meccanica; diesel come backup immediato; investimento CAPEX moderato; retrofit su albero	Ingombro del motore diesel mantenuto a bordo; efficienza inferiore al serie in navigazione lenta; interferenze vibrazioni ICE-EM	Config. A (12–20m) Config. B (<12m) Fornitori: Transfluid, Bellmarine, Fischer Panda

Architettura	Schema funzionale	Vantaggi principali	Limitazioni	Config. R3 applicabile
	Possibilità di funzionamento diesel-only, EL-only o combinato.	esistente con intervento limitato.	in regime combinato.	
Ibrido serie	Il diesel agisce esclusivamente come generatore elettrico (genset); la propulsione avviene solo tramite motore EL. Il genset è disaccoppiato dalla propulsione.	Punto di lavoro ottimale del genset indipendente dalla velocità nave; riduzione consumo specifico (SFC); silenziosità in EL-only; flessibilità configurazione diesel.	CAPEX più elevato; perdita conversione termica → elettrica → meccanica ($\eta_{\text{totale}} \approx 28-32\%$); peso batterie aggiuntivo; complessità elettrica.	Config. C (15–25m) Fornitori: LPMR, MG Energy Systems
Ibrido serie-parallelo	Combinazione flessibile: il motore EL può agire sia in modalità parallela sull'albero sia come generatore (recupero energia in frenata/deriva). Switch modalità via PMS.	Massima flessibilità operativa; recupero energia in deceleration; ottimizzazione energetica tramite PMS ML; riduzione UWN in modalità EL pura.	La maggiore complessità richiede PMS avanzato (→ AI Act §12.5); costo certificazione più elevato; formazione operatori più approfondita.	Config. C+ (con FV flessibile) Fornitori: LPMR + Victron Energy
Elettrico puro	Propulsione esclusivamente elettrica: motore pod / fuoribordo EL alimentato da pacco batterie LiFePO4. Assenza totale di ICE a bordo. Ricarica shore power (CER portuale) e/o FV.	Zero emissioni operative; massima riduzione UWN ($-20 \div 30$ dB SPL rispetto diesel); CAPEX minimo per piccole imbarcazioni; manutenzione semplificata.	Autonomia limitata al pacco batterie (max 4–6 ore a piena potenza); dipendenza da infrastruttura CER portuale; non adatto per uscite lunghe >40 nm.	Config. L (<6m) Fornitori: Torqeedo, ePropulsion, Elco Motor Yachts

Tab. 9.2 — Architetture propulsive EL/ibride per piccola pesca in acque aperte: confronto tecnico e idoneità per le Configurazioni R3.

Scelta architetture per le configurazioni R3: La Configurazione B (<12m) adotta l'architettura ibrida parallela, che massimizza la semplicità del retrofit sull'albero esistente e minimizza il CAPEX (€55.000). La Configurazione A (12–20m) utilizza anch'essa la soluzione parallela, con potenza EM maggiore (30–60 kW) per bilanciare il profilo di missione più esigente. La Configurazione C (15–25m) adotta l'architettura serie, ottimale per imbarcazioni di stazza superiore con profili di velocità variegati (strascico leggero + trasferimento rapido). La Configurazione L (<6m) è interamente elettrica, con eliminazione completa dell'ICE. La scelta dell'architettura per ogni barca pilota sarà finalizzata in Fase 0 a seguito della verifica di compatibilità meccanica (riduttore, elica) e dell'analisi di stabilità.

9.1.3 Architetture propulsive per imbarcazioni lagunari e lacustri: requisiti speciali

Le imbarcazioni lagunari della piccola pesca sarda presentano caratteristiche dimensionali, operatorie e ambientali profondamente diverse dalle imbarcazioni marittime, al punto da richiedere una trattazione separata sia dal punto di vista dell'architettura propulsiva sia dei requisiti normativi e

di sicurezza. Il rilievo di peer review ING-03 (Significativo) aveva segnalato l'assenza di questa tematica nella v1.0: la Tabella 9.3 e le sezioni seguenti costituiscono la risposta completa a tale rilievo.

Le principali differenze rispetto alle imbarcazioni marittime riguardano: (a) il pescaggio estremamente ridotto (<0,4m), che esclude le soluzioni di propulsione con elica convenzionale immersa profonda e richiede pod a bassa immersione o motori fuoribordo; (b) la velocità operativa massima di 6 kn, che riduce il fabbisogno di potenza propulsiva e rende tecnicamente sufficiente un pacco batterie di 5–15 kWh per una giornata di pesca completa; (c) la sensibilità ambientale estrema delle lagune costiere sarde — ZSC Stagno di Cabras (IT2080003), ZSC Santa Gilla (IT2080006), ZSC Lago di Baratz (IT2008006) — che impone il massimo livello di protezione da emissioni sonore (UWN) e da rischio sversamento di idrocarburi o elettrolita.

Parametro di progetto	Imbarcazione marittima (Config. A/B/C)	Imbarcazione lagunare (Config. L)
Lunghezza fuori tutto	<12m (B), 12–20m (A), 15–25m (C)	<6m — tipicamente 4–5,5m (remi-motore tradizionale Sardegna)
Pescaggio operativo	0,8–1,8m (variabile con carico e tipo scafo)	<0,4m — requisito fondamentale per navigazione in acque basse lagunari (Cabras, S. Teodoro, Tortoli). Rif. rilievo ING-03.
Architettura propulsiva	Ibrido parallelo (B) o serie/serie-parallelo (A/C): ICE + motore EL + pacco batterie 20–100 kWh	Elettrico puro: motore pod EL (2–10 kW) + pacco batterie LiFePO4 3–15 kWh. Pod a bordo esterno o idrogetto per fondali molto bassi.
Autonomia operativa	Intera giornata (7h): modalità EL per navigazione lenta (<5 kn) + diesel per trasferimento. EL copre 40–60% delle ore operative.	4–8 ore in modalità EL pura a 3–4 kn. Profilo di missione: uscita mattina + ritorno pomeriggio con ricarica CER portuale a mezzogiorno.
Velocità di esercizio	3–8 kn in pesca; 8–14 kn in trasferimento	<6 kn in ogni fase (laguna): limite normativo e vincolo ecologico (torbidità, risospensione sedimenti). KPI RU-01 (SPL bordo).
Esigenze specifiche IP / corrosione	IP ≥ 55 per motore; IP ≥ 44 per BMS/quadri. Ambiente: spray marino (NaCl), umidità >80%, temperature -5÷+45°C.	IP ≥ 67 per pod EL (semi-sommerso). Ambiente: acqua dolce/salmastra, fanghi, alghe. Materiali: acciaio inox 316L o HDPE per componenti a contatto con sedimento.
Impatto UWN su fauna lagunare	D11-GES MSFD: moderato. Rilevante per anguilla europea (Anguilla anguilla) e spigola (Dicentrarchus labrax) in ZSC costieri.	D11-GES MSFD: critico. Le lagune sarde sono habitat riproduttivi chiave per Anguilla anguilla (All. II Dir. Habitat), mugilidi e ostriche piatte. Propulsione EL è misura di protezione prioritaria (DNSH Obj.6).
Normativa specifica aggiuntiva	Codice della Navigazione; D.Lgs 171/2005 (navigazione da diporto per motoscafi pesca); MARPOL Annex I/VI.	Reg. Regionale Sardegna su lagune e stagni costieri; Piano di Gestione ZSC per siti Natura 2000 lagunari; DM MATTM 17 ott. 2007 (lagunosi classificazione MSFD).

Tab. 9.3 — Confronto parametri di progetto tra imbarcazioni marittime (Config. A/B/C) e imbarcazioni lagunari (Config. L). Rilievo ING-03 risolto.

9.2 Retrofit vs sostituzione: opzioni e perimetri (analisi basata su evidenze)

La scelta tra l'approccio di retrofit del sistema propulsivo sull'imbarcazione esistente e la sostituzione con una nuova imbarcazione dotata di propulsione ibrida/elettrica di serie è una decisione tecnico-economica con implicazioni normative, finanziarie e operative rilevanti. Nel contesto del Progetto R3, la risposta è sostanzialmente univoca: il retrofit è l'opzione obbligata per l'accesso al finanziamento FEAMPA (art. 27 Reg. 2021/1139), che esclude esplicitamente l'acquisto di nuove imbarcazioni come spesa ammissibile nell'ambito delle misure di efficienza energetica. La Tabella 9.4 analizza i criteri di scelta in modo evidence-based, evidenziando le condizioni limite e i parametri da verificare in Fase 0 per ogni barca pilota.

Criterio di valutazione	Approccio	Analisi per il Progetto R3	Raccomandazione
Età e condizione strutturale dello scafo	Retrofit	Indicato per imbarcazioni con scafo in buone condizioni strutturali (età <15 anni, grado di corrosione <20% scafo, albero in acciaio intatto). Criteri di selezione §15.1.1.	Verificare età e condizione strutturale in Fase 0. Ispezione subacquea obbligatoria.
Impatto sul registro GT e capacità di pesca	Retrofit	Il retrofit del solo sistema propulsivo non modifica il GT dell'imbarcazione né la capacità di pesca autorizzata. La sostituzione con nuova imbarcazione richiede iter autorizzativo più complesso (Capitaneria di Porto, MASAF). Il FEAMPA art. 27 vincola espressamente al 'non aumento di capacità'.	Retrofit è la via obbligata per conformità FEAMPA art. 27.
CAPEX e accesso al finanziamento FEAMPA	Retrofit	Retrofit: CAPEX €25.000–120.000 (Config. L–C). Sostituzione: CAPEX imbarcazione nuova €150.000–500.000 (non ammissibile FEAMPA art. 27). Il delta CAPEX è interamente coperto dal differenziale del grant FEAMPA (55–70% retrofit vs. 30% nuovo mezzo).	Retrofit sempre preferibile per accesso incentivi.
Compatibilità architettonica con ibrido parallelo	Entrambi	Il retrofit parallelo su albero esistente è tecnicamente fattibile su imbarcazioni con riduttore meccanico (Config. A/B). Richiede verifica del coppia massima sull'albero e dei parametri dell'elica (passo e diametro). Su imbarcazioni con gearbox non compatibile (alcuni ≤6m) si preferisce sostituzione del motore (motore EL + riduttore nuovo).	Analisi caso per caso in Fase 0 per ogni barca pilota.
Spazio a bordo per pacco batterie	Critico per Retrofit	Config. B (<12m): pacco batterie 20–40 kWh occupa 0,15–0,30 m ³ (es. MG Energy 48V 200Ah = 0,18 m ³ , 95 kg). Necessaria analisi stabilità e verifica centro di gravità. Config. L (<6m): batterie integrate nella tuga o sotto coperta. Vincolo peso: max 120 kg per	Studio stabilità obbligatorio in Fase 0 per ogni barca pilota.

Criterio di valutazione	Approccio	Analisi per il Progetto R3	Raccomandazione
		<6m (Art. 3 Cod. Nav., stabilità lagunare).	
Tempo fuori servizio e impatto sul reddito	Retrofit: 10–20 gg Sostituzione: 30–60 gg	Il retrofit ibrido parallelo su Config. B richiede 10–15 giorni lavorativi di cantiere (disassemblaggio riduttore, installazione motore EL, cablaggio, collaudo). La Config. A richiede 15–25 giorni. Il tempo fuori servizio è da includere nel risk register come perdita di reddito stimata (§17.5.1, KPI CO-05).	Pianificare installazione in periodo di fermo biologico.

Tab. 9.4 — Analisi comparativa retrofit vs sostituzione per il Progetto R3: criteri tecnici, normativi ed economici.

Raccomandazione operativa: Il percorso progettuale standard per il Progetto R3 prevede il retrofit ibrido parallelo (Config. A/B) o serie (Config. C) sull'imbarcazione esistente, con sostituzione integrale del solo sistema propulsivo (motore EL + inverter + batterie + cablaggio + BMS). La sostituzione dell'imbarcazione è contemplata solo nel caso in cui l'ispezione strutturale in Fase 0 evidenzi condizioni di scafo non compatibili con il retrofit (corrosione >30% dello spessore nominale, deformazioni permanenti, costi di ripristino strutturale che annullano il vantaggio CAPEX del retrofit). In tal caso, il progetto è riorientato verso una nuova costruzione finanziabile con altri strumenti (ISMEA Legge 154/2016, BEI, Fondo Kyoto — §17.2.3) e la barca viene esclusa dal campione pilota con sostituzione secondo i criteri §15.1.

9.3 Mission profile e requisiti prestazionali: ponte con il KPI Register

Il profilo di missione (mission profile) di un'imbarcazione da pesca è la rappresentazione quantitativa delle condizioni operative tipiche in una giornata di pesca: velocità, regime di lavoro del motore, consumo orario, proporzione tra modalità operative (trasferimento, pesca attiva, stazionamento in zona, rientro, manovra portuale). Il mission profile è lo strumento fondamentale per: (a) dimensionare il pacco batterie e scegliere la potenza del motore EL; (b) stimare con realismo la riduzione del consumo di gasolio e le emissioni evitate; (c) definire i KPI primari di monitoraggio e le relative soglie RAG nel KPI Register (All. C). I valori di baseline utilizzati nel Progetto R3 derivano dall'Assunzione A-03 (Livello di evidenza 3: dati da letteratura STECF e MEDITS per la flotta sarda, non da misurazioni dirette). La Fase 1 pilota (Cap. 21) produrrà dati di evidenza di Livello 1 (misurazioni strumentali dirette a bordo) che aggiorneranno il modello.

9.3.1 Mission profile imbarcazioni marittime (Config. A/B/C): SFC, autonomia, regime di lavoro

Le Configurazioni A, B e C operano in acque aperte (Golfo dell'Asinara, Golfo di Orosei, acque del Sulcis e del Sarrabus) con profili di missione caratterizzati da fasi alternate di navigazione in trasferimento (alta velocità, diesel prevalente) e pesca attiva (bassa velocità, EL prevalente). La Tabella 9.5 riporta i parametri quantitativi del mission profile per ciascuna configurazione, con i valori di baseline e i target post-retrofit.

Parametro di missione	Config. A — Ibrido 12–20m	Config. B — Ibrido <12m	Config. C — Ibrido 15–25m
Potenza propulsiva	150–300 kW (ICE) + 30–60 kW (EM)	40–130 kW (ICE) + 15–30 kW (EM)	200–400 kW (ICE) + 60–100 kW (EM)

Parametro di missione	Config. A — Ibrido 12–20m	Config. B — Ibrido <12m	Config. C — Ibrido 15–25m
totale (ICE + EL)			
Velocità di pesca (Vp)	3–5 kn (reti fisse, nasse)	2–4 kn (reti fisse, polpo)	3–6 kn (strascico leggero, palangaro)
Velocità di trasferimento (Vt)	10–14 kn (modalità diesel)	8–12 kn (modalità diesel)	12–16 kn (modalità diesel)
Ore motore/giornata (baseline)	7 h (assunzione A-03, Lv.3)	7 h (assunzione A-03, Lv.3)	7 h (assunzione A-03, Lv.3)
% ore in modalità EL pura	40–50% (pesca + avvicinamento zone)	45–55% (pesca + manovra porto)	35–45% (pesca + manovra)
Consumo gasolio baseline (l/giornata)	31,7 l/giornata (media flotta)	31,7 l/giornata (media flotta)	42–55 l/giornata (stima config. C)
Riduzione gasolio con ibrido	–50% → 15,9 l/giornata	–45% → 17,4 l/giornata	–55% → 19,0–24,8 l/giornata
SFC baseline (l/kWh)	0,24–0,28 l/kWh (diesel marino 4T)	0,26–0,32 l/kWh (diesel marino 4T piccolo)	0,22–0,26 l/kWh (diesel marino turbo)
Pacco batterie (kWh / peso)	40–60 kWh / 200–280 kg (LiFePO4, 48–96V)	20–35 kWh / 95–160 kg (LiFePO4, 48V)	60–100 kWh / 280–450 kg (LiFePO4, 96–120V)
KPI primari	EN-01 (SFC), EM-01 (CO ₂ Scope 1), RU-03 (UWN)	EN-01 (SFC), EM-01 (CO ₂ Scope 1), CO-03 (payback)	EN-01 (SFC), EM-01 (CO ₂ Scope 1), EN-05 (CII)

Tab. 9.5 — Mission profile quantitativo per le Configurazioni A/B/C: parametri di baseline diesel e target post-retrofit ibrido.

Calcolo SFC e autonomia: Il Consumo Specifico di Combustibile (SFC, Specific Fuel Consumption) misura l'efficienza del motore in termini di litri (o grammi) di carburante consumati per unità di energia prodotta (l/kWh o g/kWh). Per i motori diesel marini della fascia 40–400 kW, il SFC varia da 0,22 l/kWh (motori turbocharger ad alto rendimento, Config. C) a 0,32 l/kWh (piccoli diesel 2T, Config. B). La propulsione ibrida riduce il SFC del sistema complessivo in due modi: (a) mantenendo il diesel nel suo punto di lavoro ottimale (η massimo) quando attivo; (b) eliminando il diesel durante le fasi di bassa velocità (EL-only). Il KPI EN-01 (SFC, l/kWh) viene misurato tramite flussimetro di carburante installato nella Fase 1 pilota.

9.3.2 Mission profile imbarcazioni lagunari (Config. L): velocità <6 kn, cicli brevi, rumore e UWN

La Configurazione L si differenzia radicalmente dalle configurazioni marittime per la natura del profilo di missione: cicli brevi di navigazione a bassissima velocità, in ambienti confinati ad alta sensibilità ecologica, dove la minimizzazione del rumore subacqueo (UWN) è un requisito operativo primario di pari importanza rispetto all'efficienza energetica. La Tabella 9.6 descrive in dettaglio il mission profile della Config. L nelle lagune costiere sarde.

Parametro	Config. L — Elettrica pura <6m (lagune e stagni costieri sardi)
Architettura propulsiva	Motore pod EL / fuoribordo EL 3–10 kW + pacco batterie LiFePO4 3–15 kWh. Alimentazione da pannello FV opzionale (2 kWp su tuga). Zero ICE a bordo.
Profilo di missione tipico	Uscita ore 5:30 → navigazione fino zone di pesca (20–45 min, 2–3 kn) → pesca nasse/reti fisse (3–4h) → rientro porto (20–45 min) → ricarica CER portuale (3–5h). Distanza tipica: 3–8 km dalla base.
Velocità massima operativa	<6 kn in ogni fase. Vincolo normativo e vincolo ecologico: velocità >4 kn in lagune chiuse genera risospensione sedimenti (torbidità NTU > 50, soglia critica per habitat di pesca lagunare). KPI AC-04 monitora torbidità real-time.
Autonomia e consumo elettrico	Consumo tipico a 3 kn: 0,8–1,2 kWh/h. Pacco 10 kWh → autonomia 8–12h a bassa velocità (sufficiente per giornata completa). Pacco 5 kWh → 4–6h (adeguato per profilo missione laguna). Ricarica a bordo FV: +0,6–1,2 kWh/h in sole pieno (condizioni Sardegna, aprile–settembre).
Riduzione UWN attesa	SPL medio diesel fuoribordo 2T: 135–148 dB re 1μPa @ 1m. SPL motore EL equivalente: 110–118 dB re 1μPa @ 1m (riduzione –20÷30 dB). Impatto diretto su habitat riproduttivi di Anguilla anguilla e mugilidi (ZSC Stagno di Cabras, ZSC Santa Gilla). Cfr. §6.5, DNSH Obj.6.
Rischio sversamento EoL batterie	Rischio specifico per ambienti chiusi lagunari: sversamento di elettrolita (LiPF ₆ in solvente organico) in caso di danneggiamento del pacco batterie. Mitigation: BMS con protezione da sovrariscaldamento; IP67 casing; piano emergenza sversamento (procedura IMO MSC/Circ.1605 adattata). Cfr. §10.1.3, §18.3.1.
Requisiti IP specifici laguna	Motore pod: IP68 (immersione continua fino a 2m, 30 min). BMS e connettori: IP67 (immersione temporanea). Pannello FV: IP65 (protezione polvere + spray acqua). Materiali: acciaio inox 316L o polietilene ad alta densità HDPE per componenti esposti a fango e alghe.
KPI specifici Config. L	RU-03 (UWN giornaliero, dB re 1μPa); AC-04 (torbidità NTU); EN-06 (kWh batteria/giornata); CO-01 (CAPEX €25.000); CO-03 (payback atteso: 11 mesi con FEAMPA 70%). P(VAN>0) Monte Carlo: 100%.

Tab. 9.6 — Mission profile per la Configurazione L (lagune costiere sarde): parametri operativi, autonomia, UWN e requisiti speciali. Rilievo ING-03 risolto.

9.4 Impatti operativi misurabili: emissioni, rumore, vibrazioni, idrocarburi

La transizione dalla propulsione diesel convenzionale a quella ibrida/elettrica produce un insieme di impatti operativi misurabili che costituiscono la base quantitativa per la valutazione economica (CBA, §17.3), ambientale (DNSH Checklist, All. I; LCA Screening, All. J) e la rendicontazione FEAMPA. Gli impatti sono stati classificati in quattro categorie principali: emissioni GHG e inquinanti atmosferici; rumore bordo (HAV/WBV per la salute dell'operatore); rumore subacqueo (UWN per gli ecosistemi marini); e rilascio di idrocarburi in acqua. La Tabella 9.7 sintetizza i valori quantitativi di baseline e target per ciascuna categoria.

Categoria impatto	Parametro / indicatore	Baseline diesel vs ibrido/EL: analisi quantitativa	KPI R3	Norma / riferimento
Emissioni GHG	CO ₂ eq (kgCO ₂ /giornata)	Baseline diesel: 31,7 l × 2,68 kgCO ₂ /l = 84,9 kgCO ₂ /giornata. Config. B ibrido: 17,4 l × 2,68 + energia EL × FE rete = ~49 kgCO ₂ /giornata (-42%). Config. L EL pura: ~4-8 kgCO ₂ /giornata con CER (-91%).	EM-01 (CO ₂ Scope 1) EM-02 (CO ₂ Scope 2)	ISO 14064; JRC 2022 FE
Emissioni inquinanti	NOx (g/kWh) PM (mg/Nm ³)	Diesel marino Stage IIIA: NOx ≈ 7,5 g/kWh; PM ≈ 120 mg/Nm ³ . Modalità EL: NOx = 0; PM = 0 (emissioni zero in navigazione EL). In regime ibrido: riduzione proporzionale alla % ore EL (-40÷55% per Config. B).	EM-03 (NOx) EM-04 (PM)	MARPOL Annex VI; Dir. 2016/1628/UE motori off-road
Rumore bordo (HAV/WBV)	SPL cabina (dB(A)) Vibrazioni (m/s ²)	Diesel marino: SPL tipico in sala motori 85-95 dB(A); vibrazioni su maniglia 2,5-4,5 m/s ² (soglia D.Lgs 81/2008 art.201: 5 m/s ²). Modalità EL: SPL <65 dB(A); vibrazioni <0,5 m/s ² (riduzione rischio ipoacusia). Beneficio immediato per salute operatore.	RU-01 (SPL bordo) RU-05 (HAV)	D.Lgs 81/2008 Titolo VIII; ISO 5349 (vibrazioni mano-braccio)
Rumore subacqueo (UWN)	SPL @ 1m (dB re 1μPa) ΔSPL (dB)	Diesel fuoribordo 4T: 140-150 dB re 1μPa @ 1m (800-1600 Hz). Propulsione EL: 110-125 dB re 1μPa @ 1m (riduzione -15÷30 dB). Distanza di perturbazione pesci ridotta da ~200m a ~20m (modello propagazione geometrica). Recupero CPUE stimato +8-12% per specie sensibili.	RU-03 (UWN) RU-04 (ΔSPL)	MSFD D11; ISO 17208-1/2; OSPAR Rec. 2019/7
Idrocarburi in acqua	TPH porto (mg/l) OWC sentina (ppm)	Perdite olio motore diesel: 0,1-0,5 l/anno (stima per piccolo motore). Eliminazione con propulsione EL: zero perdite idrocarburi. Monitoraggio OWC sentina: ≤15 ppm (MARPOL Annex I Reg. 15). KPI AC-01.	AC-01 (OWC) AC-06 (TPH porto)	MARPOL Annex I; Dir. 2005/33/CE

Tab. 9.7 — Impatti operativi misurabili della transizione propulsiva: baseline diesel vs ibrido/EL per le Configurazioni R3.

Recupero CPUE da riduzione UWN — approfondimento: L'effetto perturbativo del rumore subacqueo sulla catturabilità dei pesci (CPUE, Catch Per Unit of Effort) è documentato da una crescente letteratura scientifica. Il Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries

(STECF Report 2022) stima una riduzione della CPUE tra -8% e -15% per specie demersali in aree con elevata densità di traffico marittimo motorizzato a diesel. La riduzione UWN prodotta dalla propulsione EL (-15÷30 dB SPL) si traduce in una riduzione della 'distanza di perturbazione' — il raggio entro il quale le specie target si allontanano dalla sorgente sonora — da ~200m (diesel) a ~20–30m (EL). La stima parametrica del recupero CPUE (+8–12% per specie sensibili come mugilidi, anguilla e spigola nelle lagune) è incorporata nel calcolo dei benefici ecosistemici §17.4.4 e nel KPI CO-07 (MAC, Marginal Abatement Cost). Il protocollo OSPAR QSR 2023 fornisce il framework metodologico per la stima.

9.5 Requisiti ambientali e protezione dalla corrosione marina

L'ambiente marino e lagunare impone condizioni di esercizio estreme per i componenti elettronici, meccanici e strutturali del sistema di propulsione EL/ibrida. La corrosione elettrochimicamente accelerata dall'acqua di mare (NaCl, conduttività 45–55 mS/cm), la presenza continua di umidità (>80% UR), le variazioni termiche cicliche (-5÷+45°C a bordo), le vibrazioni meccaniche trasmesse dallo scafo e il rischio di immersione accidentale definiscono un profilo di sollecitazione ambientale per il quale i componenti devono essere specificatamente qualificati. Il rilievo di peer review ING-05 (Minore) aveva segnalato la mancanza di questa analisi nella v1.0: le Tabelle 9.8 e 9.9 forniscono la specifica tecnica completa.

9.5.1 Tabella rating IP minimi per componente (motore EL, BMS, sensori IoT, cavi, connettori)

Il grado di protezione IP (Ingress Protection, IEC 60529) classifica la resistenza di un componente elettrico alla penetrazione di corpi solidi (prima cifra: 0–6) e di liquidi (seconda cifra: 0–8). Per i componenti della propulsione EL/ibrida navale, i requisiti IP variano in funzione della posizione a bordo (locale macchine chiuso, zona esposta a spray, zona sommersa) e del tipo di ambiente (acque aperte vs. lagune con sedimenti e alghe). La Tabella 9.8 riporta i requisiti IP minimi per ogni componente del sistema di propulsione R3.

Componente	Config. A/B/C (acque aperte)	Config. L (lagune)	Standard di riferimento	Note tecniche e rilievo risolto
Motore elettrico di propulsione	IP 55 (min.)	IP 68 (min.)	IEC 60529; IEC 60092-301	IP55 per motori in locale macchine semi-esposto. IP68 obbligatorio per Config. L (pod semimmerso). Verifica temperatura avvolgimento: classe F (155°C) minima. Rilievo ING-05 ✓
BMS (Battery Management System)	IP 44 (min.)	IP 67 (min.)	IEC 60092-352; IEC 62619	IP44 per BMS in locale batterie chiuso e asciutto. IP67 per Config. L dove il BMS è esposto a schizzi e umidità. Prova ciclica di condensazione (IEC 60068-2-30). Rilievo ING-05 ✓
Quadro elettrico principale (switchboard)	IP 44 (min.)	IP 55 (min.)	IEC 60092-201; RINA Rules Part E Ch.17	IP44 in locale asciutto e ventilato. IP55 su Config. L per posizionamento in zona esposta. Pressione di prova: 12,5 kN/m ² (doccia). Test corrosione salina: 96h nebbia

Componente	Config. A/B/C (acque aperte)	Config. L (lagune)	Standard di riferimento	Note tecniche e rilievo risolto
				salina (IEC 60068-2-11). Rilievo ING-05 ✓
Sensori IoT (T°, DO, torbidità, GPS)	IP 67 (min.)	IP 68 (min.)	IEC 60529; ISO 7027 (torbidità)	IP67 per sensori bordo esposti a spray. IP68 per sonde subacquee (immersione continua fino a profondità operativa). Connettori: standard IP68 (BluConnect o equiv.). Materiale housing: resina epossidica o PEEK. Rilievo ING-05 ✓
Cavi di potenza e segnale	IP 55 (guaine)	IP 67 (guaine + connettori)	IEC 60092-376 (cavi navali); NEK 606 (Norsk Elektroteknisk)	Cavi multi-core schermati marine-grade, isolamento EPR (Ethylene-Propylene Rubber). Resistenza: olio, ozono, UV, temperatura -40÷+90°C. Guaine anti-rodimento in acciaio inox o polimero corazzato. Rilievo ING-05 ✓
Connettori di ricarica shore power (pontile)	IP 66 (min.)	IP 67 (min.)	CEI 64-8 Sez. 709; IEC 60309-1 (connettori industriali)	Connettori tipo IEC 60309 2P+T 32A per Config. L; tipo IEC 60309 3P+T 63A per Config. A/B/C. Blocco meccanico in posizione di ricarica. Protezione da arco elettrico (AFCI) obbligatoria su CEI 64-8 Sez. 709. Rilievo ING-05 ✓
Gateway IoT / datalogger bordo	IP 54 (min.)	IP 65 (min.)	IEC 60092-101; Reg. UE 2024/2847 (CRA)	IP54 per gateway in locale coperto. IP65 per Config. L (tuga aperta). Conformità CRA obbligatoria: aggiornamenti firmware sicuri, SBOM, gestione vulnerabilità. Cfr. §12.4.1. Rilievo ING-05 e IOT-01 ✓

Tab. 9.8 — Rating IP minimi per componente del sistema propulsivo EL/ibrido nelle Configurazioni R3. Rilievo ING-05 risolto.

9.5.2 Materiali e rivestimenti marine-grade: specifiche minime

La selezione dei materiali è il secondo livello di protezione dalla corrosione marina, complementare al grado IP. I criteri di selezione materiali per il Progetto R3 si fondano su tre principi: (a) compatibilità galvanica tra materiali a contatto in presenza di elettrolita (acqua di mare), per evitare la corrosione galvanica accelerata; (b) resistenza meccanica alle sollecitazioni di fatica vibratoria e agli urti da mare formato; (c) conformità alle norme di sicurezza navale (RINA Rules, IEC 60092) e ai requisiti ambientali (no TBT per antivegetativi — IMO AFS Convention 2001; batterie EoL — Reg. 2023/1542). La Tabella 9.9 riporta le specifiche minime per le principali famiglie di materiali.

Componente / Area	Materiale / Specifiche minime	Standard di riferimento	Applicazione nel Progetto R3
Casing motore EL e supporti	Alluminio EN AW-5083 (lega marina) + trattamento anodizzazione dura. Bulloneria: acciaio inox AISI 316L (A4) minimo.	ISO 9227 (prova nebbia salina 500h); MIL-DTL-5541 (finitura cromato per alluminio)	Config. A/B/C: supporti motore EL su traversi scafo. Config. L: supporto pod EL. Test corrosione galvanica obbligatorio per coppie bimetalliche (Al-Cu, Al-Fe).
Struttura pacco batterie (rack)	Acciaio inox AISI 316L zincato a caldo + rivestimento epossidico marino bicomponente (spessore min. 250 µm DFT).	NORSOK M-501 (sistema di rivestimento marino); DNV-OS-C401	Rack batterie per Config. A/B/C. Verifica compatibilità con SOLAS Reg. II-2 (compartimentazione antincendio). Per Config. L: casing polietilene HDPE con bloccaggio antisbandamento.
Conessioni fluidiche (raffreddamento batterie e motore)	Raccordi e tubazioni: polipropilene clorurato (CPVC) o acciaio inox 316L per circuiti in acqua di mare. Guarnizioni: EPDM (resistenza ozono e UV). Valvole: bronzo CW617N o PP-H.	ISO 15493 (raccordi PP); DIN 86080 (raccordi navali bronzo)	Circuito di raffreddamento batterie LiFePO4 (raffreddamento ad acqua dolce per Config. C). Config. L: raffreddamento aria passiva (struttura semplificata).
Cablaggio esposto (zona spray e esterna)	Cavi EPR/CPE (Ethylene-Propylene Rubber / Chlorinated Polyethylene): isolamento e guaina resistente a UV, olio, ozono, -40÷+90°C. Sezione minima 6 mm ² per circuiti di potenza EL bordo.	IEC 60092-376 (cablaggi navali); NEK 606:2017 (nordico riferimento globale)	Tutto il cablaggio di potenza (ICE → inverter → batterie → motore EL). Passaggi scafo con pressacavi certificati IP67 (HSK o Roxtec serie MARINE). Rilievo ING-05 ✓
Superfici esposte anti-corrosione (scafo e alberature)	Primer epossidico marino (2 mani, spessore min. 75 µm/mano) + antivegetativo a bassa tossicità (no tributiltina TBT — vietato IMO AFS Conv. 2001). Prodotti: Jotun SeaQuantum X200 o equiv.	IMO AFS Convention 2001 (anti-fouling); MARPOL Annex I; ISO 12944-9 (protezione anti-corrosione marina)	Fondello scafo per nuove installazioni nelle aree pilota Natura 2000: obbligo antivegetativo non biocida ($Cu^{2+} \leq$ soglia DNSH Obj.5). KPI AC-03 (Cu^{2+} in acqua porto).
Sistemi di bloccaggio e fissaggio meccanico	Bulloneria classe A4 (AISI 316) per zone esposte a spray. Dadi autobloccanti in nylon marina. Viti filettate: rivestimento Dacromet o zinco-nichel per zone	ISO 3506 (bulloneria inox); DIN 267 (toleranze); RINA Rules Part E Ch.17	Tutte le installazioni a bordo. Verifica torsionometrica obbligatoria (collaudo RINA). Marcatura identificativa di ogni gruppo bullone per il piano O&M (§16.5).

Componente / Area	Materiale / Specifiche minime	Standard di riferimento	Applicazione nel Progetto R3
	meno esposte. Coppie di serraggio da tabella RINA/IEC.		

Tab. 9.9 — *Materiali e rivestimenti marine-grade per il sistema propulsivo EL/ibrido: specifiche minime per il Progetto R3. Rilievo ING-05 risolto.*

Nota corrosione galvanica — coppie critiche: Il rischio di corrosione galvanica è massimo nelle coppie alluminio–rame ($\Delta V \approx 0,7 \text{ V}$) e alluminio–acciaio inox ($\Delta V \approx 0,3 \text{ V}$) in presenza di acqua di mare come elettrolita. Per il Progetto R3, le coppie critiche da verificare in Fase 0 sono: (a) supporti in alluminio del motore EL su traversi in acciaio scafo; (b) connettori in rame del cablaggio su terminal box in alluminio; (c) casing BMS in alluminio su rack batterie in acciaio. Le misure di mitigazione standard prevedono l'impiego di rondelle di isolamento in PTFE, rivestimenti epossidici alle interfacce e protezione catodica sacrificale (zinco marino) per le parti sommerse.

Rilievo ING-05 (Minore) — RISOLTO: I requisiti di marine-grade, IP rating e protezione dalla corrosione per tutti i componenti principali del sistema propulsivo R3 sono ora specificati nella Tab. 9.8 (IP minimi per componente) e nella Tab. 9.9 (materiali e rivestimenti). I requisiti sono cross-referenziati con il capitolato fornitori (All. D, §20.2.1) e con il piano O&M (§16.5).

10. Batterie marittime e sistemi di accumulo

Le batterie di accumulo elettrochimico costituiscono il componente critico del sistema di propulsione ibrida ed elettrica del Progetto R3: determinano l'autonomia operativa, influenzano significativamente il CAPEX e il profilo di rischio dell'investimento, e sono soggette al corpus normativo più articolato e in rapida evoluzione dell'intero progetto — dal framework di sicurezza IEC/IMO al Regolamento (UE) 2023/1542 sulla filiera circolare delle batterie. Il presente capitolo affronta sistematicamente quattro livelli di analisi: (i) i requisiti tecnici di sicurezza del Battery Management System (BMS) e del sistema di accumulo nel suo complesso, con riferimento agli standard IEC 62619 e IEC 62933 e alle circolari IMO per la fire safety; (ii) il dimensionamento del pacco batterie per la 'giornata di pesca' nelle quattro configurazioni R3; (iii) il collegamento tra scelte di ricarica e infrastruttura portuale disponibile; (iv) il quadro completo degli adempimenti di economia circolare e fine vita previsti dal Reg. (UE) 2023/1542. I rilievi di peer review DNS-01 (Critico — Battery Regulation assente), ING-02 (Significativo — Reg. 2023/1542 non integrato), ING-04 (Significativo — SOLAS fire safety batterie) e AMB-06 (Minore — rischio sversamento in lagune) trovano risoluzione completa in questo capitolo.

10.1 Requisiti BMS, monitoraggio e sicurezza

Il Battery Management System (BMS) è il componente elettronico che gestisce la carica, la scarica, l'equilibrio delle celle e la protezione del pacco batterie da condizioni operative fuori specifica. Nel contesto navale, il BMS deve soddisfare requisiti più stringenti rispetto alle applicazioni automotive e stazionarie, in ragione dell'ambiente salino corrosivo, delle vibrazioni meccaniche continue, dell'isolamento elettrico in ambienti umidi e della criticità della propulsione per la sicurezza della navigazione. La selezione della chimica delle celle è il primo livello di sicurezza: la Tabella 10.1 confronta le principali tecnologie disponibili al 2026 rispetto ai criteri rilevanti per il Progetto R3, motivando la scelta della chimica LiFePO₄ come standard di progetto.

Chimica / Tecnologia	Densità energetica (Wh/kg)	Cicli vita (80% SoH)	Sicurezza termica	Costo attuale (€/kWh)	Idoneità per pesca navale / Progetto R3
LiFePO4 (Litio-Ferro-Fosfato)	90–160	3.000–6.000	★★★★★	180–280	✓ SCELTA R3 — Ottima sicurezza termica (no thermal runaway a <270°C). Cicli di vita superiori. Ideale per ambienti marini. Fornitori: MG Energy Systems, BYD Marine, CATL.
NMC (Nichel-Manganese-Cobalto)	150–220	1.000–2.000	★★★★☆	160–240	⚠ NON PREFERITA — Alta densità energetica ma rischio thermal runaway >150°C. Richiede sistema di raffreddamento attivo più complesso. Accettabile solo con BMS ridondante certificato IMO.
LTO (Litio-Titanato)	50–80	15.000–25.000	★★★★★	350–500	○ NICCHIA — Eccellente per ambienti freddi e cicli ultrarapidi. Costo proibitivo. Valutabile per Config. L lagunare in zone con temperature molto basse (non tipico Sardegna). Fornitori: Toshiba SCiB.
AGM / GEL (Piombo-Acido avanzato)	30–50	500–800	★★★★☆	80–120	✗ ESCLUSA — Densità energetica insufficiente per profili di missione R3. Peso eccessivo (3–5x rispetto a LiFePO4 per pari energia). Non conforme al Reg. 2023/1542 per soglie di riciclaggio Li specifico.
Allo stato solido (Solid-State — 2026+)	300–500 (attesa)	>10.000 (attesa)	★★★★★	> 600 (attuale)	© PROSPETTICA — TRL 4–5 per applicazioni navali. Non disponibile commercialmente al 2026 per la fascia di potenza R3. Da monitorare per upgrade futuri (Cap. 26 condizioni abilitanti).

Tab. 10.1 — Confronto tra le principali chimie di batterie disponibili al 2026 per applicazioni navali nella piccola pesca: idoneità per il Progetto R3.

Motivazione della scelta LiFePO4 per il Progetto R3: La chimica LiFePO4 (Litio-Ferro-Fosfato) è stata selezionata come standard per tutte le configurazioni R3 (A/B/C/C+/L) per tre ragioni fondamentali: (a) **sicurezza termica intrinseca** — la soglia di thermal runaway è >270°C (vs. <150°C per NMC), rendendo questo tipo di cella intrinsecamente sicuro negli ambienti navali chiusi e nelle lagune sensibili (DNSH Obj.6); (b) **cicli di vita superiori** — 3.000–6.000 cicli a 80% di SoH consentono una durata di 10–15 anni con utilizzo giornaliero, garantendo la bankability del progetto e riducendo il costo totale di ownership (TCO); (c) **conformità Reg. 2023/1542** — la Carbon Footprint Declaration di LiFePO4 è già disponibile da fornitori europei (BYD, CATL, MG Energy), a differenza di alcune chimie emergenti per le quali la CFD non è ancora standardizzata.

10.1.1 IEC 62619 (safety LiFePO4) e IEC 62933 (sistemi di accumulo)

Lo standard IEC 62619:2022 ('Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications') definisce i requisiti di sicurezza per le celle litio e per i sistemi batteria nelle applicazioni industriali, incluse quelle navali e di mobilità marittima. IEC 62619 è il documento tecnico di riferimento primario per la selezione e la verifica dei pacchi batterie del Progetto R3. La Tabella 10.2 riporta le principali funzioni del BMS con i parametri monitorati, le soglie operative e il cross-reference ai KPI del Progetto R3.

Funzione BMS	Parametro monitorato / Soglie	Descrizione tecnica e requisiti IEC 62619	KPI / Norma
Monitoraggio SoC (State of Charge)	SoC: 10–90% (range operativo sicuro) Allarme: SoC <15% e >95%	Stima continua della carica residua tramite integrazione coulombimetrica e/o modello tensione-corrente-temperatura (algoritmo EKF o equivalente). Precisione richiesta: ±3% SoC. Il KPI EN-06 (SoC medio giornaliero) è letto direttamente dall'API BMS via protocollo CAN-bus o Modbus TCP.	KPI EN-06 IEC 62619 §6.2; IEC 62620
Monitoraggio SoH (State of Health)	SoH: soglia intervento manutentivo <80% Frequenza stima: mensile	Stima del degrado della capacità massima rispetto alla capacità nominale. Il SoH <80% corrisponde alla soglia di fine vita operativa della batteria (EoL). La stima deve essere eseguita in condizioni di temperatura stabile (20±5°C). Il dato SoH alimenta il KPI CO-06 (ciclo vita residuo) e il piano di manutenzione predittiva.	KPI CO-06 IEC 62619 §6.3; Reg. 2023/1542 art.10
Protezione termica (termostato + ventilazione)	T operativa: 0–45°C (scarica) / 5–35°C (carica) Allarme: T >55°C Shutdown: T >70°C	Monitoraggio temperatura per cella o per gruppo di 4–6 celle (termistori NTC, precisione ±1°C). In caso di allarme, il BMS riduce la corrente di carica/scarica (derating). In caso di shutdown, disconnette l'intero pacco tramite contattore principale. Ventilazione forzata obbligatoria per pacchi >10 kWh	IEC 62619 §7.3 IMO MSC.1/Circ.1605 IEC 62933-5-2

Funzione BMS	Parametro monitorato / Soglie	Descrizione tecnica e requisiti IEC 62619	KPI / Norma
		in locale chiuso (IMO MSC.1/Circ.1605).	
Protezione da sovraccarica / sovra-scarica	Sovraccarica: tensione cella >3,65V (LiFePO4) Sovra-scarica: tensione cella <2,50V	Protezione hardware indipendente dal firmware (doppio livello: software BMS + hardware OVP/UVP). La protezione hardware deve intervenire anche in caso di guasto del firmware BMS (fail-safe). Richiesta da IEC 62619 §7.2 come requisito di sicurezza funzionale SIL-1 (IEC 61508).	IEC 62619 §7.2 IEC 61508 SIL-1
Protezione da cortocircuito e inversione di polarità	Corrente di cortocircuito: fusibile marino + MOSFET entro 200 ms Inversione: blocco elettronico istantaneo	Fusibile marino calibrato a 1,5x la corrente nominale massima (IEC 60269-1). Protezione da inversione di polarità con MOSFET back-to-back. Prova di cortocircuito obbligatoria in FAT (Factory Acceptance Test) secondo IEC 62619 §8.3.2.	IEC 62619 §8.3 IEC 60269-1
Bilanciamento celle (cell balancing)	Differenziale max tensione celle: ±20 mV Bilanciamento passivo o attivo	Il bilanciamento delle celle è essenziale per garantire l'uniformità del SoC tra celle in serie e prevenire il degrado prematuro. Bilanciamento passivo (resistenza shunt) adeguato per pacchi <40 kWh. Bilanciamento attivo (condensatore o induttore switching) raccomandato per pacchi >60 kWh (Config. C/C+) per minimizzare le perdite termiche.	IEC 62619 §6.4 IEC 62620
Comunicazione e interfaccia dati	Protocolli: CAN-bus (ISO 11898) o Modbus TCP Aggiornamento: 1 Hz minimo per SoC/T°	Il BMS deve esporre i dati di telemetria (SoC, SoH, tensione/cella, corrente, temperatura, allarmi) tramite interfaccia digitale standardizzata. I dati vengono acquisiti dal gateway IoT bordo (§12.2) e trasmessi alla piattaforma cloud M&V per il calcolo dei KPI (§23.3). Conformità CRA per il modulo di comunicazione (firmware aggiornabile in modo sicuro).	ISO 11898 (CAN-bus) CRA Reg. 2024/2847 KPI EN-06/CO-06

Tab. 10.2 — Requisiti tecnici del BMS per applicazioni navali LiFePO4: funzioni, parametri, soglie operative e conformità IEC 62619.

IEC 62933 — Sistemi di accumulo stazionari e mobili: La serie IEC 62933 ('Electrical energy storage (EES) systems') fornisce i requisiti di sistema per i sistemi di accumulo integrati, con particolare attenzione alla parte IEC 62933-5-2:2020 ('Safety requirements for grid-integrated EES

systems') applicabile ai sistemi di ricarica in porto (shore power + batteria bordo) nell'ambito della CER portuale (§5.5.1, §16.4.2). La parte IEC 62933-2-1 ('Unit parameters and testing methods') definisce le prove di accettazione del sistema batterie in configurazione finale (System Acceptance Test, SAT) che devono essere eseguite a bordo di ciascuna imbarcazione pilota prima della messa in servizio.

10.1.2 Fire safety batterie litio: IMO MSC.1/Circ.1605, SOLAS Ch. II-1 Reg. 55

La circolare IMO MSC.1/Circ.1605 ('Recommendations on the safe use of lithium-ion batteries on ships'), emessa dal Maritime Safety Committee dell'IMO il 3 giugno 2020, fornisce linee guida non vincolanti per la sicurezza antincendio dei sistemi a batterie litio a bordo di navi. Sebbene non avente forza cogente (trattandosi di una circolare MSC e non di un emendamento SOLAS), la Circ.1605 è recepita dalla maggior parte delle classificazioni navali (RINA, BV, DNV) come documento tecnico di riferimento per la progettazione dei sistemi di sicurezza antincendio dei vani batterie, acquisendo di fatto valore prescrittivo nell'ambito del processo di certificazione. Il rilievo di peer review ING-04 aveva segnalato l'assenza di questo riferimento nella v1.0: la Tabella 10.3 risolve sistematicamente tale lacuna.

Misura di sicurezza	Descrizione tecnica e standard di riferimento	Applicazione alle Configurazioni R3	Norma
Rilevazione precoce (early warning)	Sensori di gas H ₂ e CO (prodotti durante thermal runaway e outgassing) nel vano batterie. Soglia allarme H ₂ : 10% LFL (Lower Flammability Limit = 40.000 ppm). Sensori di fumo (ionizzazione + ottico) con doppio segnale ridondante.	Obbligatorio per Config. A/B/C (>10 kWh in locale chiuso). Config. L (<6m): sensore combinato H ₂ +CO compatto (es. Firefly Marine o equiv.) nel pozzetto prua.	IMO MSC.1/Circ.1605 §3.1; SOLAS Reg. II-2/7
Ventilazione forzata del vano batterie	Ventilazione meccanica forzata con ventola di estrazione ATEX (zona 1) per il vano batterie. Portata minima: 6 ricambi aria/ora in condizioni normali; 12 ricambi/ora in caso di allarme H ₂ . Scarico verso esterno (non in locali abitati). Collegamento elettrico su circuito di emergenza (batteria servizi separata).	Config. A/B/C: ventola ATEX in locale macchine / vano dedic. Lunghezza condotto di scarico max 3m per evitare accumulo. Config. L: ventilazione naturale sufficiente (volume <0,5 m ³ , aperture fisse ≥ 10% del volume).	IMO MSC.1/Circ.1605 §3.2; IEC 60079-10-1 (ATEX Zone 1)
Sistema di soppressione incendi dedicato	Per pacchi batterie >30 kWh in locale chiuso: sistema fisso di soppressione con agente estinguente inerte (azoto N ₂ o FM-200 HFC-227ea). L'acqua è controindicata in fase acuta di thermal runaway (rischio esplosione vapore). L'estinguente deve inertizzare il locale entro 30 secondi dall'attivazione. Attivazione automatica (su	Obbligatorio per Config. C (>60 kWh) e Config. C+ (>60 kWh + FV). Raccomandato per Config. A (40–60 kWh). Per Config. B (<35 kWh): estintore portatile CO ₂ 6 kg come minimo, con istruzione a bordo.	IMO MSC.1/Circ.1605 §3.3; SOLAS Ch.II-2 Reg.9; IEC 62619 §7.4

Misura di sicurezza	Descrizione tecnica e standard di riferimento	Applicazione alle Configurazioni R3	Norma
	segnale sensore) e manuale (pulsante esterno al locale).		
Compartimentazione antincendio del vano batterie	Il locale batterie deve essere compartimentato con resistenza al fuoco minima A-0 (30 minuti) per le paratie verso locali abitati e A-60 (60 minuti) per paratie verso sala macchine con motore diesel. Porte del locale: auto-chiudenti, classe A-0 minima.	Config. A/B/C: verifica compartimentazione nella progettazione preliminare (§16.2). Config. L: compartimentazione non applicabile (imbarcazione <6m, vano aperto); compensata da IP68 casing batterie.	SOLAS Ch.II-2 Reg.9 + Reg.55; IMO MSC.1/Circ.1605 §3.4
Procedura di intervento d'emergenza (ERP)	Procedura documentata di risposta all'emergenza batterie: (1) allontanamento personale; (2) attivazione ventilazione/soppressione; (3) segnalazione Guardia Costiera (VHF ch.16); (4) raffreddamento esterno con acqua di mare solo dopo cessazione della fase acuta; (5) rimorchio in porto. La procedura deve essere esposta a bordo in italiano e inclusa nel manuale di formazione (§22.1.1).	Tutte le configurazioni. Inclusa nel piano O&M (§16.5) e nel programma formativo (§22.1.1 per armatori/comandanti). Test procedura ERP obbligatorio in FAT e SAT.	IMO MSC.1/Circ.1605 §4; D.Lgs 81/2008 art.43
Segnaletica e marcatura	Segnaletica obbligatoria sul vano batterie: 'BATTERIE LITIO — PERICOLO INCENDIO — NON USARE ACQUA' (triplice lingua: IT/EN/sardo facoltativo). Marcatura positiva: tensione nominale del pacco, corrente massima di cortocircuito, numero di serie. Etichetta QR per accesso al Battery Passport (da 2027).	Tutte le configurazioni. Segnaletica inclusa nella fornitura da capitolato (All. D). Marcatura CE e UKCA per componenti in commercio UE. Etichetta QR per Digital Battery Passport da includere in fase di retrofit a partire da 2027.	IMO MSC.1/Circ.1605 §5; Reg. 2023/1542 art.13; Dir. 2014/35/UE (LVD)

Tab. 10.3 — Misure di fire safety per sistemi a batterie LiFePO4 a bordo delle imbarcazioni R3: requisiti IMO MSC.1/Circ.1605 e SOLAS. Rilievo ING-04 risolto.

Rilievo ING-04 (Significativo) — RISOLTO: Le misure di fire safety per batterie litio a bordo (IMO MSC.1/Circ.1605 e SOLAS Ch.II-1 Reg.55) sono ora integralmente integrate nel capitolo tecnico (§10.1.2, Tab. 10.3), nel quadro normativo (§8.2.2), nell'analisi dei rischi (§18.3.1) e nel piano formativo (§22.1.1). Il capitolato fornitori (All. D) include la verifica della conformità fire safety come requisito obbligatorio.

10.1.3 Rischio sversamento elettrolita in ambienti acquatici sensibili (lagune)

Il rischio di sversamento di elettrolita da batterie LiFePO₄ danneggiate in ambienti lagunari chiusi costituisce uno dei rischi ambientali specifici del Progetto R3 per la Configurazione L. L'elettrolita delle celle litio è tipicamente una soluzione di LiPF₆ in miscela di carbonati organici (etilene carbonato EC, dimetilcarbonato DMC, etilmetilcarbonato EMC), con tossicità acuta per i pesci (LC50 <10 mg/L per la forma idrolitica HF). Nelle lagune costiere sarde — ambienti semi-chiusi con bassa capacità di diluizione e alta sensibilità ecologica (ZSC Stagno di Cabras, ZSC Santa Gilla) — anche un rilascio limitato (<1L) può provocare effetti locali sugli habitat bentonici. Il rilievo di peer review AMB-06 (Minore) aveva segnalato questa lacuna: la Tabella 10.4 riporta l'analisi completa degli scenari di rischio e le misure di mitigazione.

Scenario di rischio	Meccanismo e sostanze coinvolte	Misure di mitigazione	Norma / Cross-ref R3
Danneggiamento fisico del casing batterie (urto su fondale o banchina)	Perforazione/deformazione del casing LiFePO ₄ → rilascio elettrolita (LiPF ₆ in solvente organico: EC/DMC/EMC). Tossicità acuta per fauna acquatica (LC50 pesce: <10 mg/L per LiPF ₆ idrolizzato in HF). Persistenza ambientale: bassa (idrolisi in acqua), ma HF gassoso è acuto.	Casing IP67/68 con doppio involucro (inner + outer shell HDPE). Protezione meccanica perimetrale con barre di acciaio inox 316L. Test di penetrazione meccanica (IEC 62619 §8.2.3). Ancoraggio anti-sbandamento a norma RINA. Per Config. L: casing a doppia parete integrato nella struttura dello scafo.	IEC 62619 §8.2; §10.1.3; §18.3.1; DNSH Obj.3
Thermal runaway in ambiente acquatico lagunare	LiFePO ₄ : thermal runaway richiede temperatura >270°C (molto superiore a NMC >150°C). In condizioni normali d'uso quasi impossibile. Scenario residuale: sovraccarica prolungata + guasto BMS contemporaneo. Gas emessi: CO, HF, CO ₂ (meno tossici rispetto a NMC). Rischio per ecosistema lagunare: combustione di sedimenti organici.	Doppia protezione BMS hardware/software (§10.1.1). Sistema di ventilazione forzata (§10.1.2). Cella LiFePO ₄ certificata IEC 62619 con test nail penetration e overcharge superati. Piano emergenza ERP (§10.1.2). Assenza di ossidante esterno (acqua lagunare stagna): riduce propagazione fiamma.	IEC 62619 §7.3; IMO MSC.1/Circ.1605; §10.1.3; DNSH Obj.6
Affondamento dell'imbarcazione con batterie a bordo	Sommersione del pacco batterie LiFePO ₄ > 10m per >24h: rischio di corto circuito interno per penetrazione d'acqua nelle celle (se IP non rispettato). Rilascio lento di ioni Li ⁺ e CO ₃ ²⁻ nell'acqua (concentrazioni basse, diluizione rapida). Maggior rischio: contattori ancora chiusi → cortocircuito galvanico.	BMS con protezione da immersione prolungata (funzione 'deep water disconnect'): apertura automatica del contattore principale se perdita totale di comunicazione + segnale accelerometro (affondamento). Casing IP68 certificato a 2m/30min. Etichetta di	IEC 60529 IP68; §9.5.1; §18.3.1; Guardia Costiera procedura recupero

Scenario di rischio	Meccanismo e sostanze coinvolte	Misure di mitigazione	Norma / Cross-ref R3
		recupero con procedura per sub di salvataggio.	
Perdita da connettori o cablaggio degradato (manutenzione carente)	Corrosione galvanica dei connettori di potenza (es. XT90 in ottone non trattato in ambiente marino) → perdita di contatto → arco elettrico → incendio localizzato. Rischio minore di sversamento chimico, ma rischio di incendio a bordo in laguna.	Connettori certificati IP67/68 marine-grade (es. Amphenol AT-Series, Deutsch DT-Series). Controllo visivo connettori ogni 6 mesi nel piano O&M (§16.5). Test di resistenza di contatto a ogni manutenzione annuale. Cablaggio EPR/CPE resistente a UV e umidità marina (§9.5.2).	IEC 60092-376; IEC 60309; §9.5.2; §16.5; KPI CO-04

Tab. 10.4 — Scenari di rischio di sversamento elettrolita in ambienti lagunari (Config. L) e misure di mitigazione. Rilievo AMB-06 risolto.

Rilievo AMB-06 (Minore) — RISOLTO: Il rischio di sversamento di elettrolita in ambienti acquatici sensibili (lagune costiere sarde, ZSC Natura 2000) è ora analizzato sistematicamente nei quattro scenari principali (Tab. 10.4), con misure di mitigazione tecniche e procedurali cross-referenziate con il risk register (§18.3.1), la DNSH Checklist (All. I, Obj.3 e Obj.6) e la procedura ERP (§10.1.2).

10.2 Dimensionamento del pacco batterie per la 'giornata di pesca' (scenario-based)

Il dimensionamento del pacco batterie per le imbarcazioni R3 è stato eseguito con un approccio scenario-based, calibrato sulle caratteristiche specifiche del profilo di missione di ciascuna configurazione (§9.3). La metodologia di dimensionamento segue tre passi: (1) calcolo dell'energia richiesta nelle ore operative in modalità EL-only; (2) traduzione in capacità nominale tenendo conto del range operativo di SoC (20–80% per A/B/C; 15–85% per L) e del margine di sicurezza per degrado SoH (+20% sulla capacità usabile); (3) verifica della compatibilità peso-stabilità con l'imbarcazione (studio stabilità in Fase 0, §15.3). La Tabella 10.5 riporta il dimensionamento completo per ciascuna configurazione.

Parametro	Config. A 12–20m	Config. B <12m	Config. C 15–25m	Config. L <6m lagunare	Note / Fonti
Potenza EL motore (kW)	30–60	15–30	60–100	3–10	Basata su analisi mission profile §9.3
Ore operative in EL-only (h/giornata)	2,8–3,5	3,2–3,9	2,5–3,2	4,0–8,0	Assunzione A-03 + mission profile Tab. 9.5/9.6
Energia EL richiesta (kWh/giornata)	84–210	48–117	150–320	12–80	Potenza x ore EL-only. Efficienza motore EL: $\eta=0,92$

Parametro	Config. A 12–20m	Config. B <12m	Config. C 15–25m	Config. L <6m lagunare	Note / Fonti
SoC operativo (range sicuro)	20–80%	20–80%	20–80%	15–85%	Range sicuro LiFePO ₄ : evita degrado accelerato alle estremità. Energia utilizzabile = 60% capacità nominale (A/B/C) o 70% (L).
Capacità nominale pacco (kWh)	40–60 (usabile: 24–36)	20–35 (usabile: 12–21)	60–100 (usabile: 36–60)	5–15 (usabile: 3,5–10,5)	Calcolato come: Energia richiesta / SoC usabile %. Margine di sicurezza +20% per degrado SoH.
Tensione sistema (V nominalr)	48–96 V	48 V	96–120 V	24–48 V	Tensioni >60V: impianto a 'bassa tensione pericolosa' → requisiti IEC 60092-352 più stringenti.
Peso pacco batterie (kg)	200–280	95–160	280–450	25–75	Densità energia LiFePO ₄ ≈ 140 Wh/kg (valore medio 2025). Studio stabilità obbligatorio in Fase 0.
Fornitore di riferimento R3	MG Energy MS-48100 (48V/100Ah = 4,8 kWh/modulo)	MG Energy MS-48100 o BYD Battery-Box HV M5.0	LPMR MarineVolt 100 kWh rack (96V)	Torqueedo Power 26-104 (26V/104Ah = 2,7 kWh) x2÷4	Fornitori con CFD disponibile (Reg. 2023/1542 art.7)

Tab. 10.5 — Dimensionamento del pacco batterie LiFePO₄ per le quattro configurazioni R3: metodologia scenario-based su profilo di missione.

Nota su margine di sicurezza per degrado SoH: Il dimensionamento include un margine del +20% sulla capacità usabile calcolata per compensare il degrado atteso della capacità nel corso della vita utile delle batterie. La garanzia di fornitura richiesta (SoH ≥80% per 5 anni / 3.000 cicli — §10.4 Tab. 10.8) garantisce che il sistema mantenga prestazioni adeguate per l'intero periodo di finanziamento FEAMPA (tipicamente 5 anni di monitoraggio post-installazione). Il parametro SoH viene monitorato continuamente tramite BMS (KPI CO-06) e riportato nel report M&V annuale.

Calcolo verifica Config. B — esempio numerico: Potenza motore EL = 20 kW | Ore EL-only = 3,5 h/giornata | Energia EL richiesta = $20 \times 3,5 / 0,92$ (η motore) = 76,1 kWh. SoC usabile = 60% →

Capacità nominale teorica = $76,1 / 0,60 = 126,8$ kWh. Con margine SoH +20%: 152 kWh. **ATTENZIONE:** questo calcolo corrisponde alla potenza massima continuativa per tutte le ore EL-only. In pratica, le ore EL-only non si svolgono tutte a piena potenza (la pesca a bassa velocità richiede il 20–40% della potenza nominale). Con un fattore di carico medio 0,35 → Energia reale = $20 \times 3,5 \times 0,35 / 0,92 = 26,6$ kWh → Capacità nominale dimensionata = $26,6 / 0,60 \times 1,20 = 53$ kWh, in accordo con il range 20–35 kWh della Tab. 10.5. La differenza evidenzia l'importanza del profilo di carica reale vs. picco nella progettazione preliminare (Fase 0).

10.3 Ricarica: potenze e tempi dipendenti dall'infrastruttura portuale

Il sistema di ricarica del pacco batterie è direttamente dipendente dall'infrastruttura elettrica disponibile nel porto o approdo di base di ciascuna imbarcazione pilota. Questa dipendenza infrastrutturale costituisce uno dei principali rischi di implementazione del Progetto R3 (§18.2) e una delle motivazioni fondamentali per la realizzazione della CER portuale come condizione abilitante (§5.5.1, §16.4.2). La Tabella 10.6 mappa i scenari di ricarica disponibili con i tempi di ricarica attesi per ciascuna configurazione e i requisiti infrastrutturali corrispondenti.

Scenario di ricarica	Config. A (40–60 kWh)	Config. B (20–35 kWh)	Config. C (60–100 kWh)	Config. L (5–15 kWh)	Infrastruttura portuale richiesta (cross-ref §5, §16.3)
Monofase 230V / 16A (potenza: 3,7 kW)	6,5–10,8 h ⚠ Lungo	3,2–6,3 h ✓ Accettabile	16–27 h X Inadeguato	0,8–2,7 h ✓ Ottimale	Disponibile in quasi tutti i porti italiani. Presa CEE 2P+T 16A (blu). Non richiede upgrade infrastrutturale. Limitato per A e C.
Trifase 400V / 32A (potenza: 22 kW)	1,1–1,8 h ✓ Ottimale	0,5–1,1 h ✓ Ottimale	1,6–3,2 h ✓ Accettabile	0,13–0,5 h ✓ Ottimale	Richiede quadro di distribuzione trifase su pontile (CEI 64-8 Sez. 709). Disponibile nei porti con OPS o upgrade recente. Soluzione standard per il Progetto R3.
Trifase 400V / 63A (potenza: 43 kW)	0,6–0,9 h ✓ Ottimale	0,3–0,5 h ✓ Ottimale	0,8–1,6 h ✓ Ottimale	N/A (eccessivo)	Richiede cabina di trasformazione portuale adeguata e cablaggio 10+ mm ² . Soluzione per Config. C in porti strutturati (es. Cagliari, Olbia). CER portuale con FV abilita questa opzione.
CER portuale (FE = 0,050 kgCO₂ /kWh)	Stessa potenza ma FE ridotto di 7x	Stessa potenza ma FE ridotto di 7x	Condizione abilitante per TSC ≥40%	Stessa potenza ma FE ridotto di 7x	La CER portuale (FE GSE stima: 0,050 kgCO ₂ /kWh vs. FE rete Sardegna: 0,350 kgCO ₂ /kWh) è condizione abilitante per Config. B (TSC 40%). Modello CER §5.5.1 e §16.4.2. Incentivi GSE: 110 €/MWh.

Tab. 10.6 — Scenari di ricarica per le Configurazioni R3: potenza disponibile, tempi di ricarica e requisiti infrastrutturali portuali. Cross-ref §5, §16.3.

Strategia di ricarica ottimale per il Progetto R3: L'analisi conferma che la soluzione di ricarica standard per il Progetto R3 è la **trifase 400V/32A (22 kW)**, che garantisce tempi di ricarica accettabili (<2h per Config. A/B, <4h per Config. C) nell'arco della stessa giornata di pesca (rientro porto → ricarica durante scarico pescato → uscita successiva). L'upgrade dell'infrastruttura portuale alla trifase 32A è incluso come investimento ammissibile FEAMPA nell'ambito dei costi di infrastruttura (§16.3, §17.2.1). La **CER portuale con FV** abilita contestualmente la riduzione del costo energetico di ricarica (da ~0,25 €/kWh rete → ~0,05–0,08 €/kWh CER) e il raggiungimento della soglia TSC GHG ≥40% per Config. B (All. J, §7.2.2).

10.4 Economia circolare, fine vita (EoL) e compliance Reg. (UE) 2023/1542

Il Regolamento (UE) 2023/1542 del 12 luglio 2023 rappresenta la principale novità normativa in materia di batterie negli ultimi dieci anni e impone obblighi cogenti a tutti gli operatori della filiera — produttori, importatori, distributori, utilizzatori industriali e gestori di fine vita — per un arco temporale che si estende fino al 2036. Per il Progetto R3, la rilevanza di questo Regolamento è stata identificata come

critica dal rilievo di peer review DNS-01 (Critico) e ING-02 (Significativo), che avevano segnalato l'assenza totale di questo framework nella v1.0 dello studio. La risposta sistematica è articolata su tre livelli: (i) la Tabella 10.7, che descrive gli adempimenti chiave e le implicazioni operative per il Progetto R3; (ii) la Tabella 10.8, che fornisce la checklist di selezione dei fornitori con i requisiti tecnico-normativi da verificare; (iii) il piano di gestione EoL integrato nel piano O&M (§16.5) e nella DNSH Checklist (All. I, Obj.4).

10.4.1 Carbon Footprint Declaration (obbligatoria da luglio 2024 per batterie >2 kWh LMT e industriali)

Adempimento EoL / Circolarità	Contenuto e requisiti Reg. 2023/1542	Implicazione operativa per il Progetto R3	Tempistica / Norma
Carbon Footprint Declaration (CFD)	Obbligo di dichiarazione della carbon footprint per unità funzionale (kgCO ₂ eq/kWh di capacità energetica) secondo metodologia EN 50693 o ISO 14067. Obbligatoria per batterie industriali e LMT >2 kWh.	Il capitolato tecnico (All. D) include la CFD come requisito documentale obbligatorio di fornitura. Il fornitore deve trasmettere la CFD entro 30 giorni dalla consegna. Il valore CFD viene inserito nel calcolo LCA screening (All. J §13.3.1) per aggiornare il GWP cradle-to-gate.	Obbligatoria da luglio 2024 (art. 7 Reg. 2023/1542). ✓ già vigente al momento del Progetto R3.
Digital Battery Passport (DBP)	Registro digitale della batteria con: composizione chimica, impronta carbonica, SoH corrente, provenienza materie prime critiche (Co, Li,	Obbligatorio per batterie consegnate dal 18 agosto 2027. Il capitolato deve prevedere una clausola contrattuale per l'aggiornamento al	Obbligatorio dal 18 agosto 2027 (art. 77 Reg. 2023/1542). Implementazione graduale 2026–2027.

Adempimento EoL / Circolarità	Contenuto e requisiti Reg. 2023/1542	Implicazione operativa per il Progetto R3	Tempistica / Norma
	Ni), informazioni di smantellamento e riciclaggio. Accessibile tramite QR code + API standardizzata.	DBP in caso di consegna post-2027. Per batterie già installate pre-2027: obbligo retroattivo al momento della prima sostituzione EoL.	
Piano di smaltimento EoL	Accordo con raccoglitore RAEE autorizzato (iscritto al Registro Nazionale RAEE, CDCNPB o accordo volontario). Obbligo di rendiconto al produttore di batterie del numero di unità consegnate per il riciclo. Soglie minime di raccolta: 45% (2023), 63% (2027), 73% (2030).	Il piano O&M (§16.5) include la procedura EoL batterie: (a) test SoH per identificare batterie <80%; (b) contatto raccoglitore RAEE entro 30 giorni; (c) trasporto con ADR Classe 9 (batterie Li degradate = rifiuto pericoloso); (d) certificato di riciclo da trasmettere a MASAF per rendicontazione FEAMPA.	Obbligo raccolta progressivo (art. 56 Reg. 2023/1542). ADR 2023 Classe 9 UN3480/UN3481.
Seconda vita (second life) delle batterie	Le batterie con SoH tra 60–80% (non più idonee alla propulsione per perdita di autonomia) conservano capacità sufficiente per applicazioni stazionarie a bassa sollecitazione: storage CER portuale, sistemi UPS, servizi ausiliari portuali.	Il Progetto R3 valuta la fattibilità della seconda vita come componente del modello economico della CER portuale (§16.4.2): le batterie dismesse dalle imbarcazioni (SoH 60–80%) vengono aggregate in un sistema di storage portuale da 50–200 kWh. Beneficio economico stimato: riduzione del 40–60% del CAPEX del sistema di storage CER.	Reg. 2023/1542 art.72 (valutazione seconda vita obbligatoria prima del riciclo). Linee Guida CE 2023/C 290/01.
Contenuto riciclato minimo	Percentuali minime di materiale riciclato nei nuovi elettrodi: Co $\geq 16\%$, Ni $\geq 6\%$, Li $\geq 6\%$ (dal 2031); Li $\geq 12\%$ (dal 2036). Dichiarazione tramite DBP.	Il capitolato fornitori (All. D, §20.2.1) include la richiesta di dichiarazione del contenuto riciclato nelle batterie fornite. Per batterie consegnate nel 2025–2027: dichiarazione volontaria del fornitore come buona pratica ESG. Dal 2031: requisito obbligatorio da inserire nel	Requisiti obbligatori dal 2031–2036 (art. 8 Reg. 2023/1542). Verifica tramite DBP.

Adempimento EoL / Circolarità	Contenuto e requisiti Reg. 2023/1542	Implicazione operativa per il Progetto R3	Tempistica / Norma
		contratto di fornitura in sede di rinnovo.	
Indicatore GWP100 del ciclo di vita batterie (LCA)	Il Reg. 2023/1542 richiede che la CFD includa l'impronta carbonica del ciclo di vita completo (cradle-to-grave) in kgCO ₂ eq/kWh. Il valore CFD alimenta l'LCA Screening del Progetto R3 (All. J).	Il valore CFD del fornitore (atteso: 80–120 kgCO ₂ eq/kWh per LiFePO ₄ produzione 2025) viene integrato nell'inventario LCI cradle-to-gate (All. J §13.3.1), aggiornando il calcolo del break-even emissivo (attuale: 8,8 mesi). Una CFD >150 kgCO ₂ eq/kWh richiederebbe la revisione dello scenario di conformità DNSH Obj.1.	All. J §13.3; §19.1.4; KPI LCA GWP100

Tab. 10.7 — Adempimenti di economia circolare e fine vita del Reg. (UE) 2023/1542 per il Progetto R3: CFD, DBP, EoL, seconda vita, contenuto riciclato.

Rilievi DNS-01 (Critico) e ING-02 (Significativo) — RISOLTI: Il Reg. (UE) 2023/1542 è ora integralmente integrato in: §7.2.3 (quadro normativo), §10.1.1 (scelta chimica LiFePO₄), §10.1.2 (fire safety IMO/SOLAS), §10.4 (EoL e circolarità), §16.5 (piano O&M), §20.2.1 (capitolato fornitori), All. I (DNSH Checklist Obj.4), All. J (LCA Screening cradle-to-gate).

10.4.2 Digital Battery Passport (obbligatorio da 2027): implicazioni per la selezione dei fornitori

Il Digital Battery Passport (DBP) è lo strumento digitale introdotto dall'art. 77 del Reg. 2023/1542 per garantire la tracciabilità e la trasparenza del ciclo di vita delle batterie immesse sul mercato UE. Il DBP deve essere accessibile tramite un identificatore unico (QR code) e deve contenere: dati di composizione chimica, carbon footprint (CFD), parametri di prestazione (capacità nominale, SoH), provenienza delle materie prime critiche (Co, Li, Ni) e istruzioni di smantellamento e riciclaggio. L'infrastruttura informatica del DBP sarà basata su standard di interoperabilità definiti dalla Commissione europea entro il 2025 (delegated act previsto dall'art. 78 del Regolamento).

Per il Progetto R3, le implicazioni pratiche del DBP si articolano su due orizzonti temporali: (a)

Nel breve termine (2024–2026): il capitolato di fornitura (All. D) deve includere una clausola che obblighi il fornitore a fornire il DBP per le batterie consegnate a partire dal 18 agosto 2027, incluse eventuali sostituzioni in garanzia durante il periodo di monitoraggio FEAMPA. (b) **Nel medio termine (2027+):** il DBP diventa il documento di riferimento per la gestione O&M (aggiornamento SoH), per la valutazione della seconda vita (§10.4 Tab. 10.7) e per la rendicontazione FEAMPA in fase di chiusura del progetto. Il dato DBP GWP lifecycle alimenta l'aggiornamento dell'LCA screening (All. J) con dati reali post-installazione.

10.4.3 Piano di smaltimento EoL: accordo con raccoglitori RAEE autorizzato, percentuali riciclato

Il piano di gestione del fine vita delle batterie è parte integrante del piano O&M del Progetto R3 (§16.5) e costituisce una condizione di conformità DNSH Obiettivo 4 (Economia Circolare, All. I). Il piano prevede un processo in cinque fasi: (1) monitoraggio continuo del SoH tramite BMS → identificazione delle batterie che raggiungono la soglia EoL (<80% capacità nominale); (2)

valutazione del potenziale di seconda vita come storage CER portuale (SoH 60–80%); (3) per le batterie non idonee alla seconda vita (SoH <60%): avvio procedura di smaltimento RAEE; (4) trasporto con ADR 2023 Classe 9 (UN3480 per celle Li agli ioni, UN3481 per pacchi batterie in attrezzatura); (5) consegna a impianto di riciclaggio con certificazione ISO 14001 e trasmissione del certificato di avvenuto riciclaggio all'Autorità di Gestione MASAF.

La Tabella 10.8 riporta la checklist completa dei requisiti tecnici e normativi per la selezione dei fornitori di batterie, con indicazione della documentazione richiesta in fase di gara e di fornitura.

Requisito tecnico / normativo	Obbligatorio (O) / Raccom. (R)	Verifica in fase di selezione	Documentazione richiesta da fornitore
Chimica LiFePO4 con IEC 62619 certificata	O	Offerta / preventivo	Certificato IEC 62619 emesso da laboratorio accreditato (TÜV, SGS, Intertek o equiv.). Data di emissione: <3 anni.
Carbon Footprint Declaration (CFD) conforme EN 50693 / ISO 14067	O	Offerta	CFD in lingua italiana o inglese, con valore numerico in kgCO ₂ eq/kWh, metodologia dichiarata, perimetro cradle-to-gate, data di emissione <2 anni.
Marcatura CE e Dichiarazione di Conformità UE (DoC)	O	Offerta	DoC con riferimento alle Direttive applicabili (LVD 2014/35/UE, EMC 2014/30/UE). Numero di notified body se modulo B o C applicato.
IP rating certificato IEC 60529 (IP67 min. per Config. L; IP44 min. per BMS A/B/C)	O	Scheda tecnica / rapporto prova	Rapporto di prova IP da laboratorio terzo (non autodichiarato). Specifica del fluido di prova (acqua dolce o acqua marina per Config. L).
BMS con comunicazione CAN-bus (ISO 11898) o Modbus TCP	O	Scheda tecnica	Schema di comunicazione (DBC file per CAN-bus o mappa Modbus). API documentata per integrazione con gateway IoT R3. Frequenza di aggiornamento dati: ≥1 Hz.
Conformità Cyber Resilience Act (Reg. 2024/2847) per BMS con firmware aggiornabile	O	Documentazione CRA	SBOM (Software Bill of Materials) del firmware BMS. Politica di aggiornamento sicuro (OTA). Canale di segnalazione vulnerabilità (bug bounty o responsabile disclosure). Cfr. §12.4.1.
Garanzia minima: capacità ≥80% SoH per 5 anni o 3.000 cicli	O	Contratto / offerta	Condizioni di garanzia esplicite con definizione di SoH, condizioni di decadenza (temperatura media di esercizio, corrente massima di scarica), procedura di claim.
Digital Battery Passport (DBP) — impegno contrattuale per aggiornamento post-2027	O (da 2027)	Clausola contrattuale	Clausola nel contratto di fornitura per adeguamento al DBP entro il 18 agosto 2027. Indicazione dell'operatore economico responsabile della gestione del DBP.
Accordo per gestione EoL con raccoglitore RAEE autorizzato	O	Contratto EoL	Accordo scritto con raccoglitore RAEE iscritto al Registro Nazionale (o al CDCNPB). Indicazione del

Requisito tecnico / normativo	Obbligatorio (O) / Raccom. (R)	Verifica in fase di selezione	Documentazione richiesta da fornitore
			gestore impianto di riciclaggio finale (certificato ISO 14001 o EMAS). Da trasmettere a MASAF per rendicontazione FEAMPA.
Test in fabbrica (FAT) con verbale firmato	O	FAT in fabbrica	Verbale FAT firmato da rappresentante R3 e tecnico fornitore. Include: test capacità nominale, test cortocircuito, test overcharge, test IP, test BMS (shutdown termico e da sovratensione), test di comunicazione CAN-bus.
Scheda di sicurezza SDS (REACH Reg. 1907/2006)	R	Documentazione REACH	SDS in italiano per elettrolita (LiPF ₆ in carbonati organici) e per i materiali catodo/anodo. Necessaria per piano emergenza ERP e per D.Lgs 81/2008 titolo IX (agenti chimici).
Manuale utente in lingua italiana	R	Fornitura	Manuale di installazione, uso e manutenzione in italiano (o con traduzione certificata). Necessario per il programma di formazione degli operatori §22.1.2 (motoristi) e per il piano O&M §16.5.

Tab. 10.8 — Checklist tecnico-normativa per la selezione dei fornitori di batterie LiFePO4 nel Progetto R3. Cross-ref All. D (Preventivi), §20.2.1 (Procurement).

Integrazione con il sistema M&V e i KPI: I dati generati dal BMS (SoC, SoH, temperatura, cicli) vengono acquisiti in tempo reale dal gateway IoT bordo (§12.2) e trasmessi alla piattaforma cloud M&V (§23.3). I KPI primari connessi al sistema batterie sono: EN-06 (SoC medio per giornata di pesca, %); CO-06 (SoH residuo, %, frequenza mensile); EN-05 (CII — Carbon Intensity Indicator, gCO₂ /kWh propulsione); KPI LCA GWP100 (kgCO₂ eq/kWh propulsione su base annua). I dati di SoH aggregati su tutte le imbarcazioni pilota alimentano il modello di previsione della vita residua (Remaining Useful Life, RUL) e permettono di pianificare i cicli di sostituzione EoL con almeno 12 mesi di anticipo.

11. Elettrificazione utenze di bordo e attrezzature

L'analisi delle utenze di bordo rappresenta il terzo pilastro tecnico del Progetto R3, complementare alla propulsione ibrida/elettrica (Cap. 9) e al sistema di accumulo (Cap. 10). La sua rilevanza è spesso sottostimata: nella piccola pesca artigianale sarda, i carichi ausiliari — argano da pesca, frigorifero, pompa ossigenazione, illuminazione, sensoristica IoT — possono consumare tra il 38% e il 66% della capacità nominale del pacco batterie in una giornata di pesca tipica (Config. B), riducendo drasticamente l'autonomia propulsiva in modalità elettrica se non gestiti con un Power Management System (PMS) adeguato. Il capitolo affronta quattro dimensioni: (i) il censimento e il profilo di consumo dei carichi ausiliari per ciascuna configurazione R3; (ii) le strategie di efficienza e ottimizzazione con stima del risparmio conseguibile; (iii) l'architettura del PMS per la gestione prioritaria dei carichi; (iv) la valutazione quantitativa dell'integrazione di pannelli fotovoltaici flessibili su tuga nella Configurazione C+ (rilievo ING-06), con analisi dell'impatto su CBA, autonomia e conformità DNSH.

11.1 Carichi ausiliari: baseline per tipologia imbarcazione e impatto sull'autonomia

Il censimento dei carichi ausiliari è il punto di partenza per il dimensionamento del sistema di accumulo (Cap. 10) e per la progettazione del Power Management System. Per il Progetto R3, il profilo dei carichi ausiliari è stato costruito sulla base di dati di letteratura (STECF 2022, EUMOFA 2023) e di misurazioni disponibili su imbarcazioni analoghe della flotta sarda, classificato come Assunzione A-07 (Livello di evidenza 3). Le misurazioni dirette a bordo delle imbarcazioni pilota nella Fase 1 (Cap. 21) produrranno dati di Livello 1 per la revisione del modello. La Tabella 11.1 riporta il censimento completo dei carichi ausiliari con potenze nominali, ore operative e stima dell'energia consumata per la Configurazione B di riferimento (<12m), con annotazioni sulle opportunità di efficienza.

Utenza ausiliaria	Potenza nominale (W)	Ore/giornata (h)	Energia (Wh/giornata)	% energia pacco batterie (Config. B)	Note / standard / misure di efficienza
Strumentazione di navigazione (GPS/chartplotter, VHF, AIS, radar)	80–150	7	560–1.050	3–5%	Alimentazione da bus 12V/24V. Consumo ridotto con display TFT vs CRT. Già efficiente; priorità bassa per ottimizzazione.
Argano da pesca / salpancolle elettrico	800–2.500	1,5–3	1.200–7.500	5–35%	Carico intermittente ad alto picco di corrente. Impatto significativo su autonomia Config. B/L. Ottimizzazione: controllo velocità variabile con inverter dedicato; recupero energia in fase di calata (regen).

Utenza ausiliaria	Potenza nominale (W)	Ore/giornata (h)	Energia (Wh/giornata)	% energia pacco batterie (Config. B)	Note / standard / misure di efficienza
Pompa da sentina + pompa pescato (vasca ossigenazione)	200–500	3–5	600–2.500	3–12%	Pompa ossigenazione rilevante su imbarcazioni con vasca vivo (tutela qualità pescato). Ottimizzazione: pompa EC brushless vs motore a induzione; timer ON/OFF per sentina.
Illuminazione bordo (coperta, stiva, strumentazione)	100–400	3–7	300–2.800	1–13%	Sostituzione alogeni/fluorescenti con LED marine-grade: riduzione 70–80% potenza. Investimento <€200, payback <1 mese. Priorità alta per ottimizzazione.
Frigorifero da pesca / box ghiaccio attivo (conservazione pescato)	150–600	7	1.050–4.200	5–20%	Carico continuo ad alto impatto su Config. B e L. Ottimizzazione: compressore Danfoss Secop o equiv. (classe A+++ , inverter, EEI <125). Isolamento termico rinforzato della stiva (-30% consumo).
Impianto idraulico / verricello (sostituito con EL)	500–1.500 → 0 (EL)	1–2	500–3.000 → 0 (EL)	— (risparmio)	L'elettificazione dell'impianto idraulico (pompa idraulica diesel → motore EL dedicato) elimina le perdite del circuito idraulico ($\eta_{idraul} \approx 0,55$ vs $\eta_{EL} \approx 0,92$). Risparmio energetico: -40–50% per le operazioni di pesca.
Sensoristica IoT (T°, DO, GPS, torbidità, BMS telemetria, gateway)	15–60	7–24	105–1.440	0,5–7%	Consumo contenuto ma continuo (24h per gateway con trasmissione notturna). Alimentazione da batteria servizi

Utenza ausiliaria	Potenza nominale (W)	Ore/giornata (h)	Energia (Wh/giornata)	% energia pacco batterie (Config. B)	Note / standard / misure di efficienza
					separata (buffer 100–200 Wh) per garantire continuità anche in caso di scarica batteria propulsiva.
Riscaldamento cabina / riparo timoneria (inverno)	500–1.500	2–4	1.000–6.000	5–28%	Rilevante in inverno (ott–mar, T° bordo <10°C). Ottimizzazione: pompa di calore marina (COP ≈ 3,5) vs resistenza elettrica diretta (COP = 1,0). Integrazione con HVAC marino certificato IEC 60092-504.
TOTALE CARICHI AUSILIARI (scenario tipico Config. B)	~2.500 (picco: 5.000)	—	~8.000–14.000 Wh/giornata	38–66% della capacità	Il totale carichi ausiliari supera spesso il consumo del motore EL in modalità di pesca lenta. La gestione prioritaria dei carichi (PMS) è essenziale per garantire l'autonomia propulsiva (§11.2).

Tab. 11.1 — Censimento carichi ausiliari: potenza, ore operative, energia per giornata di pesca e impatto sull'autonomia (riferimento Config. B <12m).

Implicazione critica — interazione carichi ausiliari / autonomia EL: Il dato più rilevante della Tabella 11.1 è che i carichi ausiliari totali (8.000–14.000 Wh/giornata per Config. B) rappresentano il 38–66% della capacità nominale del pacco batterie dimensionato in §10.2 (20–35 kWh). In assenza di un PMS che gestisca le priorità di carico, l'autonomia in modalità EL-pura si ridurrebbe da 3,2–3,9 ore (§9.3.1) a meno di 2 ore. Questo risultato conferma che l'ottimizzazione delle utenze di bordo è una leva di efficienza energetica di primo ordine, con impatto diretto sulla CBA (§17.3) e sul raggiungimento della soglia DNSH Obj.1 (TSC GHG ≥40%). Il PMS è descritto in §11.2; l'impatto quantitativo sul VAN della Config. B è incluso nel CBA Monte Carlo (All. C).

11.2 Efficienza e ottimizzazione delle utenze di bordo

L'efficientamento delle utenze ausiliarie persegue due obiettivi complementari: (a) ridurre il consumo assoluto di energia per unità di funzione svolta (lumen prodotti, kg pescato refrigerato, kg di rete salpata), attraverso la sostituzione delle tecnologie baseline con tecnologie più efficienti; (b) ottimizzare il profilo temporale dei consumi attraverso il PMS, spostando i carichi flessibili nei momenti di maggiore disponibilità di energia (batteria carica, FV attivo, ricarica shore power). La

Tabella 11.2 quantifica il potenziale di risparmio per le principali utenze con il corrispondente costo di upgrade e il payback stimato.

Utenza	Tecnologia baseline (pre-retrofit)	Tecnologia efficiente (post-retrofit)	Riduzione consumo (% Wh/giornata)	Costo upgrade (€) / Payback
Illuminazione bordo	Alogeni / fluorescenti 12V, 200–400W totali	LED marine-grade IP67, 12/24V, 40–80W totali	-75–80% ~1.700 Wh/giornata risparmio	€150–300 Payback: <1 mese
Pompa ossigenazione / vasca vivo	Motore AC induzione 230V, 370W	Pompa EC brushless 24V, 120W, inverter integrato	-68% ~875 Wh/giornata risparmio	€400–700 Payback: 3–6 mesi
Frigorifero da pesca / stiva	Compressore fisso R134a 12V, 400–600W	Compressore Secop BD35F inverter 12/24V, 45–180W, EEI <125	-55–70% ~1.600 Wh/giornata risparmio	€600–1.200 Payback: 4–8 mesi
Argano da pesca	Motore DC spazzolato 24V, 1.500W picco	Motore BLDC con inverter 48V, 1.500W picco, regen in calata	-30–40% ~900 Wh/giornata risparmio (recupero regen)	€800–1.500 Payback: 8–14 mesi
Riscaldamento cabina (inverno)	Resistenza elettrica diretta 12/24V, 1.000W, COP=1,0	Pompa di calore marina reversibile 230V, 400W, COP=3,0–4,0	-65–75% ~2.600 Wh/giornata risparmio	€1.500–3.000 Payback: 12–24 mesi
Impianto idraulico → elettrico (argano/salpancolle)	Pompa idraulica azionata da PTO diesel 500–1.500W, $\eta \approx 0,55$	Motore EL BLDC dedicato 500–1.500W, $\eta \approx 0,92$	-40–50% per operazione Elimina perdite idrauliche	Incluso nel CAPEX retrofit idraulico (All. D)
TOTALE RISPARMIO OTTIMIZZAZIONE AUSILIARI (Config. B)	—	—	-50–65% ~6.700 Wh/giornata	€3.450–6.700 Payback medio: 6–10 mesi

Tab. 11.2 — Potenziale di efficienza energetica per utenza ausiliaria: confronto tecnologia baseline vs efficiente, risparmio e payback (riferimento Config. B).

Integrazione con la CBA (§17.3): Il risparmio totale da ottimizzazione delle utenze ausiliarie (stima: -50–65% di consumo ausiliario, pari a ~6.700 Wh/giornata per Config. B) non è incluso nel CBA deterministico principale (All. C), che si concentra sul risparmio propulsivo. Tuttavia, è considerato come **beneficio aggiuntivo** nello scenario ottimistico del Monte Carlo (distribuzione Triangolare con $\delta = \pm 15\%$ sulla variabile 'riduzione gasolio equivalente'). L'efficientamento delle utenze con un CAPEX aggiuntivo di €3.450–6.700 produce un payback autonomo di 6–10 mesi, migliorando il VAN complessivo della Config. B di €2.000–4.500 su base decennale.

Riscaldamento cabina con pompa di calore marina — nota tecnica: La sostituzione della resistenza elettrica diretta con una pompa di calore marina reversibile (COP 3,0–4,0) è particolarmente vantaggiosa per le imbarcazioni che operano nei mesi invernali (ottobre–marzo)

nelle acque sarde, dove la temperatura dell'acqua di mare (13–18°C) è sufficiente a garantire un COP elevato anche in condizioni di freddo esterno. La pompa di calore rientra nella Configurazione C+ come opzione aggiuntiva al modulo FV, contribuendo alla riduzione dei consumi ausiliari invernali del 65–75%.

11.2.1 Power Management System (PMS): architettura e gestione prioritaria dei carichi

Il Power Management System (PMS) è il sistema elettronico di controllo che gestisce in tempo reale il flusso di energia tra le sorgenti (batterie LiFePO₄, generatore diesel, FV) e i carichi (propulsione EL, utenze ausiliarie, ricarica batterie di servizio). Nel Progetto R3, il PMS svolge tre funzioni fondamentali: (1) ottimizzare il punto di lavoro del sistema ibrido (scelta diesel-only / EL-only / combinato in base a SoC, velocità richiesta e profilo di missione); (2) gestire le priorità di carico per garantire sempre la sicurezza della navigazione; (3) raccogliere e trasmettere i dati di telemetria energetica al gateway IoT (§12.2) per il calcolo dei KPI M&V. La Tabella 11.3 riporta la struttura gerarchica di priorità dei carichi implementata nel PMS del Progetto R3, con le soglie di attivazione/disattivazione per ciascuna utenza in funzione del SoC del pacco batterie.

Priorità (1=max)	Utenza / Sistema	Logica di gestione PMS (Power Management System)	Soglia di attivazione / disattivazione (SoC batteria)
1	BMS — protezione batterie (termica, sovratensione)	Priorità assoluta e non interrompibile. Il BMS disconnette il pacco in caso di allarme critico indipendentemente dallo stato degli altri sistemi. Nessun override possibile.	Indipendente dal SoC — attivazione hardware automatica
2	Propulsione EL (motore principale)	Seconda priorità: garantire sempre potenza minima di governo (2 kn) per sicurezza navigazione. Il PMS riserva almeno 15% SoC per propulsione di emergenza. In caso di SoC critico: riduzione automatica velocità max (derating).	Sempre attiva. Derating automatico se SoC <20%. Shutdown EL a SoC <10% (failsafe diesel)
3	Sensoristica IoT e navigazione (GPS, AIS, VHF, BMS telemetria)	Carichi di sicurezza e comunicazione: alimentati da batteria servizi separata (100–200 Wh buffer) collegata in floating al bus principale. La batteria servizi garantisce continuità per almeno 4h in caso di scarica del pacco principale.	Sempre attiva. Batteria servizi separata con UPS marino. Disconnessione solo in emergenza totale.
4	Pompa sentina e ossigenazione vasca (sicurezza e qualità pescato)	Carico continuo di bassa potenza. Il PMS mantiene attivo in condizioni normali. Riduzione ciclo ON/OFF della pompa sentina con timer (da continuo a 5 min ON / 25 min OFF) riduce consumo del 80% mantenendo sicurezza.	Attiva se SoC >15%. Riduzione ciclo se SoC 15–25%.

Priorità (1=max)	Utenza / Sistema	Logica di gestione PMS (Power Management System)	Soglia di attivazione / disattivazione (SoC batteria)
5	Frigorifero / conservazione pescato	Carico continuo ad alta priorità per qualità del prodotto (valore economico). Il PMS mantiene il compressore attivo fino a SoC 25%. Sotto questa soglia: modalità 'economia' (setpoint T° +3°C per ridurre cicli compressore del 40%).	Attiva se SoC >25%. Modalità economia se SoC 15–25%. Spegnimento se SoC <15%.
6	Illuminazione coperta e strumentazione non-essenziale	Carichi interrompibili. Il PMS spegne le utenze non-safety se SoC scende sotto il 30%. Riaccensione automatica quando SoC sale sopra 35% (per evitare cycling continuo). Comando manuale sempre possibile dall'operatore.	Attiva se SoC >30%. Spegnimento automatico se SoC <30%. Riaccensione automatica a SoC >35%.
7	Argano da pesca / salpancolle	Carico intermittente ad alto picco. Il PMS monitora il SoC prima di ogni ciclo di salpata: se SoC <40%, avvisa l'operatore (avviso visivo + sonoro sul pannello di controllo). Il motore diesel viene automaticamente avviato in support se SoC <30% durante un ciclo argano.	Attiva se SoC >40% (preferenziale EL). Support diesel se SoC <30% durante operazione.
8	Riscaldamento cabina (comfort, non-essenziale)	Carico non-essenziale di comfort. Il PMS lo considera completamente interrompibile. Spegnimento automatico se SoC <50% (priorità all'autonomia propulsiva). Può essere riattivato manualmente dall'operatore solo se SoC >55%.	Attiva se SoC >50%. Spegnimento automatico se SoC <50%. Riattivazione manuale solo se SoC >55%.

Tab. 11.3 — Architettura PMS per il Progetto R3: gerarchia di priorità dei carichi e soglie di attivazione/disattivazione in funzione del SoC (riferimento Config. B).

Conformità AI Act e requisiti di trasparenza algoritmica (§12.5): Il PMS del Progetto R3 include, nelle versioni avanzate (Config. C e C+), un modulo di ottimizzazione basato su algoritmi di Machine Learning (ML) per la previsione del profilo di missione e l'ottimizzazione preventiva della distribuzione di energia. Come dettagliato in §12.5, questo modulo è soggetto alla verifica di assoggettabilità all'AI Act (Reg. UE 2024/1689): se classificato come sistema AI ad alto rischio (Allegato III, categoria 'sicurezza nella navigazione'), deve soddisfare i requisiti di trasparenza algoritmica, supervisione umana e documentazione tecnica. Per il Progetto R3, il PMS ML è classificato come **sistema AI a rischio limitato** (funzione di supporto decisionale, non di controllo autonomo della propulsione): l'operatore mantiene sempre la possibilità di override manuale e il PMS non può agire su propulsione senza conferma dell'operatore.

11.3 Integrazione energie rinnovabili di bordo

L'integrazione di fonti rinnovabili a bordo delle imbarcazioni da pesca — principalmente il fotovoltaico su tuga — rappresenta un'opportunità di riduzione ulteriore dei consumi di gasolio e delle emissioni

GHG, con benefici diretti sulla conformità al DNSH Obiettivo 1 (TSC GHG $\geq 40\%$) e sulla CBA. Il rilievo di peer review ING-06 (Osservazione) aveva segnalato l'assenza di questa valutazione nella v1.0: le sezioni seguenti e le Tabelle 11.4 e 11.5 costituiscono la risposta quantitativa completa.

11.3.1 Pannelli FV flessibili su tuga: scenario C+ con quantificazione dell'apporto energetico

La Configurazione C+ prevede l'integrazione di pannelli fotovoltaici flessibili monocristallini su tuga e/o pontile di prua nella Configurazione C (15–25m ibrido serie). La scelta dei moduli flessibili è motivata da tre considerazioni tecniche specifiche per l'ambiente navale: (a) il peso ridotto ($< 3 \text{ kg/m}^2$) rispetto ai moduli rigidi ($> 10 \text{ kg/m}^2$) è critico per la stabilità delle imbarcazioni da pesca di media stazza; (b) la conformabilità alla curvatura della tuga evita soluzioni di supporto rigido che potrebbero compromettere l'accesso alla zona di lavoro; (c) la resistenza alle vibrazioni e alla flessione ciclica garantisce l'affidabilità in ambiente marino. La Tabella 11.4 presenta la valutazione quantitativa completa dei due scenari FV (3 kWp e 6 kWp).

Parametro	Config. C+ base (3 kWp FV)	Config. C+ estesa (6 kWp FV)	Metodo di calcolo / Fonte
Superficie moduli FV (m²)	~15 m ² (copertura parziale tuga)	~30 m ² (copertura totale tuga + pontile di prua)	Densità potenza moduli flessibili: 200–220 W/m ² (SunPower Performance 3 o equiv.)
Irradiazione solare media annua (Sardegna)	1.750 kWh/m ² /anno (fonte: PVGIS-SARAH2, lat. 39°N)	1.750 kWh/m ² /anno	PVGIS — Photovoltaic Geographical Information System, JRC 2023
Produzione FV attesa (kWh/anno)	$15 \times 0,210 \times 1.750 \times 0,85 = 4.700$ kWh/anno	$30 \times 0,210 \times 1.750 \times 0,85 = 9.400$ kWh/anno	PR (Performance Ratio) = 0,85 include: perdite termiche (–5%), ombreggiamento superfici navali (–5%), perdite inverter/cablaggio (–5%).
Produzione FV durante giornata di pesca (200 giornate/anno)	$4.700 / 200 = 23,5$ kWh/giornata (ore 6:00–18:00, irradiazione media)	$9.400 / 200 = 47$ kWh/giornata (scenario ottimistico estate)	Solo nelle ore di pesca con sole. Stagionalità: giugno–agosto picco (+35%); dicembre–gennaio minimo (–45%).
Potenza FV istantanea disponibile (kW)	0 → 3 kW (variabile con irradianza)	0 → 6 kW (variabile con irradianza)	Valore picco a irradianza 1.000 W/m ² (estate, mezzogiorno). Media giornaliera: 1,0–1,5 kW (3 kWp) e 2,0–3,0 kW (6 kWp).
Impatto su autonomia EL (ore aggiuntive)	+1,0–1,5 h EL pura (motore 20 kW → carico 1,5 kW FV)	+1,5–2,5 h EL pura (carico FV copre fino al 15% della potenza motore)	Impatto diretto: FV copre carichi ausiliari (4–6 kW totale), liberando la batteria

Parametro	Config. C+ base (3 kWp FV)	Config. C+ estesa (6 kWp FV)	Metodo di calcolo / Fonte
	copre il 7,5% della potenza)		per la propulsione. Effetto moltiplicativo.
Riduzione gasolio aggiuntiva rispetto a Config. C	-5-8% (su base Config. C: -55% → -60-63%)	-8-12% (Config. C -55% → -63-67%)	Dipende dalla stagionalità e dal profilo di utilizzo. Incluso nello scenario C+ del CBA Monte Carlo (All. C §17.3).
Contributo al DNSH Obiettivo 1 (GHG)	GWP lifecycle Config. C+: -37-42% (da -32,8% Config. C) → potenzialmente sopra soglia TSC 40%	GWP lifecycle: -43-50% → conforme TSC senza CER portuale (condizionato a irradiazione reale)	Calcolo aggiornato nell'LCA Screening (All. J) con FE FV = 0,040 kgCO ₂ eq/kWh (moduli flessibili CIGS/CdTe, ecoinvent 3.9).
CAPEX aggiuntivo FV (€)	+€8.000-12.000 (moduli + inverter MPPT + cablaggio)	+€15.000-22.000	Incluso nel CAPEX Config. C+: €120.000 (base C) + €8.000-12.000 (FV 3 kWp). FEAMPA art.27 ammissibile.
Specifiche tecniche moduli FV flessibili	Monocristallini flessibili PERC 200-220 W/m ² (es. SunPower 400W flex, spessore 2,5 mm)	Stessa tecnologia, superficie doppia. Integrazione strutturale tuga + pontile.	Requisiti: peso <3 kg/m ² , IP68 (immersione temporanea), resistenza UV UL 703, temperatura operativa -40÷+85°C. Certificazione IEC 61730.

Tab. 11.4 — Scenario Config. C+ con pannelli FV flessibili su tuga: parametri tecnici, produzione energetica, impatto su autonomia e DNSH Obiettivo 1. Rilievo ING-06 risolto.

Rilievo ING-06 (Osservazione) — RISOLTO: L'integrazione di pannelli FV flessibili su tuga è ora quantificata nei due scenari 3 kWp e 6 kWp (Tab. 11.4) con calcolo della produzione energetica (PVGIS-SARAH2), dell'impatto sull'autonomia EL e della variazione della riduzione GHG lifecycle. Lo scenario C+ con 6 kWp è l'unica configurazione del Progetto R3 che raggiunge la soglia TSC ≥40% (-43÷50%) senza dipendere dalla CER portuale, costituendo un'alternativa di conformità per i siti pilota non ancora dotati di CER.

11.3.2 Impatto su autonomia, CBA e contributo DNSH Obiettivo 1

La Tabella 11.5 sintetizza l'impatto quantitativo dell'integrazione FV su tre dimensioni: economica (CBA — VAN deterministico e probabilità Monte Carlo), operativa (riduzione gasolio aggiuntiva rispetto a Config. C base) e normativa (conformità DNSH Obj.1 — TSC GHG ≥40%). Il confronto tra Config. C, C+ con 3 kWp e C+ con 6 kWp permette di individuare la soglia di convenienza tecnico-economica dell'investimento FV aggiuntivo.

Indicatore	Config. C (senza FV)	Config. C+ (con FV 3 kWp)	Config. C+ (con FV 6 kWp)
CAPEX totale	€120.000	€128.000-132.000	€135.000-142.000

Indicatore	Config. C (senza FV)	Config. C+ (con FV 3 kWp)	Config. C+ (con FV 6 kWp)
Riduzione gasolio annua (l/anno)	-55% -3.487 l/anno	-60-63% -3.805-3.995 l/anno	-63-67% -3.995-4.249 l/anno
Risparmio annuo (gasolio netto 0,67 €/l)	€2.336/anno	€2.549-2.677/anno	€2.677-2.847/anno
Produzione FV venduta/autoconsumata (€/anno)	—	+€376/anno (autoconsumata a 0,08 €/kWh CER)	+€752/anno
VAN deterministico (10 anni, attualizzazione 5%)	-€40.902	-€35.800	-€29.500
P(VAN>0) Monte Carlo (10.000 sim.)	0%	2-5%	8-15%
GWP lifecycle (riduzione vs baseline)	-32,8% ✗ sotto soglia TSC 40%	-37-42% △ al limite soglia TSC 40%	-43-50% ✓ sopra soglia TSC 40% (senza CER portuale)
Conformità DNSH Obj.1 (TSC ≥40%)	✗ Non conforme (richiede CER portuale)	△ Condizionata (FV + CER insieme)	✓ Conforme (con FV 6 kWp standalone)

Tab. 11.5 — Impatto dell'integrazione FV su CBA, autonomia e conformità DNSH Obj.1 per le Configurazioni C, C+ 3kWp e C+ 6kWp.

Conclusione: scelta ottimale FV per Config. C+ — L'analisi quantitativa indica che il modulo FV da 6 kWp (CAPEX aggiuntivo €15.000-22.000 su Config. C) è l'investimento ottimale per: (a) raggiungere autonomamente la soglia DNSH TSC ≥40% senza dipendere dalla CER portuale (rilevante per siti pilota in fase di attivazione CER); (b) migliorare il VAN da -€40.902 (Config. C) a -€29.500 (C+ 6 kWp), avvicinandosi alla soglia di break-even. Il modulo da 3 kWp è consigliato come soluzione intermedia per imbarcazioni con tuga di superficie limitata (<15 m²). Il CAPEX aggiuntivo del FV è ammissibile FEAMPA art. 27 come parte del kit di retrofit energetico.

11.4 Bilancio energetico integrato per configurazione

Il bilancio energetico integrato sintetizza, per ciascuna delle quattro configurazioni R3, il flusso energetico completo della giornata di pesca: energia propulsiva diesel (baseline e post-retrofit), energia elettrica da batterie, energia FV (ove presente), energia carichi ausiliari, e indicatori di sintesi (quota rinnovabili, GHG residue, KPI). La Tabella 11.6 fornisce questo quadro di sintesi, che costituisce il riferimento quantitativo per la rendicontazione FEAMPA e per il calcolo dei KPI M&V (§23.1).

Voce di bilancio energetico	Config. A 12-20m	Config. B <12m	Config. C+ 15-25m + FV 3kWp	Config. L <6m lagunare
Energia propulsiva diesel (kWh/giornata — baseline)	106 (31,7 l × 3,35 kWh/l)	106	155 (46 l × 3,35 kWh/l)	0 (EL puro)

Voce di bilancio energetico	Config. A 12–20m	Config. B <12m	Config. C+ 15–25m + FV 3kWp	Config. L <6m lagunare
Energia propulsiva diesel post-retrofit (kWh/giornata)	53 (-50%)	58 (-45%)	63 (-55% + FV -8%)	0
Energia EL da batterie (kWh/giornata)	28–42	17–26	42–60	3–10
Energia FV a bordo (kWh/giornata)	—	—	10–24 (3 kWp, media)	0,5–1,5 (FV opzionale)
Energia carichi ausiliari (kWh/giornata)	8–14	8–14	8–14	2–5
Quota energia da fonti rinnovabili (%)	26–40% (EL da CER portuale)	30–45% (EL da CER portuale)	35–55% (EL da CER + FV)	85–100% (EL + FV opzionale)
GHG emesse (kgCO ₂ /giornata) post-retrofit	~45 (-47%)	~49 (-42%)	~38 (-55%)	~4–8 (-91÷95%)
KPI di riferimento principali	EN-01, EM-01, EM-02	EN-01, EM-01, CO-03	EN-01, EM-01, ING-06	EN-06, RU-03, AC-04

Tab. 11.6 — Bilancio energetico integrato per giornata di pesca: sintesi per le quattro configurazioni R3 (propulsione + FV + ausiliari).

Letture del bilancio e implicazioni per il KPI Register: La Tabella 11.6 evidenzia che la Configurazione L lagunare è l'unica che raggiunge una quota di energie rinnovabili dell'85–100% (con FV opzionale) e una riduzione GHG del 91–95%, confermando la sua eccezionale performance ambientale. Le Configurazioni A e B raggiungono il 30–45% di rinnovabili solo con l'apporto della CER portuale per la ricarica — sottolineando nuovamente il ruolo abilitante dell'infrastruttura portuale. La Configurazione C+ con 6 kWp FV è l'unica configurazione marittima che supera autonomamente il 35–55% di rinnovabili, avvicinandosi alla conformità DNSH senza CER. I valori di GHG residue per giornata di pesca alimentano direttamente i KPI EM-01 (CO₂ Scope 1) e EM-02 (CO₂ Scope 2) del registro KPI (All. C), che vengono misurati quotidianamente tramite il flussimetro di carburante e il contatore di energia EL installati in Fase 1.

Cross-reference CBA: i valori di risparmio energetico per configurazione riportati in Tab. 11.6 sono gli input diretti al modello CBA deterministico (§17.3.1, All. C): riduzione gasolio × prezzo netto 0,67 €/l + energia EL × costo kWh CER 0,05–0,08 €/kWh. Il modello Monte Carlo (10.000 simulazioni, §17.3.2) campiona le variabili chiave (prezzo gasolio, riduzione effettiva, CAPEX) secondo le distribuzioni descritte nel §3 del Briefing, producendo i valori P10/P50/P90 di VAN e payback riportati nell'All. C.

— Fine Capitolo 11 —

12. Sensoristica IoT, piattaforme dati e conformità digitale

Il sistema di sensoristica IoT e di gestione dei dati del Progetto R3 persegue tre finalità complementari: (i) la misurazione diretta dei KPI ambientali ed energetici per la rendicontazione FEAMPA e per la dimostrazione della conformità DNSH; (ii) il monitoraggio in tempo reale della qualità delle acque nelle lagune costiere sarde, contribuendo ai dataset istituzionali ARPAS e al

Buono Stato Ecologico MSFD; (iii) l'alimentazione del Power Management System (PMS) con dati di telemetria energetica per l'ottimizzazione del profilo ibrido in tempo reale (§11.2.1). Il capitolo affronta in modo sistematico: i parametri target e la loro motivazione ambientale; l'architettura tecnica a quattro strati (sensori → gateway → connettività → cloud); la supply chain security dei fornitori IoT; la verifica della copertura di rete nei siti pilota selezionati; i requisiti di conformità al Cyber Resilience Act (CRA) e alla Direttiva NIS2; la qualità del dato e l'audit trail; la compliance AI Act per il modulo ML del PMS. I rilievi di peer review IOT-01 (Critico — CRA assente), IOT-02 (Critico — NIS2 assente), IOT-03 (Significativo — GDPR dati GPS), IOT-04 (Significativo — copertura connettività non verificata), IOT-05 (Significativo — AI Act PMS ML) e IOT-06 (Minore — supply chain security) trovano risoluzione completa in questo capitolo.

12.1 Parametri target e motivazioni ambientali

La selezione dei parametri da monitorare con la sensoristica IoT è guidata da tre criteri gerarchici: (a) pertinenza per il calcolo dei KPI M&V obbligatori nel KPI Register (All. C); (b) rilevanza per la verifica della conformità DNSH per i sei obiettivi ambientali (All. I); (c) utilità per il monitoraggio ambientale delle lagune costiere sarde ai fini del Buono Stato Ecologico MSFD (§7.3.1). La Tabella 12.1 riporta la lista completa dei parametri target, con indicazione della disponibilità per tipologia di sito (porto, costa aperta, laguna), del metodo di misura e della motivazione normativa.

12.1 Tabella parametri per tipologia sito: laguna / porto / costa aperta

Parametro / sensore	Porto	Costa aperta	Laguna	Standard / metodo di misura	Motivazione ambientale e cross-ref DNSH
Temperatura acqua (T°, °C)	●	●	●	Termistori PT100 / NTC; ISO 15765; accuratezza ±0,1°C	Parametro WFD/MSFD. Indicatore di stratificazione termica lagunare. DNSH Obj.3. KPI AC non specifico ma input LCA.
Ossigeno disciolto (DO, mg/L)	●	○	●	Sensore ottico (luminescenza); Clark elettrochimica; ISO 5814; accuratezza ±0,2 mg/L	Indicatore di eutrofizzazione lagunare. Soglia critica: DO <4 mg/L (stress fauna ittica). MSFD D8. DNSH Obj.3/6. KPI AC-05.
Torbidità (NTU)	●	○	●	Turbidimetro nefelometrico; ISO 7027-1:2016; accuratezza ±2% FS; range 0–1000 NTU	Rilievo AMB-02. Indicatore risospensione sedimenti da propulsione. Soglia allerta: >50 NTU (lagune). KPI AC-04. DNSH Obj.3/6.
Clorofilla-a (µg/L)	●	○	●	Fluorimetro in vivo; ISO 10260:1992; eccitazione 430 nm, emissione 685 nm; sensibilità 0,05 µg/L	Rilievo AMB-02. Indicatore bloom algale. Correlata a eutrofizzazione.

Parametro / sensore	Porto	Costa aperta	Laguna	Standard / metodo di misura	Motivazione ambientale e cross-ref DNSH
					MSFD D5. KPI AC-05. DNSH Obj.3/6.
pH	●	○	●	Elettrodo a vetro combinato con temperatura compensazione; ISO 10523; accuratezza $\pm 0,05$ pH	WFD. Correlato ad acidificazione e stress biologico. Monitoraggio lagunare obbligatorio da ARPAS. DNSH Obj.3.
Conducibilità elettrica (EC, mS/cm)	●	○	●	Cella conduttimetrica; IEC 60746-3; range 0–100 mS/cm; accuratezza $\pm 0,5\%$	Salinità derivata. Rilevante per lagune con apporto di acqua dolce (Stagno di Cabras: EC variabile 5–50 mS/cm). WFD.
Posizione GPS / traccia rotta (lat/lon, m/s)	●	●	●	Ricevitore GNSS multi-costellazione (GPS+GLONASS+Galileo); accuratezza <2m; NMEA 0183 / NMEA 2000	Tracciabilità giornata di pesca. Calcolo distanza percorsa → normalizzazione KPI energetici (kWh/nm). GDPR: dato personale (§3.4.1, §12.4). Rilievo IOT-03.
SoC batteria / energia EL (% , kWh)	●	●	●	Letto da BMS via CAN-bus (ISO 11898); risoluzione 0,1%; frequenza 1 Hz	KPI EN-06 (SoC). Input diretto per PMS (§11.2.1). Alimenta dashboard M&V KPI Register (All. C). DNSH Obj.1.
Consumo gasolio / flussimetro (l/h)	●	●	●	Flussimetro ad ingranaggi o Coriolis; accuratezza $\pm 0,5\%$; range 0,5–50 l/h; T° compensata	KPI EN-01 (SFC). Misura diretta baseline vs post-retrofit. Evidenza primaria per FEAMPA rendicontazione. DNSH Obj.1. Livello evidenza 1 (Fase 1).
Rumore sottomarino — UWN (dB re 1 μ Pa)	●	●	●	Idrofono calibrato; ISO 17208-1/2; banda 10 Hz–10 kHz; sensibilità –165 dB re 1V/ μ Pa; database AQUO	KPI RU-03/04. MSFD D11. Contributo GES (§6.5, §7.3.1). Rilievo AMB-03. Protocollo §23.2.2. DNSH Obj.6.

Tab. 12.1 — Parametri IoT target per tipologia di sito nel Progetto R3: standard di misura, motivazione ambientale e cross-reference DNSH/KPI. Rilievo AMB-02 risolto.

Nota su rilievo AMB-02 (Significativo) — RISOLTO: I parametri di torbidità (NTU, misurazione nefelometrica ISO 7027) e clorofilla-a (fluorimetria in vivo, ISO 10260) sono ora inclusi nel piano di monitoraggio IoT con specifiche tecniche complete (accuratezza, range, protocollo). La loro presenza nella Tab. 12.1 è cross-referenziata con §4.3.2 (caratteristiche ecologiche lagune), §6.2 (parametri fisico-chimici WFD), §23.2.1 (protocollo qualità acqua lagunare) e la DNSH Checklist (All. I, Obj.3 e Obj.6).

12.2 Architettura IoT: sensori → gateway → datalogger → cloud

L'architettura del sistema IoT del Progetto R3 segue un modello a quattro strati (edge sensing → edge computing → transport → cloud analytics) che bilancia tre requisiti talvolta conflittuali: l'affidabilità della raccolta dati in ambienti marini con connettività intermittente; la sicurezza informatica end-to-end in conformità al CRA e alla NIS2; il costo di ownership e la scalabilità per la replica su un numero crescente di imbarcazioni. La Tabella 12.2 descrive ogni strato con le specifiche tecniche, i componenti hardware/software di riferimento e i requisiti di sicurezza applicabili.

Strato	Componenti hardware / software	Funzione e specifiche tecniche	Requisiti di sicurezza CRA / GDPR
Layer 1 Sensori edge	Sonde multiparametriche (T°/DO/pH/EC/torbidità/clorofilla-a); idrofono calibrato; modulo GPS GNSS; flussimetro gasolio; BMS telemetria (CAN-bus).	Acquisizione dati raw a bordo imbarcazione. Frequenza: 1 Hz (GPS, SoC); 0,1 Hz (parametri acqua); 1/60 Hz (UWN media oraria). Output: protocollo NMEA 2000 o RS-485 Modbus RTU. IP67/68 (§9.5.1).	CRA Reg. 2024/2847: i sensori con firmware aggiornabile da remoto sono 'prodotti con elementi digitali' soggetti. Requisito: secure boot, autenticazione del firmware update, SBOM. Rilievo IOT-01.
Layer 2 Gateway bordo	Gateway IoT industriale marino (es. Peplink MAX BR1 Pro 5G o equiv.); datalogger locale (SD card 64 GB, autonomia 30 giorni); UPS marino 200 Wh per continuità in assenza di propulsione.	Aggregazione, conversione protocollo (NMEA/Modbus → MQTT/TLS), buffering locale in caso di perdita connettività. Pre-elaborazione edge (filtraggio outlier, compressione). Log crittografato AES-256 su storage locale.	CRA: gateway con OS embedded è soggetto. Requisiti: aggiornamenti firmware firmati digitalmente; porta di debug disabilitata in produzione; SBOM completa. NIS2 (D.Lgs 138/2024): se piattaforma cloud è servizio essenziale → misure tecniche obbligatorie. Rilievi IOT-01/IOT-02.
Layer 3 Connettività	Primaria: 4G/5G (SIM multi-operatore con failover automatico Vodafone/TIM/WindTre).	Protocollo trasmissione: MQTT over TLS 1.3 (porta 8883). Frequenza invio	Tunnel VPN (OpenVPN o WireGuard) su link 4G/5G per

Strato	Componenti hardware / software	Funzione e specifiche tecniche	Requisiti di sicurezza CRA / GDPR
	Secondaria: LoRaWAN 868 MHz (in porto e costa <5 km). Emergenza: satellite IoT Iridium SBD (siti senza copertura 4G).	dati: ogni 5 min in navigazione; ogni 30 min in porto. Costo SIM dati stimato: €8–15/mese/imbarcazione. Satellite IoT: €0,04/messaggio SBD (max 340 byte). Rilievo IOT-04.	protezione dati in transito. Certificati TLS client-side per autenticazione gateway → cloud. Rotazione automatica certificati ogni 90 giorni.
Layer 4 Cloud M&V	Piattaforma cloud IoT (AWS IoT Core o Azure IoT Hub, datacenter UE — GDPR compliance); database time-series (InfluxDB o TimescaleDB); dashboard web M&V (Grafana); API REST per esportazione dati MASAF/FEAMPA.	Ingestione dati MQTT → parsing → validazione qualità → archiviazione time-series. Calcolo KPI automatico ogni 24h. Alert automatici su soglie RAG (email + webhook). Backup giornaliero criptato. Retention policy: 10 anni (obbligo FEAMPA). Accesso ruolo-based (RBAC).	GDPR: server in UE obbligatorio per dati GPS (dato personale). Privacy by design: pseudonimizzazione delle tracce GPS con ID barca anonimo. Registro trattamenti (art.30 GDPR) da tenere aggiornato. DPIA (art.35 GDPR) in Fase esecutiva (§26.2). NIS2: notifica incidenti entro 24h.

Tab. 12.2 — Architettura IoT a 4 strati del Progetto R3: componenti, funzioni, specifiche tecniche e requisiti CRA/GDPR per strato.

Integrazione PMS–IoT: Il gateway bordo (Layer 2) è il punto di integrazione tra il sistema di sensoristica ambientale e il Power Management System (§11.2.1): i dati di SoC (da BMS via CAN-bus), consumo gasolio (da flussimetro), velocità e posizione GPS (da NMEA 2000) vengono fusi in tempo reale nel gateway per alimentare il modulo di ottimizzazione del PMS. La latenza massima accettabile per questa funzione è di 100 ms (1 ciclo di aggiornamento PMS a 10 Hz). Il gateway opera in modalità stand-alone anche in assenza di connettività cloud, garantendo la continuità della funzione PMS.

12.2.1 Supply chain security: criteri di selezione fornitori IoT

La sicurezza della catena di fornitura (supply chain security) dei componenti IoT è un rischio emergente riconosciuto dall'ENISA Threat Landscape 2024 come uno dei vettori di attacco più critici per i sistemi IoT industriali. Il rilievo di peer review IOT-06 (Minore) aveva segnalato l'assenza di criteri di selezione fornitori basati sulla sicurezza nella v1.0: la Tabella 12.3 definisce i requisiti minimi per la selezione dei fornitori IoT del Progetto R3.

Criterio di selezione	Requisito minimo	Motivazione e riferimento normativo	Verifica in fase procurement
Sede legale / produzione in paese trusted	UE, USA, Giappone, UK, Australia, Canada (paesi Five Eyes + alleati NATO)	Riduzione rischio di backdoor hardware inserite da stati avversari. Riferimento: ENISA Threat Landscape 2024; Comunicazione CE su 5G	Dichiarazione di origine produzione nel capitolato (All. D). Verifica con registro imprese

criterio di selezione	Requisito minimo	Motivazione e riferimento normativo	Verifica in fase procurement
		security toolbox. Esclusione esplicita di fornitori da paesi a rischio (es. alcune entità cinesi con legge sicurezza nazionale 2017).	paese di produzione.
SBOM (Software Bill of Materials)	SBOM completa in formato SPDX 2.3 o CycloneDX 1.4 fornita prima della consegna	Obbligatoria dal CRA (Reg. 2024/2847 art.13 comma 1 lettera b): il fabbricante deve redigere e mantenere la documentazione tecnica relativa ai componenti software. La SBOM permette di identificare componenti open-source con vulnerabilità note (CVE) e di pianificare il patching. Rilievo IOT-01.	SBOM richiesta come deliverable contrattuale nel capitolato (All. D, §20.2.1). Analisi SBOM con strumento OWASP Dependency-Check prima dell'installazione.
Politica di aggiornamento firmware (patch policy)	Garanzia patch di sicurezza per almeno 5 anni dalla data di acquisto; release note pubbliche per ogni aggiornamento	CRA art.13 c.8: il fabbricante deve garantire la fornitura di aggiornamenti di sicurezza per la durata del ciclo di vita atteso. Per IoT navale con ciclo di vita ≥ 10 anni, il periodo minimo di 5 anni è coerente con il periodo di monitoraggio FEAMPA.	Clausola contrattuale nel capitolato (All. D). Verifica del track record di aggiornamenti del fornitore (numero CVE patchati negli ultimi 2 anni).
Canale di segnalazione vulnerabilità (bug bounty / responsible disclosure)	Policy di responsible disclosure pubblica e verificabile (es. security.txt su sito web fornitore); risposta entro 90 giorni dalla segnalazione	CRA art.13 c.6: obbligo di policy di gestione vulnerabilità. Rilievo IOT-06 (supply chain security). La disponibilità di un canale di disclosure è indicatore della maturità del programma di sicurezza del fornitore.	Verifica della policy di disclosure sul sito del fornitore. Inclusione nel registro fornitori (§20.2). Rilievo IOT-06.
Certificazione di sicurezza prodotto	IEC 62443-4-2 (componenti industriali) o equivalente; in alternativa: Common Criteria EAL2+ per dispositivi con funzioni crittografiche	IEC 62443-4-2 è lo standard di riferimento per la sicurezza dei componenti in sistemi di controllo industriale (ICS/SCADA), applicabile ai sensori IoT e ai gateway del Progetto R3. Common Criteria EAL2+ richiesto per dispositivi che gestiscono chiavi crittografiche (gateway con VPN).	Certificato IEC 62443-4-2 o CC EAL2+ richiesto nel capitolato. In assenza di certificazione: accettato report di penetration test da terza parte indipendente (CREST-certified).
Conformità CRA (Reg. 2024/2847) — Dichiarazione CE	Dichiarazione di conformità CRA (DoC) per prodotti con elementi digitali immessi sul mercato dopo il 10	Il CRA entra in vigore in modo graduale: i produttori devono iniziare ad adeguarsi entro il 2026 per i requisiti di processo e entro il 2027 per la DoC completa. Per il	Roadmap CRA del fornitore come allegato contrattuale. Per forniture post-dicembre 2027:

Critério di selezione	Requisito minimo	Motivazione e riferimento normativo	Verifica in fase procurement
	giugno 2026 (transitorio pieno: 11 dicembre 2027)	Progetto R3 (installazioni 2025–2026): richiedere roadmap di conformità CRA a ogni fornitore. Rilievi IOT-01, IOT-02.	DoC CRA obbligatoria.

Tab. 12.3 — Criteri di supply chain security per la selezione dei fornitori IoT del Progetto R3. Rilievo IOT-06 risolto.

12.3 Connettività (LoRa/mesh/4G/5G): scelta tecnica e limiti

La scelta della tecnologia di connettività per la trasmissione dei dati IoT dalle imbarcazioni alla piattaforma cloud è condizionata dalla geografia costiera sarda — caratterizzata da aree di pesca sia in prossimità di centri abitati ben coperti (lagune di Cabras e Santa Gilla) sia in zone costiere remote con copertura cellulare limitata (Golfo di Orosei, costa est) — e dalla variabilità del profilo di missione tra le diverse configurazioni R3. La strategia di connettività adottata prevede un approccio a tecnologie primaria e secondaria (fallback), con selezione automatica del canale disponibile da parte del gateway bordo.

12.3.1 Verifica copertura reale nei siti pilota selezionati

La Tabella 12.4 riporta la verifica della copertura di rete per i cinque siti pilota del Progetto R3, basata sui dati AGCOM 2024 (Mappa Coverage Check) e Opensignal 2024, con indicazione della soluzione di connettività primaria raccomandata e dell'architettura di fallback per ciascun sito. Il rilievo di peer review IOT-04 (Significativo) aveva segnalato l'assenza di questa verifica nella v1.0.

Sito pilota (area)	4G LTE copertura	5G copertura	LoRa WAN	Satellite (Iridium/Starlink)	Connett. principale consigliata	Note e architettura di fallback (rilievo IOT-04)
Laguna di Cabras (OR — ZSC IT2080003)	✓	⚠	✓	✓	4G primaria + LoRa backup	Copertura 4G verif. su mappe AGCOM 2024 (TIM 98%, Vodafone 94%). LoRa: gateway portuale esistente Cabras (progetto LIFE Blue Ports). Satellite: Iridium SBD come ultima risorsa per zone senza segnale (centro laguna).
Stagno di Santa Gilla (CA — ZSC IT2008005)	✓	✓	✓	✓	4G/5G primaria	Prossimità a Cagliari garantisce copertura 5G (Vodafone SA-5G). LoRa: gateway portuale Cagliari-Elmas. Fallback satellite non necessario ma incluso come contingency.

Sito pilota (area)	4G LTE copertura	5G copertura	LoRa WAN	Satellite (Iridium/Starlink)	Connett. principale consigliata	Note e architettura di fallback (rilievo IOT-04)
Golfo dell'Asinara (SS — acque aperte)	✓	⚠	○	✓	4G primaria + Satellite fallback	Copertura 4G fino a 10–15 nm costa (verif. Opensignal 2024). Oltre 15 nm: perdita segnale → attivazione automatica Iridium SBD (buffering locale gateway + invio burst al rientro in copertura). LoRa non applicabile (distanza).
Golfo di Orosei (NU — acque aperte)	⚠	○	○	✓	Satellite primaria + 4G costa	ATTENZIONE: copertura 4G verificata solo entro 5 nm dalla costa (TIM 78%). Zone di pesca oltre 5 nm: copertura insufficiente. Soluzione raccomandata: Starlink Maritime (latency <40ms, 50–200 Mbps) o Iridium SBD per telemetria leggera. Rilievo IOT-04 critico per questo sito.
Acque del Sulcis (CI — pesca lagunare/costiera)	✓	⚠	✓	✓	4G primaria + LoRa in laguna	Stagno di Porto Botte e acque costiere: copertura 4G buona entro 8 nm. Laguna: gateway LoRa da installare nel porto di Sant'Antioco (costo stimato €800–1.200 per gateway + antenne). Fallback satellite per uscite lunghe.

Tab. 12.4 — Verifica copertura connettività (4G/5G/LoRa/satellite) nei siti pilota del Progetto R3 e architettura di fallback. Rilievo IOT-04 risolto.

Rilievo IOT-04 (Significativo) — RISOLTO: La copertura di rete nei siti pilota è ora verificata su fonti pubbliche (AGCOM 2024, Opensignal 2024) e riportata in Tab. 12.4 con la tecnologia di connettività raccomandata per ciascun sito. Il Golfo di Orosei è identificato come sito critico richiedente connettività satellite primaria (Starlink Maritime o Iridium SBD). Il costo della connettività satellite (€0,04/messaggio Iridium SBD) è incluso nel modello OPEX della CBA (§17.2.1, All. C).

12.3.2 Architettura di fallback: satellite IoT (Iridium SBD, Starlink Maritime) per siti senza 4G

Per i siti dove la copertura 4G/5G è insufficiente per garantire la trasmissione continua dei dati IoT (in particolare il Golfo di Orosei), il Progetto R3 prevede due livelli di fallback: (a)

Iridium Short Burst Data (SBD): tecnologia satellite LEO bidirezionale con latenza 20–60 secondi e payload massimo 340 byte per messaggio. Adatta per trasmissione telemetria essenziale (SoC, consumo gasolio, posizione GPS, allarmi) con frequenza ridotta (ogni 15–30 minuti). Costo: €0,04–0,08 per messaggio SBD. Modulo hardware: RockBLOCK 9603 (integrato nel gateway bordo). (b)

Starlink Maritime: connessione a banda larga satellite LEO con latenza <40ms e banda 50–200 Mbps. Adatta per trasmissione dataset completo e aggiornamenti firmware OTA. Costo: €250/mese con antenna Starlink Flat High Performance. Soluzione raccomandata per il sito Golfo di Orosei dove la copertura 4G è verificata insufficiente e il volume di dati M&V supera le capacità Iridium SBD.

12.4 Data quality, audit trail e sicurezza informatica

La qualità del dato e l'integrità dell'audit trail sono prerequisiti tecnici per la validità della rendicontazione FEAMPA e per la credibilità scientifica dei dati M&V del Progetto R3. Il framework di data quality adottato integra i requisiti metrologici (calibrazione ISO/IEC 17025, tracciabilità SIT/Accredia), i requisiti di integrità informatica (hash chain, timestamping RFC 3161) e i requisiti normativi di protezione dei dati personali (GDPR pseudonimizzazione delle tracce GPS). La Tabella 12.6 riporta i cinque requisiti principali con le specifiche tecniche di implementazione.

12.4.1 Conformità Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847): componenti soggetti, requisiti by design

Il Regolamento (UE) 2024/2847 — Cyber Resilience Act (CRA) — in vigore dal 10 dicembre 2024, introduce per la prima volta nell'Unione Europea requisiti orizzontali obbligatori di sicurezza informatica per tutti i 'prodotti con elementi digitali' immessi sul mercato UE. Il Progetto R3 è direttamente interessato dal CRA in quanto acquirente e utilizzatore di prodotti IoT soggetti. Il rilievo di peer review IOT-01 (Critico) aveva segnalato l'assenza totale del CRA nella v1.0: la Tabella 12.5 risolve sistematicamente tale lacuna, classificando ogni componente IoT del sistema R3 rispetto al CRA e definendo i requisiti di implementazione.

Componente IoT / Categoria CRA	Classe di rischio (CRA Annex III)	Requisiti essenziali applicabili (CRA Art. 10–13)	Implementazione nel Progetto R3
Sonde multiparametriche (T°, DO, pH, torbidità, clorofilla-a)	Classe I (prodotto standard)	Art.10: nessuna CVE nota al momento della commercializzazione; superficie di attacco minimizzata; configurazione sicura di default. Art.13: SBOM; documentazione tecnica; istruzioni per l'uso.	Le sonde non hanno connettività diretta a internet (solo RS-485 locale verso gateway). Rischio cyber basso. Requisiti: firmware non aggiornabile da remoto (sensori passivi) → SBOM semplificata. Verifica CVE al momento dell'acquisto.
Gateway bordo IoT (OS embedded, 4G/5G, VPN)	Classe II (prodotto importante)	Art.10: misure di sicurezza robuste; autenticazione; crittografia; log di sicurezza; gestione aggiornamenti sicuri. Art.11: notifica vulnerabilità a ENISA entro 24h. Art.13: SBOM	Il gateway è il componente CRA più critico del sistema. Requisiti specifici R3: (a) OS Linux hardened (Yocto/buildroot con SELinux); (b) VPN WireGuard con autenticazione certificato; (c) aggiornamenti OTA firmati con

Componente IoT / Categoria CRA	Classe di rischio (CRA Annex III)	Requisiti essenziali applicabili (CRA Art. 10–13)	Implementazione nel Progetto R3
		completa; DoC CRA (da dic. 2027).	chiave privata R3; (d) log locale con hash-chain per integrità audit trail; (e) porta SSH disabilitata in produzione. Rilievi IOT-01, IOT-02.
BMS con interfaccia CAN-bus / cloud	Classe II (prodotto importante)	Art.10: autenticazione mutual TLS per connessione cloud; protezione da comandi non autorizzati; nessun accesso di default senza autenticazione. Art.13: SBOM del firmware BMS.	Il BMS cloud è soggetto CRA in quanto prodotto con interfaccia di rete. Requisiti R3: (a) API BMS accessibile solo tramite API key con rotazione ogni 90 giorni; (b) firewall applicativo che blocca comandi non-read per utenti non-admin; (c) log degli accessi con timestamping (audit trail per FEAMPA). Rilievo IOT-01.
Idrofono calibrato UWN (passivo, nessuna connettività diretta)	Fuori campo CRA (nessuna funzione digitale autonoma)	Escluso dal CRA: l'idrofono è un trasduttore analogico che converte pressione acustica in segnale elettrico. Nessun firmware, nessuna connettività. Il digitale inizia al datalogger/ADC, soggetto a Classe I.	Il convertitore ADC (Analog-to-Digital Converter) e il datalogger UWN sono Classe I CRA. Requisiti: firmware non modificabile (FPGA o MCU con fusibili OTP); SBOM semplificata. Protocollo misura: ISO 17208-1/2. Cfr. §23.2.2.
Piattaforma cloud M&V (SaaS, API REST, dashboard Grafana)	NIS2 (D.Lgs 138/2024) — non CRA	NIS2 Art.21: misure tecniche e organizzative minime per soggetti essenziali/importanti. Sicurezza della catena di approvvigionamento; crittografia; controllo accessi; gestione incidenti. Notifica incidenti significativi entro 24h.	La piattaforma cloud M&V è un servizio digitale soggetto a NIS2 se la cooperativa è classificata come soggetto importante (soglia: >50 dipendenti o >€10M fatturato). Valutazione assoggettabilità in §3.4.3. Misure minime: MFA per tutti gli utenti; backup crittografato ogni 24h; piano di risposta agli incidenti. Rilievo IOT-02.

Tab. 12.5 — Classificazione dei componenti IoT del Progetto R3 ai sensi del Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847): classe di rischio e requisiti. Rilievo IOT-01 risolto.

Rilievo IOT-01 (Critico) — RISOLTO: Il Cyber Resilience Act (Reg. UE 2024/2847) è ora integralmente integrato nel Progetto R3: nel quadro normativo (§8.3.2), nei criteri di selezione delle tecnologie (§2.2.3), nell'architettura IoT (§12.2), nella supply chain security (§12.2.1), nella classificazione dei componenti (Tab. 12.5), nella gestione del rischio IoT (§18.4.2), nel piano di monitoraggio (§23.4.2) e nel capitolato fornitori (All. D, §20.2.1).

12.4.2 Supply chain security: SBOM, politica patch e bug bounty dei fornitori IoT

Requisito di qualità / integrità	Standard / riferimento	Implementazione tecnica nel sistema R3	Rilevanza per rendicontazione FEAMPA
Identificazione e validazione outlier	ISO 8258 (carte di controllo Shewhart); algoritmo IQR (Interquartile Range) o Z-score modificato	Edge computing nel gateway bordo: ogni misura viene confrontata con la media mobile degli ultimi 10 valori. Valore fuori dalla banda $\pm 3\sigma$: flaggato come 'outlier' e trasmesso con flag QC=2 (sospetto). Il cloud calcola la statistica finale escludendo i QC=2. Soglie specifiche per parametro (es. torbidità: outlier se $\Delta NTU/min > 200$).	FEAMPA richiede dati M&V di 'qualità verificabile'. Il flag QC permette di documentare la catena di qualità dal sensore al report di rendicontazione.
Continuità e completezza del dato (data completeness)	Soglia minima: $\geq 80\%$ dei valori attesi ricevuti per ogni KPI primario (EN-01, EM-01) per ogni giornata di pesca rendicontata	Il datalogger locale garantisce la continuità del dato in assenza di connettività (buffering fino a 30 giorni). Al ripristino della connessione: upload batch con timestamp originale. Il sistema M&V calcola la completezza per ogni KPI e periodo: valori $< 80\%$ generano alert per il responsabile dati cooperativa.	Soglia 80% completezza è il requisito minimo FEAMPA per accettare i dati M&V nella rendicontazione finale (DM MASAF linee guida monitoraggio, 2022).
Integrità e non-repudiabilità (audit trail)	Hash SHA-256 per ogni record; log immutabile; timestamping RFC 3161 (Trusted Timestamping)	Ogni record di dato acquisito viene firmato con SHA-256 + timestamp RFC 3161 al momento della creazione nel gateway. Il log è append-only (nessuna modifica o cancellazione possibile). In cloud: hash-chain (tipo blockchain privata) per garantire l'immutabilità dell'audit trail. In caso di dispute, il log è verificabile da auditor terzo (FEAMPA/MASAF).	L'audit trail immutabile è la garanzia tecnica che i dati M&V non sono stati manipolati dopo la misurazione. Requisito implicito nelle linee guida FEAMPA per la prevenzione delle frodi rendicontuali.
Calibrazione e tracciabilità metrologica	ISO/IEC 17025 (laboratori di calibrazione accreditati); certificati di calibrazione SIT/Accredia per sensori primari	Calibrazione iniziale obbligatoria (FAT) per tutti i sensori primari (flussimetro, idrofono, sonde multiparametriche) presso laboratorio accreditato. Calibrazione periodica: annuale per flussimetro e sonde acqua; biennale per idrofono (ISO 17208-2). Certificati di calibrazione archiviati nel sistema M&V cloud con link al record del sensore.	La tracciabilità metrologica è condizione per l'accettazione dei dati di misura come evidenza nel dossier FEAMPA. Senza certificato di calibrazione SIT/Accredia, i dati non possono essere usati per dimostrare la conformità ai KPI target.

Requisito di qualità / integrità	Standard / riferimento	Implementazione tecnica nel sistema R3	Rilevanza per rendicontazione FEAMPA
Pseudonimizzazione dati GPS (GDPR)	Reg. UE 2016/679 Art. 25 (privacy by design); Art. 89 (garanzie per ricerca); ENISA Guidelines on Pseudonymisation 2019	Le tracce GPS con identificazione dell'imbarcazione (e indirettamente dell'armatore) vengono pseudonimizzate prima dell'archiviazione cloud: sostituzione del MMSI/numero iscrizione con ID pseudonimo interno (tabella di corrispondenza criptata con AES-256, accesso solo a DPO e responsabile dati). I dati aggregati (es. carta di densità pesca) vengono pubblicati/condivisi solo in forma anonima.	Il GPS dell'imbarcazione è un dato personale ex GDPR (identifica indirettamente l'armatore). Obbligo di DPIA (art.35 GDPR) prima del trattamento massivo delle tracce GPS. La pseudonimizzazione riduce il rischio GDPR da 'alto' a 'medio'. Rilievo IOT-03.

Tab. 12.6 — Requisiti di data quality, integrità e audit trail per il sistema IoT M&V del Progetto R3: implementazione tecnica e rilevanza per la rendicontazione FEAMPA.

Rilievo IOT-02 (Critico) — RISOLTO: La Direttiva NIS2 (Dir. 2022/2555) e il D.Lgs 138/2024 sono ora integrati nel Progetto R3: nel quadro normativo (§8.3.3), nella classificazione dei componenti IoT (Tab. 12.5 — piattaforma cloud M&V come soggetto NIS2 potenziale), nei requisiti di sicurezza per il gateway bordo (Tab. 12.2 Layer 2 e 4), nella gestione del rischio (§18.4.2) e nel piano di monitoraggio della sicurezza (§23.4.3). La valutazione di assoggettabilità NIS2 per le cooperative UN.I.COOP è rimandata alla Fase 0 (§3.4.3), in funzione delle dimensioni aziendali.

Rilievo IOT-03 (Significativo) — RISOLTO: I dati GPS dell'imbarcazione sono classificati come dati personali ex GDPR (identificazione indiretta dell'armatore). La pseudonimizzazione sistematica prima dell'archiviazione cloud (Tab. 12.6) riduce il rischio GDPR da alto a medio. Il registro del trattamento (art.30 GDPR) e la DPIA (art.35 GDPR) sono previsti rispettivamente in §3.4.1 e §26.2.

12.5 Ottimizzazione ML del PMS e compliance AI Act (Reg. UE 2024/1689)

Il Regolamento (UE) 2024/1689 sull'Intelligenza Artificiale (AI Act), in vigore dal 1° agosto 2024 con applicazione progressiva fino al 2027, introduce una classificazione dei sistemi AI per livello di rischio (minimo, limitato, alto, inaccettabile) con obblighi crescenti in funzione della classe. Il rilievo di peer review IOT-05 (Significativo) aveva segnalato l'assenza di questa analisi per il modulo ML del PMS: la Tabella 12.7 riporta la verifica di assoggettabilità per le quattro funzioni ML del sistema R3 e i requisiti di implementazione derivanti.

Tab. 12.5 Requisiti minimi: trasparenza algoritmica, supervisione umana, documentazione tecnica

Funzione ML del PMS	Analisi di assoggettabilità AI Act (Reg. UE 2024/1689)	Classificazione e requisiti applicabili	Implementazione nel Progetto R3
Previsione profilo di missione (stima consumo giornata tramite ML su dati storici)	Allegato III AI Act: 'Sistemi AI per sicurezza della navigazione' sono elencati tra i sistemi ad alto rischio solo se usati per il controllo diretto di sistemi critici di sicurezza. La	CLASSIFICAZIONE: rischio limitato (Art. 52 AI Act). Non soggetto agli obblighi degli Artt. 9–15 (sistemi alto rischio). Obbligo: trasparenza verso	Implementazione: (a) pannello di controllo bordo mostra sempre 'STIMA AI' accanto ai valori predetti; (b) l'operatore può

Funzione ML del PMS	Analisi di assoggettabilità AI Act (Reg. UE 2024/1689)	Classificazione e requisiti applicabili	Implementazione nel Progetto R3
	previsione del profilo di missione è una funzione di supporto decisionale (non controllo diretto) → non qualifica come alto rischio.	l'utente che il sistema utilizza AI (Art. 52 c.1).	sovrascrivere qualsiasi raccomandazione del PMS in qualsiasi momento; (c) documentazione del modello ML allegata al manuale del sistema (§16.5).
Ottimizzazione distribuzione energia (commutazione diesel/EL tramite ML)	La commutazione automatica tra modalità diesel e EL è una funzione di controllo attiva del sistema propulsivo. Verifica Allegato III: categoria 'sicurezza della navigazione' si applica a sistemi che 'controllano autonomamente sistemi critici di sicurezza a bordo di navi'. Il PMS ML che commuta la propulsione è potenzialmente soggetto.	CLASSIFICAZIONE: zona grigia → approccio conservativo: trattare come sistema ad ALTO RISCHIO (Artt. 9–15 AI Act) fino a chiarimento CE. Requisiti: (a) sistema di gestione della qualità AI; (b) valutazione della conformità; (c) trasparenza e supervisione umana; (d) robustezza e accuratezza documentata; (e) registrazione e log delle decisioni.	Approccio R3: (a) il PMS ML per la commutazione propulsiva è implementato come 'advisory only': propone la commutazione ma l'esecuzione richiede conferma esplicita dell'operatore (override obbligatorio); (b) log di ogni decisione ML con spiegazione leggibile (XAI — explainable AI); (c) kill switch fisico per disabilitare il modulo ML e ritornare a logica deterministica.
Rilevamento anomalie sensoriali (outlier detection, drift detection)	Funzione di monitoraggio della qualità dei dati. Non influenza direttamente il controllo della propulsione o della navigazione. Non soggetto ad Allegato III.	CLASSIFICAZIONE: rischio minimo (Art. 69 AI Act — voluntary codes of conduct). Nessun obbligo cogente.	Implementazione standard: algoritmo statistico (IQR + CUSUM) per rilevamento drift sensori. Output: alert al responsabile dati cooperativa. Nessun requisito AI Act specifico oltre alla buona prassi di documentazione algoritmica (§12.4.1).
Stima CPUE da dati IoT (modello predittivo catture da parametri ambientali)	Non soggetto ad Allegato III. Non influenza sistemi di sicurezza, non costituisce decisione automatica con effetti giuridici sull'armatore (Art. 22 GDPR).	CLASSIFICAZIONE: rischio minimo. Funzione opzionale di valorizzazione dei dati IoT per la gestione della pesca. Non critica per la	Implementazione opzionale in Fase 3 (Cap. 21). Modello regressivo (Random Forest o Gradient Boosting) addestrato su dati

Funzione ML del PMS	Analisi di assoggettabilità AI Act (Reg. UE 2024/1689)	Classificazione e requisiti applicabili	Implementazione nel Progetto R3
		sicurezza né per la conformità normativa.	M&V Fase 1/2. Risultati pubblicati come ricerca collaborativa CNR-IAS/UniCA (§26.3). Obbligo trasparenza Art. 52 se output presentato a utenti.

Tab. 12.7 — Verifica assoggettabilità AI Act (Reg. UE 2024/1689) per le funzioni ML del PMS del Progetto R3: classificazione e requisiti. Rilievo IOT-05 risolto.

Principio di supervisione umana (human oversight) nel Progetto R3: La classificazione conservativa adottata per il modulo ML di commutazione propulsiva (trattato come sistema ad alto rischio fino a chiarimento CE — Tab. 12.7 riga 2) implica che il PMS ML del Progetto R3 sia progettato con il principio di **'advisory only'**: il sistema AI può raccomandare la modalità operativa ottimale (diesel/EL/combinato) ma l'esecuzione richiede sempre la conferma esplicita dell'operatore a bordo. Questo approccio è coerente con i requisiti di supervisione umana dell'AI Act (art. 14) e garantisce la sicurezza della navigazione indipendentemente dall'affidabilità del modello ML. Il **kill switch fisico** per disabilitare il modulo ML (ritorno a logica deterministica PMS) è un componente obbligatorio dell'installazione e viene testato in FAT e SAT.

Rilievo IOT-05 (Significativo) — RISOLTO: La verifica di assoggettabilità dell'AI Act per tutte le funzioni ML del PMS del Progetto R3 è ora riportata nella Tab. 12.7 con la classificazione per livello di rischio, i requisiti applicabili e l'implementazione tecnica specifica. Il principio 'advisory only' per la commutazione propulsiva ML garantisce la sicurezza della navigazione e la conformità ai requisiti di supervisione umana (AI Act art. 14) anche nel caso in cui il modulo ML sia classificato ad alto rischio. Il cross-reference con §8.3.4, §3.4.2 e §18.4.3 completa la copertura del rilievo.

13. Life Cycle Assessment (LCA) del Sistema Ibrido

Framework ISO 14040/14044/14067 · Perimetro cradle-to-grave · LCI batterie LiFePO4 e motore PM · GWP100 · EP · AP · ADP · Break-even emissivo · DNSH Obj.1 e Obj.4

⚠️ NOTA METODOLOGICA OBBLIGATORIA — LCA a livello SCREENING

La presente analisi è condotta a livello di LCA screening ai sensi dell'ISO 14044:2006 Annex B ('simplified LCA procedures'), adeguata per uno Studio di Fattibilità a supporto di decisioni di investimento. I risultati NON possono essere utilizzati per: (a) affermazioni comparative verso terzi; (b) certificazioni EPD; (c) rendicontazioni ESG formali verso enti finanziari; (d) pubblicazioni scientifiche peer-reviewed. Per tali utilizzi è necessaria una LCA completa conforme ISO 14044 con dati LCI primari misurati durante il pilota e revisione critica da parte di un revisore esterno indipendente. La LCA completa è classificata come deliverable obbligatorio della Fase 2 del pilota (§21.1, milestone M2-07).

Il presente capitolo sviluppa la Life Cycle Assessment (LCA) del sistema di propulsione ibrida del progetto R3 a livello di screening, risolvendo il rilievo critico AMB-01 della peer review che aveva rilevato l'assenza totale di analisi del ciclo di vita nella versione v1.0 dello studio. L'LCA è organizzata secondo le quattro fasi della ISO 14040:2006 (obiettivo e campo di applicazione; analisi dell'inventario LCI; valutazione degli impatti LCIA; interpretazione) e produce i risultati necessari per due funzioni chiave del progetto: la verifica della conformità DNSH Obiettivo 1 (mitigazione cambiamenti climatici, soglia TSC $\geq 40\%$ riduzione GHG) e la documentazione delle performance di economia circolare per il DNSH Obiettivo 4.

Il risultato principale dell'LCA è la quantificazione del break-even emissivo (8,8 mesi con CER portuale attiva) e della riduzione lifecycle GWP (-41,8% in 10 anni con CER vs -38,2% senza CER). Questo risultato dimostra che la CER portuale è letteralmente la condizione che determina la conformità o non conformità al test DNSH Obiettivo 1: un differenziale di appena 3,6 punti percentuali separa la conformità dalla non conformità, rendendo la CER portuale la singola misura più critica dell'intero progetto.

13.1 Framework LCA: ISO 14040:2006 + ISO 14044:2006 + ISO 14067:2018 (Carbon Footprint)

Il framework metodologico dell'LCA R3 si basa su tre standard internazionali della famiglia ISO 14040: la ISO 14040:2006 (principi e struttura in quattro fasi), la ISO 14044:2006 (requisiti e linee guida per ogni fase, inclusa la procedura semplificata dell'Annex B per il livello screening), e la ISO 14067:2018 (Carbon Footprint of Products, per il calcolo specifico del GWP100 e della carbon footprint lungo il ciclo di vita). I dati dell'inventario sono tratti principalmente dal database ecoinvent 3.9 (versione 2023) per la produzione dei componenti, dal rapporto JRC Well-to-Wheel v5.0 (2022) per il fattore emissivo del gasolio marittimo, e dall'Inventario Nazionale delle Emissioni ISPRA 2023 per il fattore emissivo della rete elettrica della Sardegna. La Tabella 13.1 riporta le scelte metodologiche adottate per ciascun elemento del framework, con la giustificazione tecnica e l'indicazione del livello di evidenza dei dati utilizzati.

Tabella 13.1 — Framework LCA screening R3: scelte metodologiche, standard adottati, livelli di incertezza e limitazioni

Elemento metodologico	Scelta adottata e giustificazione per lo Studio di Fattibilità R3
Livello dell'analisi	SCREENING LCA — ISO 14044:2006 Annex B ('simplified LCA procedures'). Giustificazione: studio di fattibilità a supporto di decisioni di investimento, non LCA certificata a scopo comparativo pubblico. Dati: mix Lv.1 (JRC 2022, ISPRA 2023, ecoinvent 3.9) e Lv.3 (stime basate su letteratura). LCA completa da commissionare in Fase 2 del pilota (cfr. Nota metodologica §A.5.3).
Standard di riferimento primario	ISO 14040:2006 (LCA — Principi e quadro di riferimento): struttura in 4 fasi (Goal & Scope, LCI, LCIA, Interpretation). ISO 14044:2006 (LCA — Requisiti e linee guida): requisiti per ogni fase e per il reporting. ISO 14067:2018 (Carbon Footprint of Products): metodologia specifica per calcolo GWP e carbon footprint lungo il ciclo di vita (usata per la sezione GWP100).

Standard complementari e fonti database	ecoinvent 3.9 (2023): database LCI per produzione batterie LiFePO ₄ , rame, acciaio, componenti elettronici. JRC Well-to-Wheel v5.0 (2022): fattori emissivi gasolio marittimo (WTT + TTW = 2,68 kgCO ₂ eq/l). ISPRA 2023: fattore emissivo rete elettrica Sardegna (0,350 kgCO ₂ /kWh). CML-IA baseline 2016 (Leiden University): metodo LCIA per EP, AP, ADP.
Configurazione analizzata (unità di analisi)	Configurazione B: sistema ibrido per imbarcazione da pesca artigianale <12m (motore diesel 40 kW + motore EL 15 kW + pack batterie LiFePO ₄ 30 kWh + BMS + gateway IoT). Confronto vs baseline: stessa imbarcazione con solo motore diesel 40 kW. Nota: la Config. L (lagunare EL puro) è trattata separatamente con stesso schema nel §13.5.2.
Unità funzionale	1 anno di attività di pesca artigianale professionale con imbarcazione <12m in Sardegna (GSA 11), corrispondente a 200 giornate di pesca × 8 ore operative/giornata = 1.600 ore operative/anno. Il confronto baseline/ibrido è effettuato su 10 anni (orizzonte CBA) per consentire il calcolo del break-even emissivo.
Confini del sistema (system boundary)	CRADLE-TO-GRAVE con esclusione del fine vita infrastruttura porto (fuori perimetro, contributo marginale). Include: A1–A3 (produzione componenti: motore EL, batterie, BMS, IoT); B6 (energia operativa: gasolio + shore power); C3–C4 (fine vita batterie: riciclaggio materiali e smaltimento RAEE). Esclude: costruzione/smaltimento dello scafo (invariante tra baseline e sistema ibrido — approccio 'cut-off' giustificato dall'ISO 14044 §4.3.3).
Metodo di allocazione	Espansione del sistema per il fine vita batterie: il beneficio del riciclaggio (litio, ferro, rame recuperati) è attribuito al sistema come credito emissivo negativo (approccio 'credits for recycling', coerente con EN 15804+A2). Non si procede ad allocazione per co-prodotti perché il sistema è mono-prodotto (servizio di pesca professionale).
Livelli di incertezza dei dati LCI	Lv.1 (alta affidabilità, peer-reviewed): FE gasolio JRC 2022, FE rete ISPRA 2023. Lv.2 (dati ufficiali fornitori/database): dati ecoinvent 3.9 per produzione batterie e motore EL. Lv.3 (stime documentate): consumo gasolio medio flotta sarda (31,7 l/giornata), composizione specifica motore EL PM selezionato. Incertezza complessiva stimata: ±15–25% sui risultati finali (tipica per LCA screening — ISO 14044 Annex B).
Esclusioni e cut-off	Esclusi per contributo <1% al GWP totale stimato (criterio cut-off ISO 14044 §4.3.3): packaging dei componenti, trasporti interni al cantiere navale, oli lubrificanti EL (quantità trascurabili vs baseline diesel), sonda IoT singola (<0,5 kg CO ₂ eq per unità).
Limitazioni della LCA screening e percorso verso LCA completa	La presente LCA screening NON è adatta per: claim comparativi pubblici verso terzi; certificazione EPD (Environmental Product Declaration); rendicontazione formale CO ₂ verso enti finanziari (ESG); pubblicazione scientifica peer-reviewed. Per questi scopi è necessaria una LCA completa conforme ISO 14044 con: dati LCI primari misurati durante il pilota, revisione critica da parte di un revisore esterno indipendente (ISO 14044 §6), e rapporto completo. La LCA completa è un deliverable della Fase 2 del pilota (§21.1, milestone M2-07).

Nota: Il cut-off del 1% applicato ai flussi elementari (ISO 14044 §4.3.3) esclude dall'analisi i componenti con contributo stimato <1% al GWP totale: packaging delle colonnine di ricarica, oli lubrificanti del motore diesel (invariante), sensori IoT singoli. L'esclusione dello scafo dell'imbarcazione (costruzione e fine vita) è giustificata dal fatto che questa fase è comune sia al sistema baseline che al sistema ibrido e non influenza il confronto differenziale. Collegamento: §A.5.3 (nota metodologica VAS/VIncA/LCA nell'Executive Summary), All.J (workbook LCA_Screening_R3_v2.0.xlsx con calcoli dettagliati).

13.2 Perimetro del sistema e unità funzionale

Il perimetro del sistema è definito come cradle-to-grave per entrambi i sistemi confrontati (baseline diesel e sistema ibrido Config. B), con confini che includono le fasi A1–A3 (produzione dei componenti), B6 (uso energetico operativo) e C3–C4 (fine vita con riciclaggio e smaltimento). I moduli EN 15804+A2 sono adottati come riferimento per la struttura degli stadi del ciclo di vita, garantendo la coerenza con eventuali future EPD (Environmental Product Declaration) che potranno essere sviluppate in Fase 2. L'unità funzionale — 1 anno di attività di pesca artigianale professionale con imbarcazione <12m in GSA 11 (200 giornate × 8 ore operative) — consente la comparazione tra sistemi di diversa composizione materiale ma identica funzione di servizio.

13.2.1 Cradle-to-gate: produzione motore EL, batterie LiFePO₄, BMS, sensori IoT

La fase cradle-to-gate (moduli A1–A3) copre l'estrazione delle materie prime (A1), i trasporti verso i siti di trasformazione (A2) e i processi di produzione dei componenti (A3). Per il sistema ibrido Config. B, i quattro componenti principali analizzati sono: motore elettrico a magneti permanenti (PM) da 15 kW, pack batterie LiFePO₄ da 30 kWh, Battery Management System (BMS), e gateway IoT di bordo. La fase cradle-to-gate costituisce il 'debito emissivo' iniziale del sistema ibrido che deve essere ammortizzato attraverso il risparmio

operativo: il suo valore (3.545 kgCO₂ eq per Config. B) divide il risparmio mensile operativo e produce il break-even emissivo di 8,8 mesi (§13.5).

13.2.2 Use phase: emissioni operative (gasolio + shore power, FE JRC 2022)

La fase d'uso (modulo B6 — uso dell'energia) è dominante nel ciclo di vita di entrambi i sistemi, contribuendo al 98,7% del GWP lifecycle della baseline diesel e al 95,1% del GWP del sistema ibrido. Per la baseline diesel, il fattore emissivo adottato è quello del rapporto JRC Well-to-Wheel v5.0 (2022): 2,68 kgCO₂ eq/l di gasolio marittimo (WTT = 0,543 kgCO₂ /l + TTW = 2,137 kgCO₂ /l), che include sia le emissioni di produzione e distribuzione del carburante ('well to tank') sia le emissioni di combustione ('tank to wheels'). Questo approccio è coerente con la metodologia prescritta per il calcolo del GHG lifecycle nelle Linee Guida Tecniche per la Tassonomia (COM/2021/8661) e supera il semplice calcolo delle emissioni allo scarico.

Per il sistema ibrido, il consumo di gasolio è ridotto del 45% (assunzione A-03, Lv.3) e la quota di energia elettrica da shore power viene alimentata dalla CER portuale (FE = 0,050 kgCO₂ /kWh) o dalla rete Sardegna (FE = 0,350 kgCO₂ /kWh, ISPRA 2023). La distinzione tra questi due scenari produce i due casi critici della LCIA: conforme DNSH (-41,8%) e non conforme (-38,2%).

13.2.3 End-of-Life: smaltimento batterie (Reg. 2023/1542), riciclaggio materiali

La fase di fine vita (moduli C3–C4) include il trattamento delle batterie LiFePO₄ e del motore elettrico a magneti permanenti al termine della vita operativa del sistema (10 anni). Per le batterie, il Reg.UE 2023/1542 (Battery Regulation) fissa target minimi di recupero materiali: Li ≥80% entro 2031 (attualmente ≥70%), Co non applicabile per LFP, Ni non applicabile, Al ≥90%. Il metodo di riciclaggio adottato nell'analisi è la via idrometallurgica (processo standardizzato, ecoinvent 3.9), che produce un credito emissivo netto di -265 kgCO₂ eq per le batterie e -227 kgCO₂ eq per il motore EL, per un totale EoL di -492 kgCO₂ eq.

Un elemento emergente della normativa UE (Reg.2023/1542 art.14) è l'obbligo di valutazione della 'seconda vita' delle batterie con SoH ≥70% prima dello smaltimento: le batterie LiFePO₄ delle barche pilota, dopo 10 anni di uso marittimo con cicli moderati (200 gg/anno × ricarica giornaliera), potrebbero conservare un SoH del 75–80% — sufficiente per una seconda vita come storage fisso per la CER portuale. Questo scenario è analizzato nel §13.5 (Tabella 13.6, scenario 'batteria seconda vita') e produce un ulteriore miglioramento del break-even emissivo a 8,1 mesi.

Tabella 13.2 — Inventario LCI per fase: flussi elementari in ingresso/uscita, fattori emissivi e fonti dati per sistema baseline e sistema ibrido Config. B

Fase LCA	Moduli EN 15804	Componente / processo	Flusso elementare in (input)	Flusso elementare out (emissione)	Fonte dati e note metodologiche
A1–A3 Cradle-to-gate	A1 materie prime A2 trasporti A3 produzione	Motore EL PM 15 kW	Cu: 12,8 kg; Fe (lamine): 22,4 kg; Al: 4,1 kg; Nd (magneti PM): 0,95 kg; Dy: 0,12 kg; vernici isolanti: 0,8 kg; packaging: 1,2 kg	GWP: 485 kgCO ₂ eq EP: 1,12 kgPO ₄ eq AP: 2,34 kgSO ₂ eq ADP-el: 0,008 kgSbeq	ecoinvent 3.9 'electric motor, permanent magnet, 15 kW {GLO}'. Allocations per massa tra più motori per linea di produzione. Incertezza ±20% (Lv.2).
A1–A3 Cradle-to-gate	A1 materie prime A2 trasporti A3 produzione	Pack batterie LiFePO ₄ 30 kWh	Li ₂ CO ₃ : 5,4 kg; FePO ₄ : 38,7 kg; grafite: 12,3 kg; Al (currentcollector): 4,8 kg; electrolyte LiPF ₆ : 3,2 kg; BMS electronics: 1,8 kg; packaging: 2,4 kg	GWP: 2.940 kgCO ₂ eq EP: 6,14 kgPO ₄ eq AP: 8,92 kgSO ₂ eq ADP-el: 0,042 kgSbeq	ecoinvent 3.9 'LFP battery, 30 kWh {CN}' (produzione in Cina). Base letteratura: Peters et al. (2021) 'The Environmental Impact of Li-Ion Batteries', Nature Energy. 98 kgCO ₂ eq/kWh (Lv.2). Incertezza ±18%.
A1–A3 Cradle-to-gate	A1 materie prime A3 produzione	BMS (Battery Management System)	PCB: 0,42 kg (Cu, Au traces); semiconduttori: 0,08 kg; sensori: 0,06 kg; connettori IP68: 0,14 kg; housing Al: 0,35 kg	GWP: 68 kgCO ₂ eq EP: 0,18 kgPO ₄ eq AP: 0,52 kgSO ₂ eq ADP-el: 0,006 kgSbeq	ecoinvent 3.9 'electronics, for control unit {GLO}' scalato a 1,05 kg componenti elettronici. PCB produzione in Asia (distanza 12.000 km → trasporto aereo: +45 kgCO ₂ eq stimato). Incertezza ±25% (Lv.3 per composizione).

A1–A3 Cradle-to-gate	A1–A3	Gateway IoT bordo (edge computing)	PCB: 0,28 kg; antenne: 0,04 kg; housing IP67: 0,22 kg; cavi: 0,18 kg	GWP: 32 kgCO ₂ eq EP: 0,09 kgPO ₄ eq AP: 0,29 kgSO ₂ eq ADP- el: 0,003 kgSbeq	ecoinvent 3.9 'computing unit, IoT gateway {GLO}' (stima da componenti). Escluso per cut-off <1% GWP totale in singola unità; incluso per completezza. Incertezza ±30% (Lv.3).
B6 Use phase	B6 uso energia	Diesel baseline: 200 gg × 31,7 l/gg × 10 anni	Gasolio marino: 63.400 l/10anni = 53,7 t gasolio	GWP WTT+TTW: 169.912 kgCO ₂ eq NO _x : 1.268 kg SO _x : 89 kg PM ₁₀ : 22 kg (10 anni)	JRC Well-to-Wheel v5.0 (2022): FE WTT = 0,543 kgCO ₂ /l + FE TTW = 2,137 kgCO ₂ /l → totale 2,68 kgCO ₂ /l. 200 gg × 31,7 l × 2,68 × 10 anni = 169.912 kgCO ₂ eq. Lv.1 (peer-reviewed JRC).
B6 Use phase	B6 uso energia	Ibrido Config. B: -45% gasolio + shore power CER	Gasolio ridotto: 34.870 l/10anni; Energia EL: 34.160 kWh/10anni (FE CER 0,050 kgCO ₂ /kWh)	GWP ibrido: 93.451 + 1.708 = 95.159 kgCO ₂ eq (10 anni)	Gasolio: 34.870 l × 2,68 = 93.451 kgCO ₂ eq; Shore power CER: 34.160 kWh × 0,050 = 1.708 kgCO ₂ eq. Risparmio vs baseline: -74.753 kgCO ₂ eq (-44%). Lv.1 per FE; Lv.3 per riduzione gasolio (assunzione A-03: -45%).
C3–C4 End-of-Life	C3 trattamento rifiuti C4 smaltimento	Batterie LiFePO4 a fine vita (10 anni)	Pack batterie: 68,7 kg (peso totale) → Hydrometallurgy: recupero Li 85%, Fe 92%, P 75%, Al 95%	GWP smaltimento: +420 kgCO ₂ eq Credito riciclaggio: -685 kgCO ₂ eq Netto: -265 kgCO ₂ eq	Reg.UE 2023/1542 art.8–12: obbligo raccolta e riciclaggio batterie EV (target: 90% Li recuperato dal 2031). ecoinvent 3.9 'battery recycling, Li-ion, hydrometallurgical {CH}'. Credito = materiali recuperati × FE primario evitato. Incertezza ±22%.
C3–C4 End-of-Life	C4	Motore EL a fine vita	Motore PM: 39,3 kg → Recupero Cu 95%, Fe 98%, Al 90%, Nd 60% (terre rare: filiera corta)	GWP smaltimento: +85 kgCO ₂ eq Credito riciclaggio: -312 kgCO ₂ eq Netto: -227 kgCO ₂ eq	Il recupero del Nd (neodimio) ha un credito molto elevato per l'ADP (risorse abiotiche) perché evita l'estrazione primaria da miniere REE (impatto ADP specifico neodimio: 8,4×10 ⁻⁴ kgSbeq/kg Nd estratto primario). ecoinvent 3.9 'metal scrap, electric motor {EU}'.

Nota: I flussi elementari della fase A1–A3 per il motore diesel baseline non sono riportati in questa tabella perché il motore diesel è comune a entrambi i sistemi ed è escluso dal confronto differenziale (approccio cut-off conforme ISO 14044 §4.3.3). I valori di GWP, EP, AP e ADP riportati per fase sono quelli da sommare per ottenere il profilo lifecycle totale di ciascun sistema (Tab.13.5). L'incertezza stimata ±15–25% sull'inventario screening implica che i risultati finali possono variare in questo range: la conformità DNSH (-41,8% vs soglia 40%) è verificata ma con margine limitato, giustificando la raccomandazione di LCA completa in Fase 2.

13.3 Inventario materiali principali (LCI)

Il §13.3 riporta l'inventario dettagliato dei materiali principali (LCI — Life Cycle Inventory) per i due componenti del sistema ibrido con il maggiore impatto ambientale: il pack batterie LiFePO4 (§13.3.1) e il motore elettrico a magneti permanenti (§13.3.2). Per ciascun componente sono indicate la massa di ogni materiale, la percentuale sul peso totale, i quattro indicatori di impatto calcolati (GWP, EP, AP, ADP), le fonti del database e le note su criticità di supply chain e CRM (Critical Raw Materials ai sensi del Critical Raw Materials Act, Reg.UE 2024/1252).

13.3.1 Batterie LiFePO4: litio, FePO₄, grafite, alluminio — fonti ecoinvent 3.9

La chimica LiFePO4 (litio ferro fosfato) è scelta per il progetto R3 in quanto offre il miglior compromesso tra sicurezza (nessun rischio thermal runaway a T° operative normali, soglia di decomposizione esotermica >250°C vs <150°C per NMC), durata (>3.000 cicli a 80% SoH vs 1.500–2.000 per NMC), e impatto ambientale di produzione (assenza di cobalto — materiale ad alto impatto sociale e ambientale — e di nichel). Il GWP di produzione del pack LiFePO4 da 30 kWh è stimato a 2.233 kgCO₂ eq (intensità: 74,4 kgCO₂ eq/kWh), in linea con i valori pubblicati da Peters et al. (2021) per LFP (70–100 kgCO₂ eq/kWh) e leggermente superiore agli aggiornamenti BloombergNEF 2023 (65–75 kgCO₂ eq/kWh) che riflettono l'incremento della quota di energie rinnovabili nel mix produttivo cinese.

Tabella 13.3 — LCI pack batterie LiFePO4 30 kWh: composizione materiale, impatti per componente (GWP, EP, AP, ADP) e note su supply chain e CRM

Materiale / componente batteria LiFePO4 30 kWh	Massa (kg/pack)	% sul peso totale	GWP (kgCO ₂ eq)	EP (kgPO ₄ eq)	AP (kgSO ₂ eq)	ADP-el (kgSbeq)	Note su criticità, supply chain e indicatori specifici (kgCO ₂ eq/kg)
Litio carbonato (Li₂ CO₃) → elettrodi catodo	5,40	7,9%	281	0,62	1,14	0,0180	8,6 kgCO ₂ eq/kg Li ₂ CO ₃ (ecoinvent 3.9, brine extraction Atacama). Criticità supply chain: 60% produzione mondiale in Cile/Argentina. Reg.UE 2023/1542: obbligo passaporto batteria per tracciabilità Li. High ADP: risorsa non rinnovabile con alta domanda mercato EV.
Ferro fosfato (FePO₄) → catodo (attivo)	38,70	56,3%	697	1,84	2,21	0,0058	Principale vantaggio LiFePO4 vs NMC: il ferro è abbondante e a basso costo (18 kgCO ₂ eq/kg Fe vs 28–40 per Ni/Mn/Co in NMC). Nessuna criticità supply chain per Fe. La sintesi di FePO ₄ richiede acido fosforico (processo energivoro → AP alta).
Grafite sintetica → anodo	12,30	17,9%	430	0,95	1,68	0,0062	Produzione in Cina (70% quota globale). FE grafite sintetica: 35 kgCO ₂ eq/kg (ecoinvent 3.9). Proposta UE: requisiti minimi grafite riciclata nelle batterie dal 2031 (Reg.2023/1542 art.11). Alternativa emergente: grafite da riciclaggio batterie (<15 kgCO ₂ eq/kg previsto al 2030).
Alluminio (current collector e housing)	9,60	14,0%	336	0,72	1,88	0,0038	FE Al primario: 11,7 kgCO ₂ eq/kg (ecoinvent 3.9, mix energetico globale); con Al riciclato: 0,5 kgCO ₂ eq/kg (-96%). Il

							capitolato fornitori (All.D) deve specificare la quota minima di Al riciclato nel pack (raccomandazione: $\geq 50\%$ per il housing).
Elettrolita (soluzione LiPF₆ in solventi organici)	3,20	4,7%	198	0,43	1,12	0,0074	Criticità: soluzione LiPF ₆ è corrosiva e reagisce violentemente con acqua — rilevante per gestione del rischio RA-01 (§18.3.1). FE: 61,9 kgCO ₂ eq/kg LiPF ₆ . La ricerca su elettroliti solidi (solid-state) prevede eliminazione di LiPF ₆ entro 2028–2030 (Toyota/CATL roadmap).
Separatore e materiali accessori	2,90	4,2%	126	0,28	0,63	0,0024	Principalmente polipropilene (PP) e polietilene (PE). FE PE: 2,5 kgCO ₂ eq/kg; PP: 2,2 kgCO ₂ eq/kg. Contributo minore ma non trascurabile per EP (processi petrolchimici).
BMS electronics (circuiti integrati nel pack)	1,80	2,6%	68	0,18	0,52	0,0060	Componente con più alta intensità GWP per kg: 37,8 kgCO ₂ eq/kg (circuiti integrati ecoinvent). Contributo ADP significativo per i metalli rari nei semiconduttori (In, Ga, Ge). Peso ridotto ma impatto relativo elevato.
Packaging e struttura es. BMU housing IP68	2,80	4,1%	97	0,21	0,49	0,0016	Principalmente acciaio (AISI 316L per marine-grade: 6,2 kgCO ₂ eq/kg) e guarnizioni EPDM. Calcolato per intero.
TOTALE pack LiFePO₄ 30 kWh (68,7 kg)	68,70	100%	2.233	5,23	9,67	0,0512	VALORE TOTALE per pack batterie 30 kWh (Fase A1–A3 sola produzione). Non include use phase (carica/scarica) né end-of-life. Intensità GWP: 74,4 kgCO₂ eq/kWh nominale — in

Alluminio — housing, flange, dissipatori	4,10	10,4%	48	0,10	0,27	0,0010	FE Al primario: 11,7 kgCO ₂ eq/kg. Con Al riciclato (raccomandato per housing): 0,5 kgCO ₂ eq/kg. Il housing in Al garantisce ottimo rapporto peso/resistenza per installazione a bordo barca <12m (obiettivo peso motore EL <30 kg totali). Marine-grade: Al 6061-T6 o 5086.
Neodimio (Nd) — magneti permanenti NdFeB	0,95	2,4%	112	0,18	0,34	0,0380	CRITICITÀ MASSIMA. FE Nd primario: 118 kgCO ₂ eq/kg (estrazione REE in Cina, ecoinvent 3.9). Nd: CRM Allegato I con rischio supply chain 'critico' (score 4.0/4.0 nel CRM Act 2024 — dipendenza ≥98% da Cina). ADP-el per Nd: 0,04 kgSbeq/kg (il più alto tra tutti i materiali). Credito EoL recupero Nd: fino a -92 kgCO ₂ eq se recuperato con filiera corta urbana. Alternativa 2030: motori a riluttanza commutata (no terre rare) ma minore power density.
Disprosio (Dy) — magneti NdFeB ad alta T°	0,12	0,3%	18	0,03	0,07	0,0058	CRM con rischio supply chain critico (100% dipendenza da Cina). Aggiunto per garantire le proprietà magnetiche a temperature operative >80°C (rilevante per uso marino). Quantità ridotta ma ADP specifico elevato. Tendenza: riduzione o sostituzione Dy con Nd puro per applicazioni <85°C.
Vernici isolanti, resine e impregnazione	0,80	2,0%	24	0,07	0,18	0,0005	Principalmente resine epossidiche (classe isolamento H per uso marino, T° max 180°C). FE resina epossidica: 6,5 kgCO ₂ eq/kg. Impatto limitato ma

							permanente (non riciclabili convenzionalmente — valore residuo motore EL minore rispetto al Cu puro).
Connettori, cavi interni e morsettiera IP68	0,78	2,0%	18	0,05	0,13	0,0004	Cu + PVC marine-grade. Incluso per completezza — contributo inferiore al 5% del GWP totale motore.
TOTALE motore EL PM 15 kW (39,35 kg)	39,35	100%	562	1,21	2,98	0,0521	GWP specifico motore: 14,3 kgCO₂ eq/kg — molto inferiore alle batterie (74,4 kgCO₂ eq/kWh eq.). L'impatto ADP-el del motore è dominato quasi interamente dal Nd (0,038/0,052 = 73%). La scelta di motori PM con Nd è ottimale per GWP ma critica per ADP: il compromesso è accettabile per un sistema con 10+ anni di vita operativa e credito recupero Nd all'EoL.

Nota: Il neodimio (Nd) rappresenta solo il 2,4% del peso del motore ma il 19,9% del GWP di produzione (112 kgCO₂ eq / 562 totali) e il 73,0% dell'ADP-el (0,038 / 0,052 kgSbeq). Il credito di fine vita per il recupero del Nd (-92 kgCO₂ eq stimato se recuperato con filiera idrometallurgica europea) riduce significativamente il GWP lifecycle netto del motore. La filiera di recupero Nd in Europa è ancora emergente (Solvay, Umicore): il capitolato fornitori (All.D) deve includere la clausola di restituzione del motore EoL a un centro di recupero certificato. Collegamento: Tab.13.3 (confronto LCI batterie), §18.4.4 RC-08 (rischio supply chain fornitori IoT — analogia con supply chain REE).

13.4 Indicatori di impatto: GWP100 (kgCO₂ eq), EP, AP, ADP

La valutazione degli impatti (LCIA, Life Cycle Impact Assessment) utilizza quattro indicatori di impatto selezionati sulla base della rilevanza per il progetto R3 e della disponibilità di dati caratteristici per tutti i materiali dell'inventario. Il metodo LCIA adottato è il CML-IA baseline 2016 (Leiden University), metodo midpoint (orientato ai problemi) ampiamente utilizzato nelle LCA di sistemi energetici e di mobilità elettrica. I quattro indicatori sono: GWP100 (Global Warming Potential a 100 anni, in kgCO₂ eq) — prioritario per la DNSH Obiettivo 1 e per ISO 14067; EP (Eutrophication Potential, in kgPO₄ eq) — rilevante per gli habitat lagunari sardi e il DNSH Obiettivo 3; AP (Acidification Potential, in kgSO₂ eq) — indicatore degli impatti da SO_x e NO_x su ecosistemi terrestri e marini; ADP-el (Abiotic Depletion Potential per elementi, in kgSbeq) — rilevante per la valutazione dei CRM (terre rare, litio) e per il DNSH Obiettivo 4.

Un quinto indicatore — il consumo di energia non rinnovabile (CED-nr, MJ-eq) — è calcolato a livello di screening ma non riportato in forma tabellare per brevità, dato che il suo andamento è sostanzialmente proporzionale al GWP. La Tabella 13.5 (§13.5) riporta i valori completi dei quattro indicatori per tutte le fasi lifecycle e per entrambi i sistemi (baseline diesel e sistema ibrido Config. B).

13.5 Confronto baseline diesel vs sistema ibrido: break-even emissivo

Il confronto tra baseline diesel e sistema ibrido Config. B è strutturato in cinque sezioni nella Tabella 13.5: (1) profilo emissivo completo della baseline diesel per fase lifecycle; (2) profilo emissivo del sistema ibrido con CER portuale; (3) confronto differenziale e indicatori chiave di performance ambientale; (4) scenario

critico senza CER; (5) valori di riepilogo per i quattro indicatori. La separazione tra sezioni è evidenziata con righe di intestazione NAVY per facilitare la lettura.

Il risultato più importante è la quantificazione della riduzione GWP lifecycle: -41,8% con CER portuale attiva, che supera la soglia TSC DNSH del 40%, vs -38,2% senza CER, che non la supera. Il margine di conformità è di soli 1,8 punti percentuali sopra la soglia: sufficientemente robusto per il livello screening (± 15 -25% di incertezza sui dati) solo se si considera che la riduzione di gasolio assunta (-45%) è conservativa rispetto ad alcune installazioni benchmark (-48+52% riportati per Config. B in ambienti simili). La LCA completa in Fase 2 dovrà verificare questo margine con dati LCI primari misurati a bordo.

Tabella 13.5 — LCIA completa baseline diesel vs sistema ibrido Config. B: GWP, EP, AP per fase lifecycle (A1–A3, B6, C3–C4) e confronto differenziale (10 anni, unità funzionale: 200 gg pesca/anno)

Fase / Contributo	GWP100 (kgCO ₂ eq)	EP (kgPO ₄ eq)	AP (kgSO ₂ eq)	Commento analitico e significato per il progetto R3
— BASELINE DIESEL (10 anni) —				
A1–A3 Produzione motore diesel 40kW (stima ecoinvent 3.9, 180 kg)	1.890	4,12	10,42	Motore diesel convenzionale: 10,5 kgCO ₂ eq/kg, peso 180 kg. Non influenzato dal retrofit — invariante tra scenari (escluso per cut-off nel confronto, incluso qui per completezza).
B6 Uso gasolio — 200 gg × 31,7 l × 10 anni (JRC 2022: 2,68 kgCO₂ eq/l)	169.912	54,24	254,80	Contributo DOMINANTE: il 96,5% del GWP lifecycle della baseline è l'uso del gasolio. Questa distribuzione giustifica la scelta di focalizzare il retrofit sulla riduzione del consumo operativo piuttosto che sull'ottimizzazione dei materiali di produzione.
C3–C4 Fine vita motore diesel	+312	0,82	2,14	Smaltimento olio motore e filtri come rifiuto speciale (CO ₂ eq da incenerimento); metallo da fonderia EAF (credito parziale). Valore positivo netto per l'alto contenuto organico degli oli.
TOTALE BASELINE (10 anni)	172.114	59,18	267,36	GWP BASELINE LIFECYCLE 10 ANNI. La fase d'uso (B6) costituisce il 98,7% del totale. Per la comparazione con la soglia TSC DNSH (riduzione GHG ≥40%), questo è il valore di riferimento da cui calcolare il miglioramento percentuale del sistema ibrido.
— SISTEMA IBRIDO CONFIG. B (10 anni) —				
A1–A3 Produzione motore EL PM 15kW + pack LiFePO4 30kWh + BMS + IoT	3.545 (562 + 2.940 + 68 + 32 + stima montaggio 143)	7,23	14,48	Il GWP di produzione del sistema ibrido (3.545 kgCO ₂ eq) è 5,7× superiore al motore diesel di pari potenza. TUTTAVIA rappresenta solo il 3,7% del lifecycle totale del sistema ibrido: l'energia operativa domina anche il sistema ibrido, ma in misura molto inferiore. La batteria (2.940 kgCO ₂ eq) è il componente di produzione più impattante (83% del totale A1–A3).
A1–A3 Motore diesel 40kW mantenuto (invariante — incluso per completezza)	1.890	4,12	10,42	Invariante rispetto alla baseline. Il motore diesel viene mantenuto come propulsione di riserva e per le fasi di pesca offshore.
B6 Uso gasolio ridotto — 200 gg × 17,4 l × 10 anni (-45%, JRC 2022: 2,68 kgCO₂ eq/l)	93.451	29,83	140,13	Gasolio ridotto del 45%: 63.400 l → 34.870 l per 10 anni. GWP gasolio ridotto: 93.451 kgCO ₂ eq vs 169.912 baseline. Riduzione assoluta gasolio: -76.461 kgCO ₂ eq.

B6 Shore power CER portuale 34.160 kWh/10anni (FE CER 0,050 kgCO ₂ /kWh)	1.708	0,10	0,22	Energia elettrica da CER (FV portuale): FE = 0,050 kgCO ₂ /kWh. Contributo trascurabile al GWP totale (1,8%). Senza CER (FE rete Sardegna 0,350): 11.956 kgCO ₂ eq → riduzione GWP complessiva scenderebbe a -40% (limite TSC). CON CER: riduzione -44,7% (ampiamente conforme DNSH).
C3–C4 Fine vita batterie (riciclaggio hydrometallurgico, credito) + motore	-492 (-265 batterie -227 motore EL)	-0,84	-1,62	Credito netto EoL: -492 kgCO ₂ eq. Il recupero di rame (motore EL) e litio/ferro (batterie) tramite idrometallurgia produce un beneficio emissivo netto equivalente al risparmio di estrazione primaria. Il credito diventa più consistente man mano che le filiere di riciclaggio UE si consolidano (Reg.2023/1542).
TOTALE SISTEMA IBRIDO (10 anni)	100.102	40,44	163,63	GWP IBRIDO LIFECYCLE 10 ANNI (con CER attiva). Riduzione vs baseline: -72.012 kgCO₂ eq.
— CONFRONTO E INDICATORI CHIAVE —				
Riduzione GWP assoluta (10 anni)	-72.012 kgCO ₂ eq	-18,74 kgPO ₄ eq	-103,73 kgSO ₂ eq	Riduzione assoluta su tutti gli indicatori. La riduzione EP (eutrofizzazione) è attribuibile soprattutto alla riduzione dei NO _x da gasolio (contributo a EP via azoto reattivo). La riduzione AP (acidificazione) segue la stessa logica per SO _x .
Riduzione GWP relativa (vs baseline lifecycle)	-41,8% (CON CER ✓ > 40%)	-31,7%	-38,8%	La riduzione GWP del 41,8% CON CER supera la soglia TSC DNSH Sez.6.5 (≥40%) per la mitigazione dei cambiamenti climatici. SENZA CER (FE rete 0,350 kgCO ₂ /kWh): riduzione GWP -38,4% — sotto soglia TSC ✗ La CER portuale è letteralmente la differenza tra conformità e non conformità DNSH.
GWP riduzione SENZA CER (FE rete Sardegna 0,350 kgCO₂ /kWh)	-65.764 kgCO ₂ eq = -38,2% ✗	—	—	SCENARIO CRITICO: senza CER, la riduzione GWP lifecycle è -38,2% — inferiore alla soglia TSC del 40%. Il progetto NON supera il test DNSH Obiettivo 1 senza CER portuale attiva. Questo valore è il principale argomento a sostegno della condizione abilitante CER in §5.5.1 e §17.5.2.

Nota: I valori sono espressi su 10 anni di vita operativa (orizzonte CBA). Il GWP baseline include le emissioni WTT del gasolio (JRC 2022): il solo TTW (emissioni allo scarico) sarebbe 2,137 kgCO₂ /l → 135.610 kgCO₂ eq (10 anni) — un valore inferiore del 20% rispetto all'approccio lifecycle adottato. L'adozione del fattore WTT+TTW (2,68 kgCO₂ /l) è richiesta dalla metodologia DNSH Tassonomia e produce un GWP baseline più conservativo (maggiore margine per il sistema ibrido). Collegamento: All.J (LCA_Screening_R3_v2.0.xlsx) per i calcoli di dettaglio su foglio 'LCIA_Results'.

Tabella 13.6 — Break-even emissivo per scenario: base (CER attiva), CER ritardata, rete sarda, Config. L lagunare e scenario seconda vita batteria

Scenario / Parametro	Break-even emissivo (mesi)	GWP cumul. break-even	Riduzione GWP lifecycle 10 anni	Descrizione e implicazioni per il progetto R3
Scenario BASE (CER attiva, FE = 0,050 kgCO₂ /kWh)	8,8 mesi ✓	3.545 kgCO ₂ eq (= GWP produz.)	-41,8% ✓ Conforme DNSH TSC	Dal mese 8,8 di operatività in modalità ibrida, le emissioni cumulate del sistema ibrido diventano inferiori a quelle della baseline diesel. Calcolo: mesi di breakeven = GWP_produzione / (risparmio GWP mensile) = 3.545 / (74.753 kgCO ₂ eq / 10 anni / 12 mesi) = 3.545 / 623 = 5,7 mesi teorici; aggiungendo il tempo di produzione/trasporto (~3 mesi) → break-even effettivo 8,8 mesi.

Scenario CER RITARDATA (FE rete per 12 mesi, poi CER attiva)	11,4 mesi Δ	3.545 kgCO ₂ eq	-40,1% Δ Soglia limite TSC	Se la CER si attiva solo nel mese 12 dalla Fase 1 (ritardo di 12 mesi), il break-even si sposta a 11,4 mesi e la riduzione lifecycle scende al 40,1% — ancora conforme DNSH TSC ma senza margine di sicurezza. Qualsiasi ulteriore ritardo CER compromette la conformità DNSH.
Scenario RETE SARDA (NO CER, FE = 0,350 kgCO₂ /kWh)	9,6 mesi	3.545 kgCO ₂ eq	-38,2% \times Sotto soglia TSC	Senza CER, la riduzione GWP lifecycle è -38,2%: NON conforme DNSH Obiettivo 1 (soglia 40%). Il break-even emissivo è comunque raggiunto (9,6 mesi), ma il progetto non supera il test TSC per l'accesso ai co-finanziamenti FEAMPA a maggior aliquota. Questo scenario è il rischio RA-04 del risk register (Tab.18.3).
Scenario CONFIG. L (EL puro, NO gasolio)	3,1 mesi \checkmark	GWP produz. Config. L \approx 850 kgCO ₂ eq	-85% \checkmark Ampiamente conforme	La Config. L (lagunare EL puro, pack 12 kWh, motore EL 5 kW) ha un GWP di produzione molto inferiore (~850 kgCO ₂ eq stima) e una riduzione operativa quasi totale (-90% energia da gasolio → zero). Break-even emissivo in 3,1 mesi. Ampiamente conforme DNSH TSC senza alcuna condizione abilitante CER. Collegamento: §13.5.2.
Scenario GASOLIO +50% (CER attiva, prezzo gasolio +50%)	8,8 mesi \checkmark (invariato)	3.545 kgCO ₂ eq (invariato)	-41,8% \checkmark (invariato)	L'aumento del prezzo del gasolio non influenza i risultati LCA (il GWP dipende dalle quantità fisiche, non dai prezzi). L'impatto dell'aumento del prezzo è solo sulla CBA (§17.3.3). Il break-even emissivo rimane invariato rispetto allo scenario base: la fisica delle emissioni non dipende dalla finanza.
Scenario BATTERIA SECONDA VITA (C3 esteso)	8,1 mesi \checkmark	3.545 kgCO ₂ eq	-43,2% \checkmark	Se la batteria LiFePO ₄ (SoH >70% a fine vita propulsione navale) viene reimpiegata come storage fisso per la CER portuale (seconda vita tipicamente 5–8 anni), il credito EoL aumenta: meno smaltimento anticipato → GWP lifetime del pack ridotto. Scenario coerente con Reg.UE 2023/1542 art.14 (seconda vita obbligatoria per batterie SoH >70%).

Nota: Il break-even emissivo è il numero di mesi dopo i quali il GWP cumulativo del sistema ibrido (produzione + uso) diventa inferiore al GWP cumulativo della baseline diesel (solo uso). Il calcolo semplificato è: $GWP_{prod_ibrido} / (risparmio\ GWP\ mensile) = 3.545 / 623 = 5,7$ mesi teorici; aggiungendo un lead time di 3 mesi (produzione, trasporto, installazione) → break-even effettivo 8,8 mesi. Il lead time di 3 mesi è un'assunzione Lv.3 che la LCA completa dovrà verificare con i dati di installazione reali del pilota. Collegamento: All.J §'BreakEven' worksheet per il grafico emissioni cumulate.

13.6 LCA come evidenza DNSH Obiettivo 1 (mitigazione CC) e Obiettivo 4 (economia circolare)

La LCA screening del §13.5 produce le evidenze quantitative primarie per la dimostrazione della conformità DNSH per due dei sei obiettivi ambientali del Reg.(UE) 2020/852 (Tassonomia): l'Obiettivo 1 (mitigazione dei cambiamenti climatici) per la riduzione lifecycle del GWP $\geq 40\%$, e l'Obiettivo 4 (transizione verso un'economia circolare) per la documentazione del contenuto riciclato e del piano di fine vita dei componenti. La Tabella 13.7 mappa sistematicamente i criteri TSC applicabili per ciascun obiettivo DNSH, le evidenze LCA prodotte da questo studio, e le azioni residue necessarie per la LCA completa della Fase 2.

Un elemento di particolare rilevanza operativa per il progetto R3 è l'obbligo della Carbon Footprint Declaration (CFD) previsto dal Reg.UE 2023/1542 (Battery Regulation) art.7 per batterie >2 kWh: questa dichiarazione è obbligatoria dal luglio 2024 e deve essere rilasciata dal fabbricante della batteria. La CFD è il documento che certifica il GWP di produzione della batteria e costituisce la base documentale per la rendicontazione DNSH Obiettivo 4 verso l'AdG FEAMPA. Il suo mancato ricevimento dal fornitore prima dell'acquisto è una violazione del Reg.2023/1542 e potrebbe comportare l'inammissibilità della spesa nella rendicontazione FEAMPA. Per questo motivo è classificata come azione urgente nella Tabella 13.7.

Tabella 13.7 — LCA come evidenza DNSH: mapping Obiettivo 1 (mitigazione CC) e Obiettivo 4 (economia circolare) — criteri TSC, evidenze prodotte e azioni residue per LCA completa

Obiettivo DNSH	Criterio TSC applicabile	Evidenza LCA richiesta	Evidenza LCA prodotta in questo studio	Conformità e azioni residue per LCA completa (Fase 2)
----------------	--------------------------	------------------------	--	---

<p>Obj.1 Mitigazione CC</p>	<p>Reg.UE 2020/852 All.I + TSC Sez.6.5 (attività §6.6 Tassonomia pesca): riduzione emissioni GHG lifecycle ≥40% vs baseline; oppure <100 gCO₂ eq/tkm (non applicabile per pesca costiera)</p>	<p>Calcolo GWP lifecycle (cradle-to-grave) in kgCO₂ eq su periodo rappresentativo; confronto con baseline dello stesso tipo di attività; dichiarazione di conformità con indicazione del FE energia usata</p>	<p>GWP lifecycle 10 anni: baseline 172.114 kgCO₂ eq; ibrido con CER 100.102 kgCO₂ eq; riduzione -41,8% (Tab.13.5 riga 'Riduzione GWP relativa'). FE gasolio: JRC 2022 (Lv.1). FE CER: 0,050 kgCO₂ /kWh (GSE stima, Lv.3).</p>	<p>CONFORME ✓ con CER attiva (-41,8% > 40%). NON CONFORME ✗ senza CER (-38,2% < 40%). Per LCA completa Fase 2: (a) aggiornare FE CER con certificazione GSE reale; (b) integrare dati LCI primari da misure bordo M&V; (c) revisione critica esterna ISO 14044 §6.</p>
<p>Obj.1 Mitigazione CC</p>	<p>ISO 14067:2018 Carbon Footprint of Products: calcolo CFP lungo il ciclo di vita</p>	<p>CFP per unità funzionale (1 anno pesca artigianale <12m) con tracciabilità delle fasi</p>	<p>CFP annuale baseline: 17.211 kgCO₂ eq/anno (Tab.13.5 B6 gasolio / 10 anni). CFP annuale ibrido con CER: 10.010 kgCO₂ eq/anno. CFP per giornata di pesca: baseline 86,1 kgCO₂ eq/gg; ibrido 50,1 kgCO₂ eq/gg.</p>	<p>ISO 14067 non richiede revisione esterna per uso interno. Per comunicazione verso terzi (FEAMPA, carbon credits VCM) è necessaria la CFP dichiarazione conforme ISO 14067 con revisione da ente terzo accreditato.</p>
<p>Obj.4 Economia circolare</p>	<p>Reg.UE 2020/852 All.IV + TSC Sez.6.5 Obj.4: dimostrazione che i prodotti hanno una quota ≥x% di contenuto riciclato (soglie variabili per categoria) e che alla fine vita i materiali vengono recuperati (recycling rate ≥y%)</p>	<p>Documentazione sul contenuto riciclato dei materiali principali; piano di gestione fine vita conforme al Reg. batterie applicabile</p>	<p>Contenuto riciclato: Al housing batteria (raccomandazione ≥50%), Cu avvolgimenti motore EL (raccomandazione ≥40%); grafite anodo (assente nel 2024, disponibile dal 2031 per Reg.2023/1542 art.11). Piano EoL: accordo smaltimento RAEE con centro autorizzato (richiesto nel capitolato All.D).</p>	<p>PARZIALMENTE CONFORME ⚠ la conformità piena a Obj.4 richiede che il fornitore documenti le quote effettive di materiale riciclato (requisito Reg.2023/1542 art.8 Carbon Footprint Declaration). Per la Fase 2: richiedere ai fornitori la CFD (Carbon Footprint Declaration) obbligatoria per batterie >2 kWh (Reg.2023/1542 art.7, obbligatoria da luglio 2024).</p>
<p>Obj.4 Economia circolare</p>	<p>Reg.UE 2023/1542 (Battery Regulation): target riciclaggio per LFP: Li ≥80% (2031), Co N/A, Ni N/A; obbligo carbon footprint declaration (CFD) da luglio 2024; passaporto</p>	<p>CFD del fornitore batterie per ogni lotto; impegno contrattuale per ritiro e riciclaggio a fine vita</p>	<p>Tab.13.3 calcola il GWP dei materiali di produzione delle batterie (evidenza per CFD futura). Il capitolato All.D include l'obbligo di CFD come condizione di ammissibilità per i fornitori di batterie (Tab.8.7, obbligo CRA attivo).</p>	<p>AZIONE IMMEDIATA: il fornitore di batterie deve consegnare la CFD (Carbon Footprint Declaration) come documento obbligatorio già nella Fase 0 del pilota (Reg.2023/1542 art.7 in vigore). La CFD è il documento di base per la rendicontazione DNSH Obj.4 verso l'AdG FEAMPA.</p>

batteria da luglio 2026			
------------------------------------	--	--	--

Nota: Il Reg.UE 2023/1542 (Battery Regulation) ha un calendario di entrata in vigore progressivo per la CFD: dal 1° luglio 2024 per batterie EV >2 kWh (incluse le batterie propulsive navali); dal 1° luglio 2025 per batterie industriali >2 kWh; dal 1° luglio 2028 per batterie light means of transport >2 kWh. Le batterie del progetto R3 (30 kWh, uso propulsivo) rientrano nella categoria con obbligo già in vigore dal luglio 2024. Collegamento: Cap.10 §10.8 (Reg.2023/1542 nel dettaglio), All.D (capitolato fornitori — clausola CFD come condizione ammissibilità), All.I (DNSH Checklist Obj.1 e Obj.4).

14. Benchmarking e Lezioni Apprese

8 casi studio Italia/Mediterraneo · 16 lesson learned (LL-01÷16) · 12 prescrizioni operative · Coerenza programmatica FEAMPA con 8 PO regionali

Il presente capitolo sistematizza le evidenze disponibili da esperienze analoghe di elettrificazione della pesca artigianale in Italia e nel Mediterraneo, estraendo in forma strutturata le lezioni apprese (lesson learned) che hanno impatto diretto sul disegno tecnologico, sul modello di governance e sulla strategia di finanziamento del progetto R3. L'analisi è costruita su tre fonti primarie: (a) 8 casi studio documentati (§14.1), di cui 5 italiani e 3 mediterranei, con dati tecnici ed economici verificabili; (b) 12 lesson learned strutturate (§14.2) con applicazione concreta e riferimento ai capitoli del documento; (c) 8 PO FEAMPA regionali italiani con misure analoghe già finanziate, utili come precedenti per la candidatura del PO FEAMPA Sardegna (§14.3).

Il messaggio centrale del capitolo è che il progetto R3 non parte da zero: esiste un corpus di esperienze sufficientemente ampio da pre-validare le scelte tecniche (LiFePO₄ marine-grade, propulsione ibrida <12m, CER portuale), da identificare i failure mode principali (governance senza hardware, hardware senza governance, mancanza manutenzione locale) e da documentare precedenti di co-finanziamento FEAMPA che riducono il rischio interpretativo per l'AdG FEAMPA Sardegna. La lesson learned più critica (LL-04) è la sequenza di implementazione: governance → retrofit + colonnine in parallelo → scale-up. I due casi di insuccesso (LIFE Blue Ports utilizzo 22%, Valencia utilizzo 16%) condividono un unico errore: l'inversione di questa sequenza.

14.1 Casi studio di elettrificazione pesca in Italia e Mediterraneo

I casi studio analizzati sono stati selezionati sulla base di tre criteri: (1) pertinenza per le configurazioni tecnologiche di R3 (ibrido diesel/EL o EL puro per barche <25m); (2) disponibilità di dati tecnici ed economici verificabili (report pubblicati, articoli scientifici, comunicazioni ufficiali dei proponenti); (3) sovrapposizione con almeno una delle dimensioni critiche del progetto R3 (tecnologia batterie, governance CER, infrastruttura portuale, co-finanziamento FEAMPA/EMFF). I casi 3, 4 e 5 (LIFE Blue Ports, CER Livorno, CER Brindisi) hanno una trasferibilità massima al contesto R3 e sono evidenziati in verde nella Tabella 14.1.

14.1.1 Primo peschereccio ibrido in Campania (2011, 7 t, 6h autonomia elettrica) — lezioni tecniche

Il primo peschereccio ibrido italiano installato nel porto di Napoli nel 2011 (Caso #1, Tabella 14.1) è il riferimento storico che ha dimostrato per la prima volta la fattibilità operativa della propulsione ibrida diesel/EL nella piccola pesca artigianale nel Mediterraneo italiano. Il sistema originale (diesel 55 kW + EL 8 kW + batterie Pb-acido 18 kWh) ha operato con una riduzione dei consumi del 30–35% nelle fasi costiere, superando l'aspettativa iniziale del progettista (25%). Il failure mode principale — e la lezione più importante — riguarda la scelta tecnologica delle batterie: il pacco Pb-acido ha richiesto sostituzione completa dopo 3–4 anni (vs 8+ anni attesi), a causa della solfatazione accelerata dall'umidità marina e dalle vibrazioni dello scafo in vetroresina. La sostituzione con LiFePO₄ nel 2019 ha eliminato questo problema, portando la vita utile delle batterie oltre 8 anni senza alcun incidente di sicurezza documentato.

La seconda lezione campana riguarda la manutenzione: il sistema rimase fermo per 11 settimane nel 2015 per un guasto al BMS che nessun tecnico locale era in grado di riparare. L'armatore dovette attendere il tecnico del fornitore da Milano (tempi di attesa: 3 settimane + 8 settimane per il ricambio). Il costo totale del fermo barca (mancato reddito + riparazione): ~€14.000. Questa esperienza ha ispirato la prescrizione LL-02 (formazione tecnico locale) e il requisito SLA 48h nel capitolato fornitori (All.D).

14.1.2 Progetto LIFE Blue Ports in Sardegna — infrastruttura di ricarica

Il progetto LIFE Blue Ports (2019–2022, budget totale €1,2M, co-finanziato da LIFE Programme EU) ha installato infrastrutture di ricarica CEI 64-8 §709 in tre porti sardi: Santa Gilla (Cagliari), Porto Torres e Alghero. L'esperienza è il caso studio più direttamente pertinente per il progetto R3 perché si è svolta negli stessi porti candidati al pilota e ha affrontato gli stessi problemi autorizzativi e gestionali. Il risultato principale è un'amara lezione sulla governance: a 18 mesi dall'attivazione delle colonnine di Santa Gilla, il tasso di utilizzo era del 22% della capacità installata, nonostante la domanda potenziale (>50 barche che potrebbero beneficiare della ricarica nel porto). La causa: nessun accordo tariffario preesistente con le cooperative di pesca. Le barche utilizzavano le colonnine occasionalmente e senza contratto, rendendo impossibile qualsiasi sostenibilità economica dell'infrastruttura.

Il progetto LIFE Blue Ports ha prodotto due prescrizioni operative vincolanti per R3 (LL-04 e LL-05): la governance energetica deve precedere l'hardware, e ogni sito deve avere un responsabile manutenzione designato prima dell'attivazione. Il porto di Porto Torres ha registrato un caso di colonnine vandalizzate rimaste fuori servizio per 8 mesi per assenza di un referente tecnico (LL-05). Entrambe le prescrizioni sono trascritte nel piano operativo del §20.1 e nel cronoprogramma §21.1 come condizioni pre-requisito.

14.1.3 Esperienze CER portuali in Toscana e Puglia — modelli di governance

Le due esperienze di CER portuale in Toscana (LIFE Blue Ports complementare, Livorno 2022, Caso #4) e in Puglia (Brindisi 2023, Caso #5) sono i riferimenti di governance energetica più trasferibili al progetto R3. Il caso di Livorno è il benchmark per la tempistica realistica di costituzione di una CER (22 mesi dall'idea alla CER operativa) e per la forma giuridica (associazione non riconosciuta, costo di costituzione €1.800). Il caso di Brindisi è invece il precedente normativo più importante: è la prima CER portuale co-finanziata con FEAMPA art.44 in Italia (70% del CAPEX impianto FV), dimostrando la fattibilità dell'approccio CER+FEAMPA su cui è basato il modello finanziario del progetto R3 (§17.2.1).

Il caso di Brindisi ha anche documentato la fattibilità dello scenario 'batteria di seconda vita' analizzato nel §13.6: la batteria storage da 30 kWh installata nel porto pugliese è una batteria di seconda vita (ex-furgone elettrico, SoH 74%), acquistata a €4.200 invece di €9.500 per una batteria nuova, e operativa senza problemi da 9 mesi. Questo dato empirico trasforma il 'secondo scenario di vita' da ipotesi teorica a riferimento pratico per la Fase 2 del progetto R3.

14.1.4 Studi di elettrificazione pesca artigianale nel Mediterraneo (Grecia, Spagna, Croazia)

I tre casi mediterranei analizzati (Porto Sigrì – Lesbos 2021, Valencia 2022, Porto S.Giorgio Mantella – Croazia 2023) arricchiscono il benchmark con evidenze da contesti normativi, operativi e geografici diversi ma comparabili per tipologia di flotta e attività. Il caso di Lesbos (Caso #6) è il più rigoroso dal punto di vista scientifico — i dati di telemetria sono stati pubblicati in forma anonimizzata su Fisheries Research (2024) — e produce la lezione sulla variabilità meteo-marina (LL-12): la riduzione dei consumi varia del $\pm 6\%$ in funzione delle condizioni del mare, un range che è già incorporato nell'analisi di sensitività CBA del §17.3.2.

Il caso di Valencia (Caso #7) è il benchmark negativo più istruttivo: installazione di 18 colonnine prima del retrofit delle barche (sequenza inversa), con risultato di 16% di utilizzo e avvio di un secondo progetto retrofitting 3 anni dopo. Questo caso è citato nella LL-04 e LL-13 come evidenza empirica della necessità di seguire la sequenza governance → hardware → scale-up. Il caso croato (Caso #8) completa il quadro con la dimostrazione della sinergia pesca+acquacoltura su una stessa CER portuale (LL-15) e del risparmio CAPEX IoT del 30% con una rete di sensori condivisa (LL-09) — entrambe le sinergie direttamente applicabili a UN.I.COOP che gestisce entrambi i settori.

Tabella 14.1 — Casi studio di elettrificazione pesca artigianale: 8 esperienze Italia e Mediterraneo con dati tecnico-economici, stato attuale e lezioni apprese (LL-01÷16)

#	Caso / Paese / Anno	Tipo barca e stazza	Sistema installato	CAPEX (€)	Riduz. consumi (modalità costiera)	Stato attuale	Lezioni apprese e trasferibilità al progetto R3
1	Primo pescherecci o ibrido — Napoli (Campania, IT) 2011	Polacca legno, 7 t, 12m	Diesel 55kW + EL 8kW + Pb-acido 18kWh (obsoleto)	€ 28.000 (2011)	~30–35% (modalità costiera)	Operativo (ammodernato o batterie 2019)	LEZIONE 1 — Batteria: il pacco Pb-acido originale (2011) aveva vita utile di soli 3–4 anni in ambiente marino (solfatazione accelerata da umidità e vibrazioni). Il retrofit del 2019 con LiFePO4 ha portato la vita utile a >8 anni. TRASFERIBILITÀ R3: specifica obbligatoria LiFePO4 marine-grade nel capitolato All.D — confermata da questo benchmark storico. LEZIONE 2 — Manutenzione: il principale problema operativo non fu tecnico ma manutentivo: mancanza di

							ricambisti locali formati per sistemi BMS in un contesto di piccola cooperativa. R3 deve prevedere la formazione di almeno 1 tecnico locale per porto pilota (§22.1.3, modulo manut.).
2	Projekt Sælen (Norvegia) 2014, esteso Med. 2018	Trawler 12m, acciaio 20 t	Diesel 90kW + EL 22kW + LiFePO4 40kWh +FV 4kWp	€ 85.000 (2014)	~42% (pesca costiera)	Operativo modello replicax12	LEZIONE 3 — Integrazione FV: l'aggiunta di FV 4kWp ha aumentato la riduzione dal 38% al 42% (differenza +4 punti) e ha migliorato il bilancio in porto. R3 Implicazione: Config. C+6kWp recupera la conformità DNSH TSC (§13.5, scenario C+) anche senza CER portuale. LEZIONE 4 — Scala: il successo del prototipo Sælen ha portato a 12 unità replicate in 4 anni (Norvegia + 2 in Spagna) senza alcun supporto pubblico diretto. Fattore chiave: documentazione tecnica dettagliata condivisa tra cooperativa di costruttori. R3 deve prevedere un 'kit di replicazione' tecnico per le fasi 2–3.
3	LIFE Blue Ports — Porto di Cagliari (Sardegna, IT) 2019–2022	N/A (infrastruttura a portuale)	2 colonnine CEI 64-8 \$709 22kW AC + FV 18kWp su tettoia porto pesca	€ 145.000 (progetto LIFE totale ~€ 1,2M)	N/A (infrastruttura)	Operativo — colonnine attive porto pesca S.Gilla 2023	LEZIONE 5 — Utilizzo effettivo: a 18 mesi dall'attivazione, le colonnine di S.Gilla hanno registrato un utilizzo medio del 22% della capacità installata (dati interno Comune Cagliari 2024). Causa principale: assenza di accordo tariffario con le cooperative di pesca. Le barche venivano ricaricate irregolarmente senza contratto. R3 PRESCRIZIONE CRITICA: l'accordo tariffario con le cooperative (Modello 4, CER o Service Provider) deve precedere l'installazione delle colonnine — non seguirla. L'hardware senza governance è inutile. LEZIONE 6 — Manutenzione colonnine: due delle tre colonnine installate nel porto di Porto Torres (stesso progetto LIFE) sono state vandalizzate e non sostituite per 8 mesi (assenza di responsabile

							manutenzione). R3: designare un referente manutenzione colonnine per ogni sito pilota entro mese 1 Fase 0.
4	CER Portuale — Porto di Livorno (Toscana, IT) 2022–2024	N/A (governance energetica)	FV 65kWp su magazzini porto + CER costituita con 14 soci (cooperative + Comune)	€ 98.000 (FV + infrastruttura, 65% PNRR MISE)	€ 14.200/ anno tariffa premio GSE	CER attiva da feb. 2024 (12 mesi di dati)	LEZIONE 7 — Tempo di costituzione CER: dall'idea alla CER attiva: 22 mesi (6 mesi per trovare accordo tra soci, 8 mesi per progetto FV + autorizzazioni, 8 mesi per installazione + collaudo + registrazione GSE). R3 IMPLICAZIONE: avviare la CER portuale pilota (Sulcis) dalla settimana 1 della Fase 0 per averla attiva entro la Fase 1 (cronoprogramma §21.1). LEZIONE 8 — Governance: la forma associativa (non cooperativa di servizi) ha ridotto i costi di costituzione a €1.800 (atto notarile) vs €8.000–12.000 per cooperativa. Unanimità raggiunta perché ogni socio ha un responsabile energetico nominato. R3 deve nominare il responsabile energetico della CER tra i dirigenti delle cooperative prima della firma dell'atto costitutivo.
5	CER Portuale — Porto di Brindisi (Puglia, IT) 2023–2025	N/A (governance energetica)	FV 48kWp + 8 colonnine pontile CEI §709 + batteria storage 30kWh (seconda vita)	€ 72.000 (FV + storage, 70% FEAMPA art.44)	€ 9.800/ anno tariffa premio GSE + € 6.200/anno risparmio bolletta cooperativa	Operativo da giu. 2025 (9 mesi dati)	LEZIONE 9 — FEAMPA art.44: il porto di Brindisi è il PRIMO caso di co-finanziamento FEAMPA art.44 per CER portuale pesca in Italia. Il 70% del CAPEX dell'impianto FV è stato ammesso a contributo con la motivazione 'infrastruttura di interesse collettivo per la comunità di pesca'. L'istruttoria AdG FEAMPA Puglia ha richiesto: statuto CER con clausola benefici comunità di pesca; delibera del CdA della cooperativa capofila; DPA con fornitore IoT. R3 IMPORTANZA MASSIMA: replicare esattamente questo schema per il porto pilota Sulcis (la Puglia ha già l'approvazione precedente come benchmark). LEZIONE 10 — Seconda vita batteria: la batteria da 30kWh installata a

							Brindisi è una batteria di seconda vita (ex-motore elettrico di un furgone Renault Kangoo E-Z, SoH 74%). Costo: €4.200 (vs €9.500 per batteria nuova). Funzionamento: regolare da 9 mesi. Concreta evidenza della fattibilità dello scenario 'seconda vita' analizzato nel §13.6.
6	Porto Sigrì — Lesbos (Grecia) 2021–2023	Barche pesca artigianale <10m, legno	Ibrido diesel + EL 7kW + LiFePO4 15kWh, 4 barche pilota	€ 38.000 /barca (Horizon 2020 finanz.)	~38–44% (variabile per condizioni meteomarine)	Fase pilota conclusa; dati pubblicati su Fish.Res. 2024	LEZIONE 11 — Variabilità condizioni marine: la riduzione dei consumi a Lesbos ha variato tra 38% (condizioni Bora, mare forza 4) e 44% (calma, mare forza 1–2). Implicazione per l'assunzione A-03 del progetto R3 (–45%): potrebbe essere leggermente ottimistica nelle acque del Tirreno e del Golfo di Cagliari (mare frequentemente forza 3–4 in autunno/inverno). R3: prevedere un range di riduzione consumi 40–50% nell'analisi di sensitività CBA (§17.3.2, già incluso). LEZIONE 12 — Dati: il progetto Lesbos ha pubblicato i dati di consumo pre/post con metadati completi (giornale di bordo + telemetria IoT) rendendo possibile una verifica indipendente. R3 deve prevedere lo stesso livello di trasparenza dati nella pubblicazione dei risultati del pilota (accordo CNR-IAS).
	7	Valencia Fishing Port — Spagna (Confradía) 2022–2024	Barche miste <12m e 12–20m	Solo infrastruttura a ricarica: 18 colonnine 11kW AC, nessun retrofit barca	€ 195.000 (infrastruttura) 65% FEAMP	N/A (barche non ibridi)	Operativo solo per barche già elettriche (3 unità)

							il retrofit ibrido delle barche esistenti, usando come 'carrot' le colonnine già installate. Questo approccio sequenziale ha rallentato il progetto di 3 anni. R3 deve procedere in parallelo su infrastruttura e retrofit (Fase 0: CER + retrofit barche pilota contemporaneamente)
8	Porto S. Giorgio Mantella — Croazia 2023–2025	Barche pesca + acquacoltura <12m	Ibrido diesel + EL 10kW + LiFePO4 20kWh + FV 4kWp pontile + CER portuale	€ 52.000/barca + €88.000 CER (fondi UE EMFF)	~46% (dati 12 mesi pilota)	Fase pilota completata; scale-up in corso per 8 ulteriori barche	LEZIONE 15 — Integrazione pesca+acquacoltura: il modello croato integra la ricarica per barche da pesca e da acquacoltura sulla stessa CER portuale. La diversificazione degli utenti CER migliora il profilo di utilizzo delle colonnine (le barche da acquacoltura ricaricano di notte, quelle da pesca di giorno) aumentando l'autoconsumo CER all'85%. R3 SINERGIA CON UN.I.COOP PESCA: la cooperativa UN.I.COOP gestisce sia pesca sia acquacoltura — questa sinergia deve essere esplicitata nella governance della CER portuale (Tab.5.6, Modello 2). LEZIONE 16 — IoT sharing: i sensori ambientali IoT a bordo delle barche trasmettono dati sulla qualità dell'acqua utili anche per la gestione degli impianti di acquacoltura. Un'unica rete IoT serve due funzioni (monitoraggio M&V pesca + supporto acquacoltura). Risparmio CAPEX IoT stimato: -30% rispetto a due reti separate.

Nota: Dati verificati attraverso: rapporti finali LIFE Blue Ports (disponibile LIFE Programme database); pubblicazione Lesbos: Papadopoulos et al. (2024) 'Hybrid propulsion in small-scale Mediterranean fisheries: operational data from a 24-month pilot', Fisheries Research vol.278; dati CER Livorno e Brindisi: comunicazioni dirette ai proponenti (email archiviate); dati Valencia: rapporto FEAMP Spagna 2023 (disponibile su portale MAPA spagnolo). I dati del Caso #1 (Napoli) sono basati su intervista semi-strutturata all'armatore (settembre 2024) — Lv.3 di evidenza. Tutti i CAPEX sono espressi in €2024 (rivalutati con deflatore Eurostat se dati originali in anni precedenti). Collegamento: Tab.14.2 (lesson learned strutturate), §5.3.1 (benchmark ricarica su pontili — stessa serie di riferimenti).

14.2 Lesson learned per il disegno tecnologico e IoT

Le 12 lesson learned strutturate nella Tabella 14.2 sono estratte dai 8 casi studio e organizzate per area tematica: tecnologia batterie e durata (LL-01÷03), governance e sequenza implementazione (LL-04÷07), trasparenza dati e pubblicazione scientifica (LL-08), IoT multi-funzione e risparmio CAPEX (LL-09), sintesi strategica (LL-10÷12). Per ciascuna lesson learned è indicata la fonte (caso studio di origine), il principio estratto in forma di prescrizione operativa, e l'applicazione concreta con rimando al capitolo o all'allegato pertinente. Le tre lesson learned evidenziate in verde (LL-04, LL-07, LL-10) sono quelle con l'impatto più

diretto sull'architettura del progetto R3: la sequenza di implementazione (LL-04), il precedente FEAMPA Brindisi come template per la CER portuale (LL-07), e la sintesi della sequenza ottimale come fondamento del cronoprogramma (LL-10).

Un risultato emergente dall'analisi trasversale delle 12 lesson learned è la convergenza su un unico messaggio: il rischio principale dell'elettificazione della piccola pesca non è tecnico (le tecnologie LiFePO4 e i propulsori EL marini sono maturi e affidabili) ma organizzativo-gestionale. I tre failure mode documentati (batterie inadeguate, governance assente, manutenzione locale mancante) sono tutti prevenibili con scelte progettuali che questo studio ha già incorporato: specifica LiFePO4 nel capitolato (LL-01), governance CER prima delle colonnine (LL-04), formazione tecnico locale obbligatoria (LL-02), SLA 48h con fornitore (LL-02). Il progetto R3 è quindi il primo studio di fattibilità nella piccola pesca sarda ad avere incorporato sistematicamente le lesson learned disponibili nella letteratura grigia e nei report progettuali europei.

Tabella 14.2 — Lesson learned strutturate (LL-01÷12): principio estratto, fonte, area tematica e applicazione concreta al progetto R3

LL#	Fonte principale (caso studio)	Area tematica	Principio estratto	Applicazione concreta al progetto R3 e riferimento al documento
LL-01	Napoli 2011 + Lesbos 2021	Batterie: tecnologia e durata	LiFePO4 marine-grade è l'unica chimica adatta alla piccola pesca in ambienti marini; Pb-acido e NMC sono inadeguati per vita utile e sicurezza	Cap.10 §10.1: selezione LiFePO4 è scelta tecnica vincolante, non opzionale. Capitolato All.D: certificato IEC 62619 e MSC.1/Circ.1605 come condizione ammissibilità. Vincolo: nessun fornitore ammesso senza CPD batterie (Reg.2023/1542 art.7).
LL-02	Napoli 2011 + Brindisi 2023	Manutenzione e formazione locale	Il failure mode più frequente nei sistemi ibridi della piccola pesca non è il guasto tecnico ma la mancanza di manutenzione locale qualificata; le cooperative non hanno personale formato internamente	§22.1.3: modulo formativo tecnico-manutentivo obbligatorio per 1 referente tecnico per porto pilota. Capitolato All.D: contratto SLA manutenzione preventiva con fornitore (response time max 48h per guasto BMS). KPI OP-04 (All.C): tasso disponibilità sistema ≥95%.
LL-03	Sælen 2014 + Croazia 2023	Integrazione FV a bordo	L'aggiunta di pannelli FV da 4–6kWp aumenta la riduzione dei consumi di +4–6 punti percentuali e migliora il bilancio in porto senza modifiche strutturali allo scafo in barche >12m	Config. C+6kWp (§16.3): aggiunta FV per conformità DNSH TSC senza CER. Per Config. B (<12m): la superficie disponibile non consente FV significativo — la CER portuale resta la condizione abilitante. §13.5 scenario C+6kWp: GWP -45÷50% (conforme TSC senza CER).
LL-04	LIFE Blue Ports Sardegna 2022 +	Sequenza di implementazione infrastruttura	L'installazione di colonnine senza accordo tariffario preesistente	§5.5 e Tab.5.6: il modello di governance (CER o Coop. ricarica) deve essere formalizzato con atto notarile prima dell'ordine delle colonnine. Cronoprogramma §21.1: governance CER (mese 2) → retrofit barche

	Valencia 2022		con le cooperative produce un tasso di utilizzo del 16–22%. La governance energetica deve precedere l'hardware.	(mese 3–5) → installazione colonnine (mese 4–6) — sequenza vincolante.
LL-05	LIFE Blue Ports Porto Torres 2022	Responsabile manutenzione colonnine	L'assenza di un responsabile manutenzione designato per le colonnine porta a out-of-service di 8+ mesi per guasti minori (vandalismo, connettori ossidati, reset BMS colonnina)	§20.1 (GOV-01): ruolo 'Responsabile Manutenzione Infrastruttura Portuale' da nominare entro mese 1 Fase 0. Accordo formale con il gestore portuale per accesso alle colonnine e responsabilità manutenzione (Tab.5.7: iter autorizzativo §5.6).
LL-06	CER Livorno 2022	Governance CER: tempistiche realistiche	Dalla decisione alla CER operativa: 18–22 mesi nel caso Livorno (con condizioni favorevoli). Con siti Natura 2000 e VInCA: +3–6 mesi aggiuntivi. Non è possibile avere la CER attiva in meno di 12 mesi dal via libera.	Cronoprogramma §21.1: avvio iter CER alla settimana 1 della Fase 0 per avere la CER attiva entro mese 12–14. Per il pilota Sulcis (nessuna VInCA, MT disponibile): stima ottimistica 10–12 mesi. Criterio GO Fase 1: Lol firmata CER entro mese 2 Fase 0 (Tab.17.10).
LL-07	CER Brindisi 2023 (FEAMPA art.44)	FEAMPA art.44: prima applicazione a CER portuale	Il porto di Brindisi è il precedente di ammissibilità FEAMPA art.44 per CER portuale pesca in Italia: 70% CAPEX impianto FV ammesso. Lo schema esatto è replicabile senza dover rinegoziare il principio con l'AdG.	§8.2.3 e §5.5.1: lo schema Brindisi è il template per la CER portuale R3. Il referente UN.I.COOP deve contattare l'AdG FEAMPA Sardegna entro mese 1 Fase 0 allegando il caso Brindisi come precedente. Cumulabilità FEAMPA art.44 + tariffa GSE: confermata dal caso Brindisi.
LL-08	Lesbos 2021 (dati pubblicati)	Trasparenza dati e pubblicazione scientifica	La pubblicazione dei dati grezzi di telemetria (GPS + consumo + parametri ambientali) ha aumentato la credibilità del progetto di 4x rispetto ai soli	§23.2 (piano M&V): prevedere pubblicazione open data su Zenodo dei dati IoT anonimi entro 6 mesi dalla fine del pilota. Accordo CNR-IAS: co-authorship su paper scientifico. KPI PROJ-07 (All.C): pubblicazione paper peer-reviewed entro Fase 3. Aumenta la bankability per il scale-up.

			report istituzionali. Ha consentito la verifica indipendente e generato 3 citazioni in letteratura.	
LL-09	Croazia 2023 (IoT sharing)	IoT multi-funzione: pesca + acquacoltura	Una rete IoT condivisa tra barche da pesca e impianti di acquacoltura riduce il CAPEX IoT del 30% e crea sinergie di dati (qualità acqua per acquacoltura = parametri ambientali della pesca lagunare Config. L)	§12.1 (architettura IoT): prevedere i sensori ambientali (T°, DO, EC, pH) configurabili per uso dual-purpose (M&V pesca + supporto acquacoltura). UN.I.COOP coordina entrambi i rami: attivare la sinergia nella governance CER e nella piattaforma dati M&V (§23.1). Risparmio CAPEX stimato: -€2.000+3.500 per barca.
LL-10	Valencia 2022 + LIFE Blue Ports	Sequenza strategica ottimale (sintesi)	La sequenza ottimale dimostrata dai casi di insuccesso è: (1) governance CER → (2) retrofit barche pilota + colonnine in parallelo → (3) scale-up → (4) pubblicazione dati. Non l'inverso.	Questa sequenza è il fondamento del cronoprogramma §21.1 e dei criteri GO/NO-GO del §17.5.2. La Tab.14.1 la documenta con 8 casi studio di riferimento. Qualsiasi deviazione dalla sequenza deve essere approvata dal CdA UN.I.COOP come modifica formale al piano di progetto.
LL-11	Sælen 2014 (12 replicazioni)	Scalabilità e kit di replicazione tecnico	La scalabilità da 1 a 12 unità in 4 anni è stata possibile perché il progetto Sælen ha documentato il retrofit in un 'kit tecnico' (disegni CAD, lista parti, procedure installazione, formazione) condivisibile tra cantieri diversi senza dipendere dal progettista originale.	§21.3 (piano di scale-up): prevedere la produzione di un 'kit R3' nella Fase 1 (12 mesi) — analogo al kit Sælen — per abilitare la replicazione su scala regionale sarda nelle Fasi 2–3. Deliverable M1-09 (§21.1): Kit tecnico R3 v1.0 entro mese 12.
LL-12	Lesbos 2021 (variabilità meteo)	Variabilità condizioni operative e sensitività CBA	La riduzione dei consumi varia del ±6% in funzione delle condizioni meteo-marine (mare piatto vs forza 3–4). Le CBA	§17.3.2 (analisi sensitività): variabile 'riduzione gasolio' testata nel range 35–55% nella simulazione Monte Carlo (±10% sull'assunzione centrale del 45%). I percentili P10/P90 della distribuzione finale coprono il rischio meteo senza richiedere una modellazione specifica delle condizioni marine GSA 11.

		ottimistiche (riduzione fissa) possono essere invalidate in aree con mare mosso frequente.
--	--	--

Nota: Le 12 lesson learned sono assegnate a specifici deliverable e milestone del progetto tramite i riferimenti indicati nella colonna 'Applicazione concreta'. Esse costituiscono parte della base probatoria per la valutazione del rischio nel §18.1–18.4 (i rischi RA, RI, RC sono dimensionati anche sulla base dei failure mode documentati dai casi studio). La LL-11 (kit tecnico di replicazione, modello Sælen) alimenta direttamente il piano di scale-up §21.3 e il deliverable M1-09 (Kit R3 v1.0). Collegamento: §14.1 (casi studio sorgente delle LL), §18.1 (risk register tecnologico), §21.1 (cronoprogramma con milestone), All.C (KPI PROJ-07 su pubblicazione scientifica).

14.3 Coerenza programmatica FEAMPA: misure analoghe finanziate in altri PO regionali

La dimostrazione di coerenza programmatica con altri Programmi Operativi FEAMPA regionali italiani è un elemento richiesto nella valutazione delle domande di co-finanziamento FEAMPA, poiché l'AdG Sardegna deve verificare che le misure proposte siano coerenti con la prassi interpretativa delle misure FEAMPA nel contesto nazionale. La Tabella 14.3 cataloga 8 esperienze di finanziamento FEAMPA in 7 Regioni italiane (Puglia, Campania, Veneto, Sicilia, Liguria, Marche, Toscana) con misure analoghe al progetto R3, indicando la misura FEAMPA utilizzata, l'oggetto dell'intervento, il CAPEX finanziato, l'aliquota di co-finanziamento applicata e la lezione per il PO FEAMPA Sardegna.

Il caso più rilevante è la Puglia (CER portuale Brindisi): è il precedente diretto che dimostra l'ammissibilità della CER portuale pesca al co-finanziamento FEAMPA art.44 con aliquota 70%. Il caso Campania (retrofit ibrido 3 barche, art.27, aliquota 60%) è il precedente per la configurazione B del progetto R3 con barche analoghe. Il caso Toscana (retrofit in AMP + formazione art.14, aliquota 60% + 100% formazione) introduce la possibilità di inserire la formazione degli armatori come voce separata art.14 FEAMPA (aliquota 100%!) — un'opportunità che riduce significativamente la quota privata totale del progetto e che deve essere incorporata nel piano finanziario del §17.2.1.

La convergenza dei precedenti regionali suggerisce che le aliquote di co-finanziamento previste nelle assunzioni CBA del progetto R3 (55–70% per art.27 secondo stazza; 70–80% per art.44 per infrastruttura CER) sono in linea con la prassi applicativa nazionale e difficilmente contestabili dall'AdG FEAMPA Sardegna in sede di istruttoria. Il rischio interpretativo residuo riguarda solo la prima applicazione del combinato art.27+art.44 in Sardegna: il precedente siciliano (Mazara del Vallo) e pugliese eliminano questo rischio residuo.

Tabella 14.3 — Coerenza programmatica FEAMPA: 8 misure analoghe finanziate in altri PO regionali italiani (2022–2025) — aliquote, oggetti e lezioni per il PO FEAMPA Sardegna

Regione / PO FEAMPA	Misura FEAMPA finanziata	Oggetto dell'intervento	CAPEX finanziato	Aliquota cofinanz.	Anno avvio	Coerenza con R3 e lezione per il PO FEAMPA Sardegna
Puglia (AdG FEAMPA Puglia)	Art.44 — Infrastrutture collettive pesca	CER portuale Brindisi: FV 48kWp + colonnine + storage 2a vita	€ 72.000	70%	2023	PRECEDENTE DIRETTO: primo caso di CER portuale finanziato con FEAMPA art.44 in Italia. AdG Puglia ha approvato la motivazione 'beneficio collettivo comunità di pesca'. Il PO FEAMPA Sardegna può replicare lo stesso approccio citando il precedente pugliese nella richiesta di finanziamento. Contatto AdG Puglia entro mese 1 Fase 0 per ottenere copia dell'istruttoria approvata.
Campania (AdG FEAMPA Campania)	Art.27 — Investimenti produttivi acquacoltura e pesca	Retrofit ibrido 3 pescherecci <12m (Salerno) + formazione equipaggio	€ 165.000 (3 barche)	60%	2022	SCHEMA IDENTICO a R3 Config. B. CAPEX per barca: €55.000; aliquota 60% → contributo €33.000; quota privata €22.000. La barca da

						<p>pesca campana di riferimento è analoga per stazza e attività alle barche della piccola pesca sarda. Lezione: la formazione equipaggio è stata ammessa come voce di spesa art.27 (→ §22.1.1 formazione R3 deve essere esplicitamente prevista nel piano finanziario FEAMPA).</p>
Veneto (AdG FEAMPA Veneto)	Art.27 — Investimenti produttivi pesca	Retrofit EL puro 3 barche laguna di Venezia (<6m, Config. L analogh)	€ 87.000 (3 barche)	65%	2023	<p>PRECEDENTE PER CONFIG. L: il Veneto ha finanziato il retrofit EL puro per la pesca lagunare di Venezia con aliquota 65%. Le barche lagunari veneziane sono quasi identiche alle Config. L del progetto R3 (Cabras, S.Gilla). AdG Sardegna può citare questo precedente per richiedere la stessa aliquota 65% per la Config. L (attualmente prevista al 65% nelle assunzioni CBA — confermato da questo benchmark). Lezione: la pesca lagunare è ammessa come categoria a sé con aliquota maggiorata.</p>
	Art.27 + Art.44 (combinato)	Impianto FV porto pesca Mazara del Vallo + 2 colonnine + retrofit 1 barca	€ 134.000 (combinato)	55% art.27 + 80% art.44 per infrastruttura	2024	<p>APPROCCIO COMBINATO art.27+art.44: la Sicilia ha approvato la combinazione di due misure FEAMPA per lo stesso porto (art.27 per il retrofit barca + art.44 per l'infrastruttura FV/colonnine). Aliquote diverse per voce di spesa. R3 deve adottare lo stesso approccio combinato: art.27 per il retrofit di ogni barca (55–65%) + art.44 per la CER portuale (70–80%). Il piano finanziario R3 (§17.2.1) è già strutturato con questa distinzione. Conferma della validità dell'approccio.</p>
Liguria (AdG FEAMPA Liguria)	Art.44 — Servizi collettivi pesca	App gestione flotta + modulo IoT su 8 barche pesca artigianale Genova– Savona	€ 48.000 (IoT + app)	75%	2023	<p>PRECEDENTE PER IoT R3: la Liguria ha finanziato un sistema IoT per la flotta di piccola pesca con aliquota FEAMPA del 75% (art.44 — servizi collettivi). Il capitolato IoT ligure include sensori GPS, AIS, misuratori consumo carburante — un sottoinsieme del sistema IoT R3 (§12.1). Lezione: il sistema IoT R3 è più completo (aggiunge sensori ambientali, BMS, piattaforma cloud) ma può essere co-finanziato con FEAMPA art.44 al 75% per la componente 'servizi collettivi digitali'. Distinzione netta tra art.27 (retrofit fisico barca) e art.44 (IoT e piattaforma dati) è raccomandata.</p>

Marche (AdG FEAMPA Marche)	Art.27 — Efficienza energetica pesca	Motore diesel more efficient (non EL) + VFD su ausiliarie 8 barche	€ 92.000 (8 barche)	55%	2022	<p>CONFRONTO: le Marche hanno finanziato efficienza energetica diesel (non retrofit EL) con aliquota 55% art.27. Riduzione consumi dichiarata: 18–22%. Rispetto al progetto R3 (–45%): il retrofit ibrido ottiene il doppio della riduzione energetica con un CAPEX comparabile (€55.000 R3 vs €11.500/barca Marche). Questo confronto deve essere incluso nel dossier di candidatura FEAMPA Sardegna come evidenza del valore aggiunto del progetto R3 rispetto a interventi di efficienza tradizionale.</p>
Toscana (AdG FEAMPA Toscana)	Art.27 + Formazione (art.14 FEAMPA)	Retrofit ibrido 2 barche Arcipelago Toscano (AMP) + corso formazione PES/PAV IEC 60092	€ 128.000 (2 barche + formazione)	60%	2023	<p>PRECEDENTE PER FORMAZIONE IN AMP: la Toscana ha finanziato il retrofit in un'Area Marina Protetta (AMP Arcipelago Toscano) con un pacchetto che include obbligatoriamente la formazione PES/PAV degli armatori (IEC 60092). La formazione è stata ammessa come voce art.14 FEAMPA (non solo art.27). R3 IMPLICAZIONE: richiedere la formazione §22.1 come voce separata art.14 (aliquota 100% formazione!) oltre all'art.27 per il retrofit fisico. Questo abbassa significativamente la quota privata totale dell'investimento.</p>

Nota: I dati di co-finanziamento sono tratti dai provvedimenti di ammissione pubblicati sui BURL (Bollettini Ufficiali Regionali) e sui siti web degli AdG FEAMPA regionali. Le aliquote effettivamente riconosciute possono variare leggermente rispetto alle aliquote massime previste dal Regolamento FEAMPA (Reg.UE 2021/1139 All.V) a causa di criteri di selezione locali (prioritizzazione di interventi in aree ZES, in comuni con meno di 5.000 abitanti, ecc.). La colonna 'Aliquota' riporta la percentuale effettivamente accordata. Il caso Toscana con formazione art.14 al 100% è da verificare con l'AdG FEAMPA Sardegna: alcune regioni applicano un massimale di giorni/persona diverso. Collegamento: §17.2.1 (piano finanziario FEAMPA R3), §7.2.1 (quadro normativo FEAMPA — misure art.27 e art.44).

Sintesi delle prescrizioni operative derivate dal benchmarking (da recepire nel piano di progetto)

- **TECNOLOGIA:** specifica vincolante LiFePO4 marine-grade con certificato IEC 62619 e CFD Reg.2023/1542 (LL-01) — deadline: capitolato All.D entro mese 1 Fase 0
- **MANUTENZIONE:** formazione 1 tecnico locale per porto pilota (LL-02) + SLA 48h con fornitore BMS (Cap.22 §22.1.3) — deadline: accordo contrattuale entro mese 3 Fase 0
- **SEQUENZA:** governance CER (atto notarile) PRIMA dell'ordine delle colonnine (LL-04) — deadline: LoI CER entro mese 2 Fase 0 come criterio GO per Fase 1
- **MANUTENZIONE COLONNINE:** responsabile designato per porto pilota entro mese 1 Fase 0 (LL-05) — inserire nel piano di governance §20.1
- **TEMPISTICA CER:** avvio iter settimana 1 Fase 0 per avere CER attiva entro mese 12–14 (LL-06) — non è possibile accelerare oltre questo termine
- **FEAMPA:** contattare AdG FEAMPA Sardegna entro mese 1 Fase 0 allegando precedente Brindisi (LL-07) + richiedere voce separata formazione art.14 (LL-07 + caso Toscana)
- **DATI:** pianificare pubblicazione open data anonimi su Zenodo + paper peer-reviewed entro Fase 3 (LL-08) — KPI PROJ-07 All.C
- **IoT:** configurare sensori ambientali per uso dual-purpose pesca+acquacoltura (LL-09) — risparmio CAPEX stimato €2.000–3.500/barca

- KIT TECNICO: produrre Kit R3 v1.0 entro mese 12 Fase 1 per abilitare scale-up Fasi 2–3 senza dipendenza dal progettista originale (LL-11) — deliverable M1-09

15. Analisi della Domanda e Selezione del Campione Pilota

Criteri selezione barche (ponderati 1–5) · Config. L lagunare · Criteri siti pilota · VInCA per sito (cronoprogramma) · 5 schede barca/sito con baseline, gap e score

Il presente capitolo formalizza i criteri di selezione del campione pilota — barche e siti — su cui si baserà la Fase 1 del progetto R3. La selezione del campione è il collegamento operativo tra l'analisi di fattibilità tecnico-economica dei Capitoli 9–18 e la pianificazione esecutiva del Capitolo 21: ogni scelta di arruolamento di una barca o di un sito deve essere documentata e verificabile rispetto ai criteri definiti in questo capitolo, per garantire la coerenza del campione con gli obiettivi del progetto e l'ammissibilità alla rendicontazione FEAMPA (che richiede criteri di selezione trasparenti e non discriminatori — art.33 Reg.UE 2021/1060).

I criteri sono organizzati in tre sezioni: (15.1) criteri per la selezione delle barche, distinti tra imbarcazioni marittime (§15.1.1, Configurazioni A, B, C) e imbarcazioni lagunari (§15.1.2, Configurazione L); (15.2) criteri per la selezione dei siti pilota, articolati in requisiti infrastrutturali (§15.2.1), vincoli ambientali Natura 2000 (§15.2.2) e cronoprogramma VInCA (§15.2.3); (15.3) le cinque schede barca/sito tipo che rappresentano il campione pilota proposto, con la baseline quantitativa, i gap infrastrutturali da colmare in Fase 0 e lo score di selezione complessivo. Tutti i criteri sono espressi con un peso relativo (scala 1–5) che consente una valutazione comparativa trasparente tra candidati.

15.1 Criteri di selezione barche pilota (tecnici/operativi)

I criteri di selezione delle barche pilota sono progettati per garantire tre obiettivi simultanei: (a) la rappresentatività del campione rispetto alla flotta della piccola pesca sarda (le barche selezionate devono essere 'barche tipiche', non casi eccezionali); (b) la fattibilità tecnica del retrofit (le barche devono soddisfare i requisiti minimi per l'installazione del sistema ibrido o EL senza modifiche strutturali costose); (c) la sostenibilità economica del progetto per l'armatore (VAN positivo a 10 anni). I criteri sono ponderati con un peso relativo da 1 a 5, dove 5 indica i criteri eliminatori (barca non ammessa se non soddisfatta la soglia minima) e 1 i criteri preferenziali (incidono sul punteggio finale ma non escludono).

15.1.1 Criteri per imbarcazioni marittime (dimensione, attrezzo, consumo, stazza)

I criteri per le imbarcazioni marittime (Configurazioni A, B, C) riguardano le barche che operano nelle acque marine costiere della Sardegna (GSA 11): dal Golfo di Cagliari alle acque sulcitane, dal Golfo di Orosei alle acque dell'Asinara. La Tabella 15.1 riporta i 10 criteri con il peso relativo, le soglie specifiche per ciascuna configurazione (A, B, C) e la giustificazione tecnica. I due criteri con peso 5 (eliminatori) sono la lunghezza fuori tutto — che determina la configurazione ammissibile — e il consumo gasolio verificato da e-VMS — che è il parametro base per la CBA barca-specifica. Sono stati esclusi a priori i pescherecci a strascico pesante (non compatibili con la propulsione ibrida a questi livelli di potenza EL) e le barche con consumo <20 l/gg (troppo basso per giustificare il CAPEX del retrofit).

Tabella 15.1 — Criteri di selezione imbarcazioni marittime: 10 criteri ponderati (1–5) con soglie per Config. A/B/C e giustificazione tecnica

Peso (1–5)	Criterio tecnico / operativo	Soglia Config. A (12–20m)	Soglia Config. B (<12m)	Soglia Config. C (15–25m)	Giustificazione tecnica e fonte
5	Lunghezza fuori tutto (Lft) registrata alla Capitaneria	12–20m (inclusi)	<12m (inclusi)	15–25m (inclusi)	La lunghezza determina la configurazione tecnica ammissibile (Cap.9 §9.3). Barche <12m → Config. B (volume batterie limitato a massimo 30 kWh senza modifiche strutturali). Barche >20m → Config. C. Il 75% della piccola pesca sarda è composta da barche <12m (dati STECF 23-01 GSA 11).

5	Consumo gasolio verificato (media ultime 3 campagne, Giornale di Bordo e-VMS)	25–45 l/gg (target 40 kW diesel)	20–40 l/gg (target 31,7 l/gg assunz. A-03)	35–60 l/gg (target 55–60 kW diesel)	Il consumo verificato da e-VMS è il dato primario per la CBA barca-specifica. Barche con consumo <20 l/gg hanno riduzione assoluta troppo bassa per giustificare il CAPEX del retrofit. Barche con consumo >60 l/gg richiedono sistemi >Config. C: fuori perimetro del pilota.
4	Condizioni strutturali dello scafo (ispezione RINA o Capitaneria, max 5 anni)	Conforme Codice Nav. art.162	Conforme D.Lgs 171/2005 art.65	Conforme Codice Nav. art.162	Le barche strutturalmente degradate non possono ricevere il retrofit per rischio di aumento del peso localizzato (batterie: +68 kg per Config. B). Il certificato di ispezione RINA o il Certificato di Navigabilità (Capitaneria) non devono avere più di 5 anni dalla data di ispezione.
4	Potenza motore diesel installato (kW)	30–60 kW (mono o bipropulsore)	15–40 kW (monopropulsore)	55–120 kW (mono o bipropulsore)	Il motore EL di retrofitting è dimensionato al 25–35% della potenza diesel (Cap.9 §9.3). Motori diesel <15 kW: rapporto potenza/peso motore EL sfavorevole. Motori >120 kW: il motore EL non è in grado di coprire la fase di pesca costiera in EL-only.
4	Attrezzo da pesca principale (tipo di pesca)	Reti da imbrocco, nasse, palangari	Reti da imbrocco, nasse, palangari, lenze	Reti a strascico leggero (gangui), nasse, palangari	Gli attrezzi passivi (reti da imbrocco, nasse, palangari) sono compatibili con la propulsione EL-only perché non richiedono traino continuato ad alta potenza. Lo strascico leggero (gangui) è ammesso solo per Config. C+ (potenza EL limitata alla fase di transito, non di traino). Strascico pesante: escluso (incompatibile con propulsione ibrida a questi livelli di potenza EL).
3	Tipologia di cooperativa proprietaria / armatoriale	Cooperativa associata UN.I.COOP	Cooperativa associata UN.I.COOP	Cooperativa associata UN.I.COOP	La cooperativa deve essere associata UN.I.COOP per garantire: la conformità alla governance del progetto, l'accesso ai meccanismi di garanzia ISMEA tramite UN.I.COOP, la possibilità di partecipazione alla CER portuale (soci produttori/consumatori). Armatori individuali possono partecipare solo se iscritti come soci di una cooperativa associata UN.I.COOP.
3	DURC (regolarità contributiva e fiscale)	DURC regolare (max 4 mesi)	DURC regolare (max 4 mesi)	DURC regolare (max 4 mesi)	Requisito obbligatorio per: (a) accesso alla garanzia ISMEA (§8.1.2, Tab.8.2); (b) ammissibilità alla rendicontazione FEAMPA; (c) sottoscrizione contratto di ricarica CER portuale. Da verificare per tutti gli armatori candidati entro settimana 4 della Fase 0 (cronoprogramma §21.1).
3	Disponibilità armatore a partecipare al monitoraggio M&V (accordo firmato)	Sì — adesione M&V volontaria	Sì — adesione M&V volontaria	Sì — adesione M&V volontaria	L'installazione della sensoristica IoT (Cap.12) richiede il consenso informato dell'armatore (GDPR art.6 §1(a) — consenso esplicito per trattamento dati GPS). L'accordo di adesione M&V include: DPIA informativa, consenso raccolta dati, impegno

					alla rendicontazione trimestrale dei Giornali di Bordo.
2	Anzianità della barca (anno di costruzione)	Max 25 anni (costruzione ≥ 2000)	Max 20 anni (costruzione ≥ 2005)	Max 20 anni (costruzione ≥ 2005)	Barche molto anziane (>25 anni) hanno scafi con struttura portante potenzialmente inadeguata per sostenere il peso aggiuntivo delle batterie e richiedono ispezioni straordinarie costose. Limite indicativo — valutazione caso per caso con perito RINA per barche al limite.
2	Porto di stanza (vicinanza ai siti pilota selezionati)	Entro 15 km da sito pilota proposto	Entro 15 km da sito pilota proposto	Entro 15 km da sito pilota proposto	La barca deve poter raggiungere le colonnine di ricarica del sito pilota come porto di approdo ordinario (non come trasferta eccezionale). Barche che operano abitualmente a distanze >15 km dal sito pilota hanno costi di trasferta per la ricarica che azzerano il beneficio economico del retrofit.
1	Preferenza per barche con armatore ≤55 anni (punteggio aggiuntivo)	Punteggio +1 (non escludente)	Punteggio +1 (non escludente)	Punteggio +1 (non escludente)	Criterio preferenziale non escludente: armatori più giovani hanno un orizzonte temporale di utilizzo >10 anni (vita utile del sistema ibrido) che massimizza il VAN individuale e la probabilità di scale-up spontaneo al termine del pilota. Gli armatori >55 anni non sono esclusi ma ricevono un punteggio complessivo inferiore.

Nota: Il punteggio massimo per una barca marittima è 32 punti (somma dei pesi: 5+5+4+4+4+3+3+3+2+2+1 = 36 lordi, ma le soglie eliminatorie riducono il range effettivo a 0–32 per le barche ammissibili). Le barche che non soddisfano un criterio con peso 5 sono automaticamente escluse. Una barca ammissibile tipica ottiene un punteggio di 20–28/32; la soglia raccomandata per l'arruolamento nel pilota è ≥20/32. Le Schede barca tipo (Tab.15.5) applicano questo scoring a 5 profili specifici. Collegamento: §15.3 (scoring applicato), §16.2 (dimensionamento per configurazione), Tab.17.1 (parametri CBA per barca tipo).

15.1.2 Criteri aggiuntivi per imbarcazioni lagunari (pescaggio, base operativa)

Le imbarcazioni lagunari (Configurazione L) richiedono criteri aggiuntivi rispetto a quelli marittimi, perché operano in ambienti fisici (lagune, stagni costieri) con caratteristiche radicalmente diverse dalle acque marine aperte: fondali bassi (0,5–1,5m), acque salmastre con alta variabilità di salinità, canali navigabili stretti (3–12m), presenza di specie e habitat protetti Natura 2000 nelle immediate vicinanze. I criteri aggiuntivi della Tabella 15.2 si sovrappongono e integrano quelli della Tab.15.1, non li sostituiscono: una barca lagunare deve soddisfare tutti i criteri base (§15.1.1, adattati per la taglia <6m) più quelli specifici per la laguna. I tre criteri con peso 5 per le imbarcazioni lagunari sono: il pescaggio massimo (0,60m — vincolo fisico non derogabile dai fondali), la base operativa lagunare (la barca deve stazionare nella laguna o nelle immediate vicinanze), e la tipologia di pesca (attrezzi compatibili con la propulsione EL-only).

Tabella 15.2 — Criteri aggiuntivi per imbarcazioni lagunari (Config. L): 9 criteri ponderati con soglie specifiche per contesto lagunare ZSC/ZPS sardo

Peso (1–5)	Criterio specifico per Config. L lagunare	Soglia / valore target	Giustificazione tecnica e normativa per contesto lagunare sardo
5	Pescaggio massimo (tirante d'acqua con carico pieno)	≤ 0,60 m (fondali lagunari 0,5–1,5m)	Le lagune sarde (Cabras, Santa Gilla) hanno fondali medi di 0,5–1,5m con canali navigabili a 1,0–1,5m. Il pescaggio massimo di 0,60m lascia un franco di sicurezza minimo di 40cm sul fondale. Barche con pescaggio >0,80m sono escluse dal pilota lagunare. Verifica: misurazione diretta sul pontile di armamento prima dell'arruolamento.
5	Base operativa lagunare (porto/approdo all'interno o sul bordo della laguna)	Porto o approdo dentro il perimetro	La barca deve avere come porto di stanza ordinario un punto all'interno della laguna o nelle immediate vicinanze (entro 2 km). Barche che operano in laguna solo occasionalmente non sono rappresentative del profilo operativo target della Config. L. Verifica:

		della laguna o entro 2 km	copia della licenza di pesca con indicazione del porto di stanza (MASAF).
5	Tipologia di pesca lagunare (attrezzi compatibili)	Anguille (nasse, bertovelli), cefali (reti da circuizione), vongole (rastrelli a mano)	Gli attrezzi tipici della pesca lagunare sarda sono compatibili con la propulsione EL pura (zero emissioni in laguna): lo spostamento tra le poste è lento (<5 nodi) e a breve distanza (<5 km). Escluse le barche che praticano pesca a trascinamento o che escono abitualmente dal perimetro lagunare (quota offshore >30% delle uscite).
4	Dimensioni scafo (lunghezza x larghezza)	Lft: 4–7m (larghezza max 2,2m per accesso canali)	Le barche lagunari sarde tipiche (battelli piatti, sandoli, lance) misurano 4–7m con larghezza 1,6–2,2m. Barche più larghe non riescono a percorrere i canali navigabili delle lagune (larghezza media canale principale Cabras: 8–12m; canali secondari: 3–5m). Peso target con batterie 12 kWh: <1.000 kg totali a pieno carico.
4	Approvazione Ente Parco / Enti gestori ZSC (nulla osta preliminare)	Nulla osta scritta da Ente competente (Tab.5.7)	Per le lagune ZSC (Cabras: IT2000017; Santa Gilla: IT2000001/ZPS) è necessario il nulla osta preventivo dell'ente gestore (Regione Sardegna per la ZPS Santa Gilla; Piano di Gestione ZSC per Cabras) prima dell'arruolamento della barca nel pilota. Senza nulla osta, la barca non può operare con il sistema EL nelle aree di divieto. Verifica pre-arruolamento (§5.6, Tab.5.7).
3	Stato di conservazione scafo (resistenza umidità e corrosione)	Buono/ottimo — certificato o ispezione visiva recente	Le barche lagunari operano in acque con alta variabilità di salinità (gradiente 15–50 mS/cm) e con fanghi ricchi di H ₂ S nelle lagune eutrofiche (Cabras, Santa Gilla). Questo ambiente è più corrosivo dell'acqua marina aperta per alcuni componenti (cuscinetti, connettori). Lo scafo deve essere in buone condizioni per limitare i costi di manutenzione aggiuntivi post-retrofit.
3	Capacità di carico utile post-retrofit (kg disponibili per batterie)	≥ 150 kg liberi con pescatori e attrezzatura a bordo	Il pack batterie LiFePO ₄ 12 kWh pesa ~27 kg (LFP compatta, densità 200 Wh/kg). Il motore EL 5 kW pesa ~18 kg. Totale aggiunta: ~55 kg. La barca deve avere una riserva di portata ≥150 kg (batterie + margine sicurezza) per garantire la navigabilità con pescatori, attrezzatura e catture a bordo. Verifica: stazza lorda registrata Capitaneria.
2	Connettività rete (4G o LoRa nella laguna)	4G ≥ -90 dBm o copertura LoRa gateway ≤5km	La sensoristica IoT (§12.1) richiede connettività per la trasmissione dati in tempo reale. Le lagune sarde hanno copertura 4G variabile: buona nelle aree vicino ai centri abitati (Santa Gilla, Torre Grande), scarsa nelle aree interne di Cabras e negli stagni di Asinara. Per i siti con 4G debole (<-90 dBm) è necessario installare un gateway LoRa sul pontile (§12.3.2 — soluzione già prevista per Orosei).
1	Partecipazione precedente a progetti pilota UE (punteggio aggiuntivo)	Punteggio +1 (non escludente)	Gli armatori che hanno già partecipato a progetti pilota UE (LIFE, Horizon, EMFF) hanno maggiore familiarità con i processi di rendicontazione e monitoraggio. Criterio preferenziale che facilita la gestione del pilota senza penalizzare i nuovi aderenti.

Nota: Il criterio 'approvazione Ente Parco/gestori ZSC' (peso 4) è specifico per Asinara (Parco Nazionale) e Santa Gilla (ZPS con DGR 9/18). Per Cabras (solo ZSC, senza ZPS), il nulla osta è richiesto ma più semplice da ottenere (Piano di Gestione ZSC senza misure di conservazione straordinarie per la navigazione EL). Il criterio peso 2 sulla connettività è rilevante per le lagune con copertura 4G debole: il gateway LoRa è una soluzione tecnica già prevista nell'architettura IoT (§12.3.2) e non deve essere considerato un ostacolo eliminatorio. Collegamento: §5.1 (Tab.5.1 readiness porti lagunari), §6.2 (parametri monitoraggio lagunare), Tab.15.4 (cronoprogramma VInCA per sito lagunare).

15.2 Criteri di selezione siti pilota

I siti pilota sono valutati su 9 criteri (Tabella 15.3), organizzati in 5 aree: infrastrutturale (disponibilità shore power, readiness CER), ambientale (assenza/gestibilità vincoli Natura 2000, distanza da ZSC/ZPS), organizzativa (presenza cooperative UN.I.COOP), digitale (connettività) e logistica (accessibilità, vicinanza CNR-IAS). Il confronto è effettuato sui 4 siti principali candidati: Cabras (OR), Santa Gilla (CA), Asinara (SS) e Sulcis/Porto Pino (CI). Il sito di Orosei (NU) è analizzato nella Tab.5.1 ma non è incluso nel campione pilota della Fase 1 perché mancante di cooperative associate UN.I.COOP nel porto di stanza, pur essendo candidato per la Fase 2.

15.2.1 Infrastrutture (disponibilità shore power, colonnine CEI 64-8 §709)

La disponibilità di shore power è il criterio infrastrutturale con peso massimo (5) perché determina la fattibilità tecnica della ricarica — e quindi del retrofit — nel sito. La verifica è condotta attraverso: (a) richiesta di informazioni ad Enel Distribuzione sulle cabine BT/MT disponibili e la loro potenza residua; (b) sopralluogo tecnico del pontile per la verifica della praticabilità dell'installazione delle colonnine CEI 64-8 §709; (c) confronto con i dati della Tab.5.1 (readiness porti). Sulcis è l'unico sito con connessione MT disponibile (80 kW) — sufficiente per tutti i tipi di ricarica inclusa Config. C+. Santa Gilla e Cabras hanno connessione BT con potenza sufficiente per la Config. B (22 kW) ma richiedono un upgrade per configurazioni più potenti. Asinara, con soli 15 kW BT su linea isolata, richiede la soluzione FV autonomo.

15.2.2 Vincoli ambientali e verifica Natura 2000 nel raggio di 1km dal sito

Tutti e quattro i siti pilota candidati si trovano in prossimità di siti della Rete Natura 2000 (ZSC e/o ZPS). La verifica è condotta nel raggio di 1 km dal pontile di armamento, in coerenza con la prassi delle Valutazioni di Incidenza (VInCA) per interventi portuali che hanno influenza sugli ecosistemi circostanti. La presenza di vincoli Natura 2000 non è un criterio di esclusione automatica — tutti i siti candidati ne sono interessati — ma determina il livello di approfondimento della VInCA (Screening Liv.I vs Livello II), la complessità dell'iter autorizzativo e le misure operative da adottare durante il pilota (limiti di velocità, periodi di divieto, buffer di ormeggio). Il criterio peso 5 per i vincoli ambientali riflette la loro natura bloccante: un vincolo non gestito può impedire l'avvio del pilota indipendentemente da tutti gli altri requisiti soddisfatti.

Tabella 15.3 — Criteri di selezione siti pilota: 9 criteri ponderati x 4 siti candidati con coding ✓/Δ/× e note operative

Peso (1-5)	Criterio di selezione sito pilota	Tipo criterio	Cabras (OR)	S.Gilla (CA)	Asinara (SS)	Sulcis (CI)	Note e soglia minima per ammissibilità al pilota
5	Disponibilità shore power BT (kW disponibili, verifica Enel DS)	Infrastrutturale	30 kW Δ	50 kW ✓	15 kW ×	80 kW (MT) ✓	Soglia minima: ≥22 kW per Config. B (ricarica 22 kW AC trifase). Asinara <15 kW → autonomia FV obbligatoria o esclusione Config. B. Sulcis (MT 80 kW): unico sito con potenza sufficiente per Config. C+.
5	Assenza di vincoli Natura 2000 ostativi (o VInCA completata entro Fase 0)	Ambientale	ZSC Δ (VInCA)	ZSC+ZPS Δ (VInCA + nov-mar)	ZSC+PN × (VInCA + nulla osta)	ZSC Δ (VInCA prevista breve)	Soglia minima: sito non deve avere divieto permanente di navigazione motorizzata. Asinara: iter più lungo (Parco Nazionale). Sulcis: ZSC senza divieti permanenti — iter più snello.
4	Presenza cooperativa associata UN.I.COOP col porto di stanza	Organizzativo	Sì ✓ (2 coop.)	Sì ✓ (3 coop.)	Sì Δ (1 coop, presenza stag.)	Sì ✓ (2 coop.)	Soglia minima: ≥1 cooperativa associata UN.I.COOP con almeno 3 barche idonee al pilota nel porto di stanza. Asinara: presenza solo stagionale (estate) — non adatto per pilota annuale senza accordo specifico.
4	Readiness CER portuale (superfici FV, accordo)	Energetico	Alta Δ (sup. disponibili, iter CER possibile)	Media Δ (upgrade potenza)	Bassa × (FV autonomo obbl.)	Alta ✓ (MT, tetti magazzini, gestore disponibile)	Soglia minima: esistenza di superfici utili per FV ≥20 kWp + disponibilità del gestore portuale a

	gestore portuale)						partecipare alla CER. Sulcis è l'unico sito con tutti i requisiti soddisfatti senza iter straordinari. Collegamento: Tab.5.1 (readiness dettagliata).
4	Connettività 4G o LoRa (copertura verificata)	Digitale	4G ✓(-78 dBm)	4G ✓(-72 dBm)	4G △ (-94 dBm, LoRa gw necessario)	4G ✓(-75 dBm)	Soglia minima: 4G ≥ -90 dBm (RSRP) o LoRa gateway entro 5 km. Asinara: under-threshold 4G ma compensabile con gateway LoRa sul pontile (costo aggiuntivo ~€800). Dati copertura: Open Signal + misure campo marzo 2025.
3	Tempo stimato iter autorizzativi (mesi da Fase 0 a GO pilota)	Autorizzativo	5-7 mesi △	4-6 mesi △	7-10 mesi ✗	2-3 mesi ✓	Soglia preferenziale: ≤6 mesi per avvio pilota. Sulcis è l'unico sito sotto la soglia. Asinara (7-10 mesi) supera la soglia e richiede avvio contemporaneo degli iter dalla settimana 1 Fase 0 per non ritardare il pilota (Tab.5.7).
3	Vicinanza a siti Natura 2000 (ZSC/ZPS entro 1km dal pontile)	Ambientale	ZSC entro 500m △	ZPS entro 200m ✗	ZSC entro 100m ✗	ZSC entro 2km △	Soglia: siti con ZPS entro 200m (Santa Gilla) richiedono VInCA più approfondita per disturbo avifauna. Non escludente ma aumenta il livello di dettaglio della VInCA e i tempi di approvazione. Dettaglio per sito: Tab.6.4 e Tab.6.5.
2	Accessibilità per trasporto attrezzature retrofit (strade, gru portuali)	Logistico	Media ✓	Buona ✓	Difficile △ (accesso trasbordo)	Buona ✓	Soglia: accessibile con veicolo commerciale ≤3,5t e gru mobile ≤5t per movimentazione batterie. Asinara richiede trasbordo via mare (porto Fornelli → approdo isola): costo logistico aggiuntivo stimato €3.000-5.000 per barca. Da includere nel CAPEX sito Asinara.
1	Presenza di ricercatori CNR-IAS o Università nei pressi del sito	Scientifico	CNR-IAS Oristano ✓(5 km)	CNR-IAS Cagliari ✓(3 km)	CNR-IAS SS △ (35 km)	Università Cagliari (90 km) △	Criterio preferenziale: vicinanza di struttura CNR-IAS facilita il monitoraggio ambientale (§23.2)

e-VMS 2022–2024)					
Tipo pesca principale	Reti da imbrocco, nasse — branzino, orata, polpo	Palangari, nasse — cernia, dentescie, scorfano	Nasse, palangari orizzontali, reti a circuizione (palamito pelagi.)	Bertovelli, nasse er anguille, cefali, branzini	Reti da posta, nasse — bassaiola (cefali, spigole)
Porto di stanza	Porto Pino (Sulcis, CI)	Santa Gilla (CA) — zona B	Porto Pino (Sulcis, CI)	Approdo S'ena Arrubia (Cabras, OR)	Canale Istri — Santa Gilla (CA)
Cooperativa associata UN.I.COOP	Coop. Pescatori Sulcis srl	Coop. Pesca Santa Gilla arl	Coop. Pescatori Sulcis srl	Coop. Pesca Artigianale Torre Grande	Coop. Pesca Santa Gilla arl
Configurazione retrofit proposta	Config. B (<12m ibrido) Motore EL 15kW + LiFePO4 30kWh	Config. B (<12m ibrido) Motore EL 15kW + LiFePO4 30kWh	Config. A (12–20m ibrido) Motore EL 20kW + LiFePO4 50kWh	Config. L (lagunare EL puro) Motore EL 5kW + LiFePO4 12kWh	Config. L (lagunare EL puro) Motore EL 5kW + LiFePO4 12kWh
CAPEX stimato (senza contributo)	€ 55.000	€ 55.000	€ 80.000	€ 25.000	€ 25.000
Aliquota FEAMPA attesa (config.)	65% (art.27 B)	65% (art.27 B)	60% (art.27 A)	70% (art.27 L)	70% (art.27 L)
Contributo FEAMPA stimato	€ 35.750	€ 35.750	€ 48.000	€ 17.500	€ 17.500
Quota privata netta (da finanziare)	€ 19.250	€ 19.250	€ 32.000	€ 7.500	€ 7.500
Riduzione gasolio attesa (-%)	-45% = -12,8 l/gg = -2.556 l/anno	-45% = -14,9 l/gg = -2.979 l/anno	-50% = -26,4 l/gg = -5.274 l/anno	-90% = -6,1 l/gg = -1.221 l/anno	-90% = -7,4 l/gg = -1.475 l/anno
Risparmio annuo (€, prezzo agevol.)	€ 1.713/anno (2.556 l × €0,67)	€ 1.996/anno (2.979 l × €0,67)	€ 3.534/anno (5.274 l × €0,67)	€ 818/anno (1.221 l × €0,67)	€ 988/anno (1.475 l × €0,67)
VAN 10 anni (tasso sconto 5%)	+€ 11.140 ✓	+€ 14.020 ✓	-€ 8.646 ✗	+€ 54.401 ✓	+€ 59.200 ✓
Break-even (mesi)	47 mesi ✓	43 mesi ✓	>10 anni ✗	11 mesi ✓	10 mesi ✓
Colonnine CEI §709 disponibili nel porto	ASSENTI ✗ → da installare in Fase 0	PARZIALI △ (2 prese non certificate)	ASSENTI ✗ → da installare in Fase 0	ASSENTI ✗ → da installare (approdo)	ASSENTI ✗ → da installare (approdo)
CER portuale attiva nel porto	NON ATTIVA △ (iter avviabile subito — Sulcis prioritario)	NON ATTIVA ✗ (iter bloccato da VInCA ZPS)	NON ATTIVA △ (come Barca 1, sito Sulcis)	NON ATTIVA △ (iter Cabras in corso)	NON ATTIVA ✗ (iter bloccato da stagionalità ZPS)
VInCA richiesta per il sito	Screening Liv.I (ZSC Sulcis) → Fase 0 M1	VInCA ZPS (ZPS S.Gilla) → Fase 0 M1 (lungo 90 gg)	Screening Liv.I (ZSC Sulcis) → come Barca 1	Screening Liv.I + Liv.II (ZSC Cabras) → Fase 0 M1	VInCA ZPS Liv.I+II → Fase 0 M1 (lungo 90 gg)
Score totale selezione (max 30)	27/30 ✓ PRIORITARIO	25/30 ✓ AMMESSO	18/30 △ CONDIZ. (VAN neg.)	29/30 ✓ PRIORITARIO	28/30 ✓ PRIORITARIO

Nota: I valori di consumo gasolio (colonna 'consumo e-VMS') per Barca 2 e Barca 3 sono classificati Lv.2 (dati e-VMS verificati); per Barca 1, 4 e 5 sono Lv.3 (dichiarazione armatore, in assenza di e-VMS digitalizzato). L'aliquota FEAMPA indicata per ciascuna configurazione è la percentuale attesa sulla base dei precedenti regionali (Tab.14.3) e delle assunzioni CBA (§17.2.1): le aliquote effettive saranno determinate dall'istruttoria dell'AdG FEAMPA Sardegna. Il VAN della Barca 3 (Config. A, -€8.646) è basato sulle

assunzioni della Tab.17.1 con riduzione consumi -50%; migliorerebbe a +€2.300 con riduzione -55% e CER attiva (scenario ottimistico §17.3.3). Collegamento: Tab.17.1 (dati CBA dettagliati per barca tipo), Cap.19 (DNSH per sito pilota), §21.1 (cronoprogramma con milestone per sito).

16. Progettazione Preliminare e Scenari

Pacchetti tecnologici · Layout installativo · Infrastruttura portuale · Ricarica · O&M

Il presente capitolo descrive la progettazione preliminare delle cinque configurazioni tecnologiche individuate per il progetto R3 (Configurazioni A, B, C, C+ e L), specificando le scelte architettoniche, i requisiti tecnici marine-grade, le condizioni infrastrutturali necessarie nei porti e approdi sardi, i modelli di governance per la ricarica e la gestione dell'energia, e il piano di operatività e manutenzione (O&M) derivato dalle schede preventivo dei fornitori selezionati (Allegato D).

Le configurazioni sono state dimensionate sulla base dei profili di missione (§9.3) e dei vincoli di bilancio energetico integrato (§11.6). La valutazione economica completa (VAN, payback, analisi Monte Carlo) è sviluppata nel Capitolo 17; il presente capitolo fornisce le specifiche tecniche di input e le condizioni abilitanti.

16.1 Pacchetti tecnologici e configurazioni (A/B/C/C+/L)

Lo studio identifica cinque configurazioni di riferimento, corrispondenti a distinte categorie di imbarcazioni della flotta artigianale sarda. La selezione è stata condotta applicando i criteri di cui al §2.2 (idoneità alla piccola pesca, marine-grade, conformità CRA e Reg. 2023/1542). Il quadro sinottico è presentato nella Tabella 16.1; le specifiche per configurazione sono dettagliate nelle Tabelle 16.2–16.5.

Tabella 16.1 — Riepilogo comparativo configurazioni: CAPEX, VAN, payback e redditività Monte Carlo

Config.	Descrizione	CAPEX	Rid. Gasolio	FEAMPA %	VAN determ.	Payback	P(VAN>0) MC
A	Ibrido 12–20m	€ 80.000	50%	60%	-€ 8.646	>10 anni	8% ✗
B	Ibrido <12m ✓	€ 55.000	45%	65%	+€ 11.140	47 mesi	100% ✓
C	Ibrido 15–25m	€ 120.000	55%	55%	-€ 40.902	>10 anni	0% ✗
C+3	C + FV 3 kWp	€ 130.000	60–63%	55%	-€ 35.800	>10 anni	2–5% △
C+6	C + FV 6 kWp △	€ 138.000	63–67%	55%	-€ 29.500	>10 anni	8–15% △
L	Lagunare EL ✓	€ 25.000	90%	70%	+€ 54.401	11 mesi	100% ✓

Nota: FEAMPA %: percentuale di contributo pubblico ex art.27 Reg.UE 2021/1139. VAN calcolato su 10 anni, tasso di sconto 5%, prezzo gasolio netto 0,67 €/l (post-accisa D.Lgs 504/1995). P(VAN>0) MC: probabilità da simulazione Monte Carlo 10.000 iterazioni (§17.3.2). Configurazioni B e L raccomandate; Config. C+6kWp ammissibile come unica soluzione marittima autonoma per TSC DNSH.

16.1.1 Configurazione A — Ibrido parallelo 12–20m (150–300 kW)

La Configurazione A è destinata alle imbarcazioni da pesca di medie dimensioni (12–20m, stazza 5–20 GT) operanti in acque aperte nelle GSA sarde. L'architettura ibrida parallela abbina un motore diesel esistente (150–300 kW) a un motore-generatore elettrico aggiuntivo (30–80 kW) attraverso una frizione elettromagnetica (PTO/PTI), consentendo la propulsione elettrica a bassa velocità durante la fase di pesca senza sostituzione del motore principale.

I fornitori di riferimento sono Transfluid S.p.A. (Brescia) per il sistema di trasmissione ibrida e Fischer Panda (DE) per il generatore marino. Il sistema di accumulo utilizza batterie LiFePO4 (30–60 kWh, MG Energy Systems) conformi a IEC 62619 e Reg.(UE) 2023/1542 con Carbon Footprint Declaration.

Tabella 16.2 — Configurazione A: specifiche tecniche, performance e inquadramento finanziario

Categoria	Parametro	Valore / Specifiche
APPLICAZIONE	Tipologia imbarcazione	Trabaccolo/paranza 12–20m, stazza 5–20 GT

	Attrezzi compatibili	Palangari fissi, reti da posta, nasse
	Zone operative	Acque aperte, GSA 11 (Sardegna), fino a 12 nm
PROPULSIONE	Architettura	Ibrido parallelo: motore diesel + motore-generatore EL
	Potenza diesel	150–300 kW (es. Volvo IPS / Yanmar 6LPA)
	Motore elettrico	30–80 kW (Transfluid TM4 / Fischer Panda AGT)
	Modo EL-only	Velocità <4 nodi, solo durante la cala/salpata attrezzi
ACCUMULO	Tecnologia batterie	LiFePO4, 30–60 kWh (MG Energy / Victron)
	Standard sicurezza	IEC 62619, IMO MSC.1/Circ.1605, SOLAS Ch.II-1 R.55
	BMS	7 funzioni: SoC, SoH, OVP, termica, cortocircuito, CAN-bus
PERFORMANCE	Riduzione gasolio	50% sul totale annuo (baseline 31,7 l/gg × 200 gg)
	Riduzione GWP	~33% life cycle (non raggiunge TSC 40% senza CER)
	Autonomia EL-only	2–4 ore in modalità pesca
FINANZIARI	CAPEX totale	€ 80.000 (lordo); contributo FEAMPA 60% → netto € 32.000
	VAN deterministico	-€ 8.646 (10 anni, tasso 5%, gasolio 0,67 €/l)
	Payback	>10 anni (fuori perimetro studio)
	P(VAN>0) Monte Carlo	8% — non raccomandato senza incentivi aggiuntivi
DNSH/FEAMPA	Conformità TSC Sez.6.5	PARZIALE — necessaria CER portuale per TSC ≥40%
	Battery Regulation	Reg. (UE) 2023/1542: CFD obbligatoria da luglio 2024
FORNITORI RIFERIMENTO	Propulsione ibrida	Transfluid (IT), Fischer Panda (DE)
	Batterie	MG Energy Systems (NL), Victron Energy (NL)

Nota: FEAMPA art.27: retrofit motore/sistema propulsivo classificato come intervento di efficienza energetica. Condizione abilitante DNSH: attivazione CER portuale ($FE \leq 0,050 \text{ kgCO}_2 / \text{kWh}$) per raggiungere soglia TSC 40%. $P(VAN>0)=8\%$: configurazione ammissibile solo con garanzie ISMEA e/o incentivi aggiuntivi (§17.2.3).

16.1.2 Configurazione B — Ibrido compatto <12m (40–130 kW)

La Configurazione B è la configurazione prioritaria dello studio: destinata alle barche da pesca artigianale sotto i 12 metri (stazza 1–5 GT), rappresenta il segmento più numeroso della flotta sarda e quello con il migliore profilo economico (VAN +€11.140, payback 47 mesi, $P(VAN>0)$ 100%).

L'architettura sandwich di Bellmarine (NL) consente il retrofit senza sostituzione dell'asse di trasmissione, riducendo i tempi di fermo barca a 5–7 giorni lavorativi. Il sistema opera in modalità EL-only durante la cala/salpata degli attrezzi e la manovra in porto, garantendo una riduzione del 45% dei consumi di gasolio. La condizione abilitante per la conformità DNSH (TSC GHG ≥40%) rimane l'attivazione della CER portuale ($FE \leq 0,050 \text{ kgCO}_2 / \text{kWh}$).

Tabella 16.3 — Configurazione B: specifiche tecniche, performance e inquadramento finanziario

Categoria	Parametro	Valore / Specifiche
APPLICAZIONE	Tipologia imbarcazione	Barca da pesca <12m, stazza 1–5 GT
	Attrezzi compatibili	Amo/palangaro, tramaglio, nasse, polipierte
	Zone operative	Acque costiere, entro 6 nm, lagune esterne
PROPULSIONE	Architettura	Ibrido compatto sandwich: PTI/PTO su trasmissione
	Potenza diesel	40–130 kW (Yanmar 4JH / Volvo D4)
	Motore elettrico	15–40 kW (Bellmarine DriveMaster EVO)
	Modo EL-only	Velocità <5 nodi, cala/salpata, manovra porto
ACCUMULO	Tecnologia batterie	LiFePO ₄ , 15–30 kWh (Mastervolt MLI Ultra)
	Standard sicurezza	IEC 62619, IP67 vano batterie, ventilazione forzata
	BMS	SoC+SoH display, protezione cella, CAN 2.0B
PERFORMANCE	Riduzione gasolio	45% sul totale annuo
	Riduzione GWP	32,8% life cycle — CER portuale necessaria per TSC 40%
	Break-even emissivo	8,8 mesi (con CER, FE 0,050 kgCO ₂ /kWh)
	Autonomia EL-only	3–5 ore
FINANZIARI	CAPEX totale	€ 55.000 (lordo); contributo FEAMPA 65% → netto € 19.250
	VAN deterministico	+€ 11.140 (10 anni, tasso 5%)
	Payback	47 mesi (~4 anni)
	P(VAN>0) Monte Carlo	100% — CONFIGURAZIONE RACCOMANDATA ✓
DNSH/FEAMPA	Conformità TSC Sez.6.5	CONFORME con CER portuale (FE 0,050 → GWP -40%)
	Scenari DNSH conformi	1 su 2 — condizione abilitante: CER portuale
FORNITORI RIFERIMENTO	Sistema ibrido	Bellmarine (NL), EP Technologies (IT)
	Batterie/BMS	Mastervolt (NL), Victron Energy (NL)

Nota: Configurazione raccomandata come candidato principale per il pilota. Compatibile con tutti i siti pilota identificati (§15.2). Break-even emissivo 8,8 mesi con CER; senza CER il GWP lifecycle si attesta a 32,8%, insufficiente per TSC 40%.

16.1.3–16.1.4 Configurazioni C e C+ — Ibrido premium 15–25m e variante FV

La Configurazione C è destinata alle imbarcazioni più grandi della piccola pesca (15–25m, 10–40 GT), che richiedono sistemi di propulsione ibrida di maggiore potenza (serie-parallelo LPMR + MG Energy, 60–120 kW EL). Il costo elevato (CAPEX €120.000) e il VAN negativo (–€40.902) rendono questa configurazione non bancabile senza contributi pubblici significativi.

La variante C+ integra pannelli fotovoltaici flessibili (CIGS o PERC, superficie fino a 25 m² su tuga) nelle taglie da 3 kWp e 6 kWp. La versione C+6kWp è l'unica configurazione marittima in grado di raggiungere autonomamente la soglia DNSH TSC 40% di riduzione GHG (-43+50% life cycle) senza dipendere dalla CER portuale, grazie a una produzione annua stimata di 10.500 kWh (PVGIS Sardegna, 1.750 kWh/m²/anno). Tuttavia, il profilo finanziario rimane sfavorevole (P(VAN>0) 8–15%) e la sua adozione è condizionata a meccanismi di incentivazione complementari.

Tabella 16.4 — Configurazioni C e C+ 6kWp: confronto tecnico-economico e conformità DNSH

Categoria	Parametro	Config. C (base)	Config. C+ 6 kWp
APPLICAZIONE	Lunghezza	15–25m	15–25m
	GT	10–40 GT	10–40 GT
PROPULSIONE	Attrezzi	Strascico leggero, volante	Strascico leggero, volante
	Architettura	Ibrido serie-parallelo LPMR	Ibrido serie-parallelo LPMR
	Potenza diesel	200–400 kW	200–400 kW
ACCUMULO	Motore EL	60–120 kW (MG Energy HES)	60–120 kW
	Batterie	LiFePO ₄ , 60–100 kWh	LiFePO ₄ , 60–100 kWh
FV BORDO	Pannelli FV	—	Flessibili CIGS/Perc 6 kWp su tuga
	Produzione annua	—	10.500 kWh/anno (PVGIS, Sardegna 1.750 h/m ²)
	Autonomia aggiuntiva	—	+2,0–2,5 ore/giornata
PERFORMANCE	Riduzione gasolio	55%	63–67%
	Riduzione GWP	~35% (no CER)	43–50% (senza CER) ✓ TSC
	Autonomia EL-only	2–3 ore	4–6 ore
FINANZIARI	CAPEX	€ 120.000	€ 138.000
	Contributo FEAMPA 55%	→ netto € 54.000	→ netto € 62.100
	VAN (10 anni)	-€ 40.902	-€ 29.500
	Payback	>10 anni	>10 anni
	P(VAN>0) MC	0% ✗	8–15% △
DNSH	TSC 40% GHG	NON RAGGIUNTA senza CER	RAGGIUNTA autonomamente ✓
	Scenari DNSH	0/10	1/10 (Config. C+6 standalone)

Nota: C+6kWp è l'unica soluzione marittima standalone conforme a TSC Sez.6.5 senza CER (All. J, §13.3). Non raccomandato come pilota primario: elevato CAPEX e ridotta bancabilità. Da considerare per sviluppi futuri su flotte di taglia medio-grande con accesso a contributi nazionali (Fondo Kyoto, Green Bond cooperativi).

16.1.5 Configurazione L — Lagunare <6m, elettrico puro

La Configurazione L rappresenta il caso di massima efficienza e semplicità tecnologica: imbarcazione lagunare inferiore ai 6 metri con motore elettrico puro (pod subacqueo o fuoribordo EL, 5–15 kW), destinata alle peschierie lagunari sarde (Cabras, Santa Gilla, Asinara). La rimozione totale del motore diesel elimina praticamente tutte le emissioni operative (riduzione GWP 85% lifecycle), con impatti acustici sottomarini trascurabili (-20÷30 dB UWN vs diesel, contributo diretto al Descrittore D11 MSFD).

Con un CAPEX di soli €25.000 (contributo FEAMPA 70% → netto €7.500) e un VAN deterministico di +€54.401 su 10 anni (payback 11 mesi), la Configurazione L è economicamente dominante rispetto a tutte le altre e non richiede condizioni abilitanti per la conformità DNSH. Viene raccomandata come configurazione prioritaria per il pilota nelle aree lagunari.

Tabella 16.5 — Configurazione L (lagunare elettrico puro): specifiche tecniche e performance

Categoria	Parametro	Valore / Specifiche
APPLICAZIONE	Tipologia imbarcazione	Barchino lagunare <6m, fondo piatto, pescaggio <0,4m
	Attrezzi compatibili	Nasse, bertovelli, cogoli, anguille/cefali
	Zone operative	Lagune costiere sarde (Cabras, Santa Gilla, Asinara)
	Velocità operativa	<4 nodi (manovra fra attrezzi fissi)
PROPULSIONE	Architettura	Elettrico puro: motore pod subacqueo / fuoribordo EL
	Motore EL	5–15 kW (Torqeedo Cruise 10.0 / ePropulsion Spirit 10)
	Tipo motore	Brushless PM, IPX6/IPX7, acqua di mare lubrificante
	Regime lavoro	Cicli brevi <30 min, potenza variabile 10–100%
ACCUMULO	Tecnologia batterie	LiFePO ₄ , 5–10 kWh (Torqeedo Power 48-5000)
	Standard sicurezza	IEC 62619, IP68 (immersione), deep-water disconnect
	Ricarica	Shore power 230V/16A (3–4 h); possibile FV 0,5 kWp
PERFORMANCE	Riduzione gasolio	90% (quasi zero-emissioni in fase operativa)
	Riduzione GWP	~85% lifecycle — ampiamente sopra TSC 40%
	Emissioni UWN	–20÷30 dB vs motore diesel → contributo D11-GES MSFD
	Autonomia operativa	6–8 ore a piena carica (ciclo lagunare standard)
FINANZIARI	CAPEX totale	€ 25.000 (lordo); contributo FEAMPA 70% → netto € 7.500
	VAN deterministico	+€ 54.401 (10 anni) — MASSIMO TRA TUTTE LE CONFIG.
	Payback	11 mesi ✓
	P(VAN>0) Monte Carlo	100% ✓ — CONFIGURAZIONE PRIORITARIA
DNSH	Conformità TSC Sez.6.5	PIENA — standalone, senza condizioni abilitanti
	Biodiversità (Obj.6)	Impatto acustico praticamente nullo su ZSC/ZPS lagunari
FORNITORI RIFERIMENTO	Motore EL pod/fuoribordo	Torqeedo (DE), ePropulsion (CN/EU), Aquawatt (AT)

Batterie/BMS	Torqeedo Power series, Victron Lithium Smart
--------------	--

Nota: Compatibilità esclusiva con lagune costiere sarde a pescaggio ridotto (<0,4m). Non applicabile ad acque aperte per autonomia insufficiente (6–8 ore in regime lagunare). Candidata prioritaria per il sito di Cabras (laguna di S'ena Arrubia) e Santa Gilla. Collegamento cross-riferimento: Tab. 9.3 (lagunare vs marittimo), §9.3.2 (mission profile L), Tab. 11.6 (bilancio energetico Config. L: 85–100% rinnovabili).

16.2 Layout installativo e compatibilità (DV-4)

Il layout installativo è guidato dai vincoli spaziali del vano motore delle imbarcazioni artigianali sarde, generalmente di piccole dimensioni (0,8–2,5 m² per barche <12m; 2–6 m² per barche 12–25m). Le modifiche all'impianto elettrico richiedono la conformità alla norma IEC 60092 (series 302/303/352/353) per tutti i cablaggi di potenza, e all'IEC 62619 per i vani batterie.

Il posizionamento del pacco batterie deve garantire: (a) accessibilità BMS per ispezione; (b) ventilazione forzata del vano conforme ATEX (direttiva 2014/34/UE) nei casi di chimica NMC; (c) segregazione dal vano combustibile (SOLAS Ch.II-1 Reg.55); (d) baricentro bassa per stabilità dell'imbarcazione secondo RINA Rules Part B. Le Configurazioni A e B consentono il retrofit senza rimozione del motore principale; le Configurazioni C/C+ richiedono accesso al vano trasmissione centrale.

16.2.1 Requisiti IP e marine-grade per componenti in ambienti spray/sommersi

Tutti i componenti elettronici ed elettrici installati a bordo devono soddisfare i requisiti di protezione ambientale definiti dalla norma IEC 60529 (gradi IP), integrati con i requisiti specifici dell'ambiente marino (corrosione salina, umidità elevata, vibrazioni). Le specifiche minime per configurazione e tipologia di componente sono riportate nella Tabella 16.6, con indicazione dei materiali marine-grade e degli standard normativi di riferimento.

Tabella 16.6 — Requisiti IP minimi e specifiche marine-grade per componente e tipologia di installazione

Componente	IP Min. Acque Aperte	IP Min. Lagune	Materiale Struttura	Standard Riferimento	Note
Motore elettrico (navale)	IP55	IP67	Acciaio inox AISI 316L	IEC 60034-5, RINA E.17	Protezione spray e immersione occasionale
BMS / Controller	IP54	IP67	Alluminio anodizzato / ABS	IEC 62619, IEC 60529	Vano chiuso con ventilazione ATEX
Sensori IoT (sonda)	IP67	IP68	PVDF / Titanio	IEC 60529, ISO 17025	Pressione fino a 30 m
Gateway LoRa / 4G	IP65	IP66	ABS UV-resist.	CRA Reg.2024/2847 Cl.II	Antenna esterna RG-174
Cavi di potenza (DC bus)	IP — (condotti)	IP67 (connettori)	EPR/ XLPE marinizzato	IEC 60092-350/351/353	Protezione UV + sale, -40/+90°C
Quadro elettrico bordo	IP54	IP55	Acciaio 316L	IEC 60092-302, CEI 20-40	Segregazione riserva batterie
Connettori ricarica shore	IP44 (asciutto)	IP55 (bagnato)	Poliammide PA66 GF30	CEI 64-8 Sez.709, IEC 62196	Shore power pontile
Pannelli FV flessibili	IP65 (fronte)	IP67 (fronte)	ETFE film / vetro laminato	IEC 61215, IEC 61730	Resistenza alla salsedine, UV-1500 h

Nota: Per le lagune sarde si applicano requisiti IP più elevati per la presenza di acque salmastre con elevata conduttività (EC 10–25 mS/cm, laguna di Cabras) che accelerano la corrosione galvanica. Collegamento: Cap. 9 Tab.9.8–9.9 (specifiche complete per configurazione). Standard materiali: acciaio AISI 316L per strutture; EPR per cavi potenza; PA66 GF30 per involucri connettori.

16.3 Infrastruttura portuale: requisiti minimi e gap analysis (G2)

La fattibilità operativa delle configurazioni ibride dipende in modo critico dalla disponibilità di infrastruttura di ricarica nei porti e approdi selezionati per il pilota. L'analisi (collegamento §5) ha rilevato che nessuno dei cinque siti candidati dispone attualmente di colonnine di ricarica dedicate per natanti conformi a CEI 64-8 Sezione 709 e IEC 62196, pur presentando connessioni alla rete elettrica BT/MT di diversa capacità.

Per la Configurazione B (<12m), il requisito minimo è una colonnina trifase 400V/32A (22 kW), sufficiente a ricaricare un pacco da 15–30 kWh in 3–5 ore notturne. Per la Configurazione L (lagunare), è sufficiente una presa monofase CEE 16A standard (3,7 kW), installabile con investimento inferiore a €500 per punto di ricarica. La Tabella 16.7 riassume il gap per ciascun sito pilota e le azioni necessarie.

Tabella 16.7 — Requisiti infrastruttura portuale, readiness CER e gap per sito pilota

Sito / Porto	Connessione Elettrica	Potenza Disponibile	Colonnine CEI 64-8 §709	Readiness CER	Gap / Interventi necessari
Cabras (Oristano)	MT/BT presente	50 kW stimati	Assenti	Alta Δ	Installazione colonnine trifase 32A; studio CER
Santa Gilla (Cagliari)	BT presente	30 kW stimati	Parziali	Media Δ	Upgrade potenza; formaliz. CER con GSE
Asinara (SS)	BT isolata	15 kW	Assenti	Bassa \times	Estens. linea / FV autonomo; Starlink M2M
Orosei (NU)	BT presente	20 kW	Assenti	Media Δ	Copertura 4G Δ → Starlink Maritime 250€/mese
Sulcis (CI)	MT presente	80 kW	Assenti	Alta \checkmark	Primo sito per pilota CER — condizioni ottimali
REQUISITI MINIMI CONFIG. B/C	Trifase 400V	$\geq 32A$ (22 kW)	1 per barca pilota	FE $\leq 0,050$ kgCO ₂ /kWh	Autorizzazione porto / Capitaneria
REQUISITI MINIMI CONFIG. L	Monofase 230V	$\geq 16A$ (3,7 kW)	1 colonnina condivisa	Non critica	Accesso pontile lagunare; presa CEE 3-pin

Nota: Il sito Sulcis è il più maturo per l'avvio del pilota (connessione MT, alta readiness CER). Per Orosei, il costo Starlink Maritime (€250/mese) incide sull'OPEX (§12.4, §17.2.1) ma non pregiudica la fattibilità tecnica. I gap infrastrutturali hanno impatto diretto sulla tempistica delle Fasi 0–1 del cronoprogramma (§21.1.1–21.1.2).

16.4 Modelli di ricarica e gestione energia portuale

La scelta del modello di governance per la ricarica condiziona sia la sostenibilità economica dell'investimento infrastrutturale sia la conformità DNSH (fattore emissivo dell'energia di ricarica). Lo studio identifica cinque modelli operativi, valutati in termini di soggetto gestore, base normativa e compatibilità con le configurazioni tecnologiche.

16.4.1 Modelli porto/cooperativa/service provider

I cinque modelli proposti coprono l'intero spettro organizzativo, dalla semplice ricarica diretta da rete BT portuale (Modello 1, minima complessità) alla Comunità Energetica Rinnovabile portuale tra cooperative (Modello 2, massima valorizzazione DNSH), passando per il service provider privato in concessione (Modello 3) e il modello cooperativa di ricarica UN.I.COOP (Modello 4, preferenziale per l'intero ecosistema cooperativo). Il Modello 5 (autonomia FV bordo, Config. C+6kWp) non richiede infrastruttura portuale ma rimane vincolato al profilo economico della configurazione C+.

Il Modello 4 — Cooperativa di Ricarica UN.I.COOP — è il modello preferenziale in quanto: (a) è compatibile con il regime cooperativistico e finanziabile con FEAMPA art.27; (b) consente la centralizzazione della gestione dati M&V per tutti i soci; (c) crea le premesse per l'evoluzione verso CER portuale (Modello 2) nella Fase 3 del progetto.

Tabella 16.8 — Modelli di ricarica e governance energetica portuale: confronto operativo

Modello	Descrizione operativa	Soggetto gestore	Incentivi / Base norm.	Compatibilità config.
Modello 1 Ricarica diretta	Shore power da rete BT portuale; contatore dedicato per barca; fatturazione kWh	Autorità Portuale / AdSP	Tariffa BT uso non domestico; nessun incentivo specifico	A, B, C, C+
Modello 2 CER Portuale	CER ex D.Lgs 199/2021 art.31 tra cooperative; FV su magazzini porto; incentivo GSE tariffa premio 0,097–0,118 €/kWh	Cooperativa capofila + GSE	DM MASE 7 dic.2023; max 1 MW per CER; FE 0,050 kgCO ₂ /kWh per DNSH	B✓ C+6kWp✓ (condizione abilitante DNSH)
Modello 3 Service Provider	Operatore privato (MobiPort / EVTEC) gestisce infrastruttura su concessione; tariffazione a sessione	Gestore privato in convenzione	Concessione demanio marittimo; PNRR AdSP §5.2	A, B, C — opzionale
Modello 4 Cooperativa Ricarica	Cooperativa di servizi (nuovo ramo UN.I.COOP) acquista impianto ricarica; gestore per conto dei soci	UN.I.COOP / cooperativa servizi	D.Lgs 199/2021 art.31; statuto cooperativo; finanziamento FEAMPA art.27	Tutti — modello preferenziale
Modello 5 Autonomia FV bordo	Pannelli FV flessibili su tuga (Config. C+); nessuna dipendenza da infrastruttura portuale	Armatore singolo	FEAMPA art.27; credito GSE incentivo energia autoprodotta	C+6kWp (DNSH autonomo)

Nota: CER portuale (Modello 2): per la conformità DNSH il fattore emissivo dell'energia prodotta dalla CER deve essere verificato e certificato (FE ≤ 0,050 kgCO₂ /kWh). Incentivo GSE tariffa premio: per CER con potenza ≤1 MW, 0,097–0,118 €/kWh in zona Centro-Sud (DM MASE 7 dic.2023). Collegamento: §5.5.1 (CER portuale), §8.2.3 (D.Lgs 199/2021), All. G (modello CER).

16.4.2 Comunità Energetica Rinnovabile portuale: fattibilità e incentivi GSE

La CER portuale è la condizione abilitante chiave per la conformità DNSH delle Configurazioni B e A (LCA screening, All. J). La sua attivazione richiede: (1) costituzione formale come associazione o cooperativa di servizi ai sensi del D.Lgs 199/2021 art.31 tra i soggetti produttori (cooperative associate UN.I.COOP, ente gestore porto) e consumatori (flotta pilota); (2) installazione di almeno 20–50 kWp di fotovoltaico su magazzini, tettoie o pontili portuali; (3) registrazione GSE come configurazione CER e accesso alla tariffa premio.

La fattibilità economica della CER portuale è analizzata nell'Allegato G. Per la fase pilota, la condizione minima accettabile è la stipula di un accordo preliminare di CER (Lol tra soci fondatori) entro la Fase 0, con attivazione formale entro la Fase 1 del cronoprogramma. In assenza di CER operativa al momento dell'avvio del pilota, si applica come valore conservativo il fattore emissivo della rete Sardegna (FE = 0,350 kgCO₂ /kWh, ISPRA 2023), che riduce la riduzione GWP delle Config. B e A a 32,8% e 26% rispettivamente, entrambi sotto la soglia TSC 40%.

16.5 Piano O&M derivato dai preventivi: manutenzione, SLA, garanzie

Il piano di operatività e manutenzione (O&M) è stato strutturato sulla base delle schede preventivo dei fornitori (Allegato D) e dei requisiti normativi applicabili, in particolare: Reg.(UE) 2023/1542 per la gestione EoL delle batterie (Piano RAEE obbligatorio, percentuali materiale riciclato minime), Reg.(UE) 2024/2847 (CRA) per gli aggiornamenti firmware dei dispositivi IoT/BMS (patch obbligatorie entro 30 giorni dalla

release), e i requisiti formativi PES/PAV (D.Lgs 81/2008, CEI 11-27) per gli operatori di sistemi elettrici a bordo.

Il piano è strutturato per frequenza di intervento (settimanale/mensile/trimestrale/annuale/pluriennale) e per tipologia di operatore, distinguendo tra attività che possono essere svolte dall'armatore formato (check SoC, pulizia connettori) e interventi che richiedono personale tecnico certificato (revisione BMS, sostituzione pack, audit DNSH). I costi OPEX annui stimati variano da €200–400/anno per la Configurazione L a €1.200–1.800/anno per la Configurazione C/C+.

Tabella 16.9 — Piano O&M per configurazione: frequenze, operatori, costi OPEX stimati e SLA/garanzie

Config.	Attività manutenzione	Frequenza	Operatore	Costo OPEX est.	SLA / Garanzia
B — <12m	Ispezione BMS, check SoC/SoH, pulizia connettori	Mensile	Motorista certificato PES/PAV	€ 200–400/anno	Garanzia fornitore 5 anni batterie; SLA riparazione 48h
B — <12m	Sostituzione fluidi, verifica IP connettori, aggiornamento firmware IoT	Annuale	Tecnico autorizzato fornitore	€ 600–900/anno	Intervento on-site entro 5 gg lavorativi
B — <12m	Sostituzione pack batterie (EoL 80% SoH)	≥8 anni	Fornitore + raccogliatore RAEE	€ 8.000–12.000	Piano smaltimento RAEE ex Reg.2023/1542; seconda vita ≥70% cap.
A — 12–20m	Check BMS, verifica architettura parallelo, log M&V	Mensile	Motorista / tecnico navale	€ 400–600/anno	Garanzia 3 anni sistema ibrido; SLA 72h
A — 12–20m	Revisione motore EL, verifica corrosione marine-grade, SBOM aggiornamento firmware	Annuale	Tecnico autorizzato	€ 1.200–1.800/anno	Contratto full-service fornitore opzionale
C / C+	Check completo sistema LPMR, calibrazione sensori IoT, audit DNSH KPI	Trimestrale	Tecnico navale senior	€ 800–1.200/anno	SLA 48h per guasto propulsione; backup diesel sempre attivo
C / C+	Ispezione FV flessibili (degradazione ETFE, connessioni), clean pulizia	Annuale	Motorista	€ 300–500/anno per FV	Garanzia produttore 10 anni su moduli FV; sostituzione pro-rata
L — Lagunare	Verifica immersione connettori IP68, calibrazione sonde IoT, check SoC	Settimanale	Armatore (formazione 4h)	€ 100–200/anno	Garanzia 3 anni motore pod; batterie 5 anni
L — Lagunare	Revisione completa sistema, log M&V, verifica RAEE batterie	Annuale	Tecnico autorizzato	€ 400–600/anno	EoL batterie pianificato anno 8; raccogliatore RAEE convenzionato

TUTTI	Aggiornamento firmware BMS / IoT (patch sicurezza CRA)	Non appena disponibile	Fornitore remoto / OTA	Incluso nel contratto SLA	Reg.UE 2024/2847: patch obbligatorie entro 30 gg dalla release
TUTTI	Rendicontazione KPI FEAMPA (All. C) e DNSH report	Semestrale	Responsabile cooperativa	Interno (6h/semestre)	KPI Register All. C; DNSH Checklist All. I

Nota: Costi OPEX stimati su base annua; non includono sostituzione straordinaria pack batterie (pianificata anno 8, costo €8.000–12.000 per Config. B). La sostituzione pack rientra nel Piano RAEE ex Reg.2023/1542 con obbligo di accordo preventivo con raccoglitore RAEE autorizzato. Aggiornamenti firmware IoT/BMS: obbligatori ex Reg.2024/2847 (CRA) e devono essere tracciati nel KPI Register (All. C). Collegamento: §22.1.2 (formazione motoristi), §23.4.2 (requisiti CRA gestione dati M&V).

17. Analisi Tecnico-Economica e Finanziaria

Baseline tradizionale · CAPEX/OPEX · Strumenti finanziari · CBA/TCO · Monte Carlo · Sensitività · Benefici non-monetari · Risk register · Go/No-Go

Il presente capitolo sviluppa l'analisi tecnico-economica e finanziaria delle cinque configurazioni di retrofit (A, B, C, C+, L) definite nel Capitolo 16, risolvendo i rilievi peer review ECO-03 (VAN e payback per Config. A e C non calcolati), ECO-04 (analisi di sensitività mancante), ECO-05 (scenario prezzo gasolio +50% assente) ed ECO-06 (benefici non-monetari non quantificati).

L'analisi è strutturata in cinque livelli: (1) costruzione della baseline tradizionale dei costi operativi; (2) struttura CAPEX/OPEX dell'investimento innovativo con co-finanziamento FEAMPA; (3) accesso agli strumenti finanziari complementari; (4) Cost-Benefit Analysis deterministica e probabilistica (Monte Carlo 10.000 simulazioni, da CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx); (5) benefici non-monetari e monetizzabili; (6) risk register con expected value e criteri quantitativi go/no-go per fase di progetto.

Assunzione-chiave trasversale (A-03, Lv.3): consumo medio di gasolio pesca 31,7 l/giornata; 200 giornate/anno; prezzo gasolio netto post-accisa 0,67 €/l (D.Lgs 504/1995 art.24 c.2, accisa agevolata 0,58 €/l su prezzo lordo 1,25 €/l). Tutte le analisi CBA adottano il prezzo netto, coerentemente con il rilievo ECO-02 risolto nell'indice v2.0.

17.1 Baseline tradizionale: consumi e costi operativi

17.1.1 Prezzo gasolio pesca: lordo vs netto con accisa agevolata (rilievo ECO-02)

Il gasolio da pesca professionale usufruisce di un'accisa agevolata ai sensi dell'art. 24 comma 2 del D.Lgs 504/1995, con aliquota ridotta di 0,58 €/l rispetto all'aliquota standard di 0,6137 €/l. Il prezzo effettivamente sostenuto dall'armatore è pertanto:

- Prezzo lordo di mercato (marzo 2026, media MISE/Unionpetrolio Sardegna): 1,25 €/l
- Accisa agevolata recuperata: 0,58 €/l (rimborso tramite istanza mensile all'Agenzia Dogane)
- Prezzo netto pesca: $1,25 - 0,58 = 0,67$ €/l (valore invariante confermato, livello evidenza Lv.1)

L'utilizzo del prezzo netto nella CBA è corretto e coerente con la pratica fiscale reale delle cooperative pescherecce. L'analisi di sensitività (§17.3.2) testa esplicitamente lo scenario di riduzione/eliminazione dell'agevolazione accisa, che comporterebbe un passaggio al prezzo lordo 1,25 €/l con impatto fortemente positivo sul VAN di tutte le configurazioni.

17.1.2 Profili di consumo e baseline costi per tipologia

La Tabella 17.1 presenta i profili di consumo di gasolio e i costi operativi baseline per ciascuna configurazione, distinguendo il costo lordo (prezzo pieno senza agevolazione) e il costo netto effettivo (post-accisa). I valori sono calcolati sul profilo di missione di riferimento (§9.3, §4.2) e costituiscono la base di confronto per il calcolo dei risparmi nell'analisi CBA.

Tabella 17.1 — Baseline tradizionale: consumi annui e costi gasolio per tipologia (lordo e netto accisa agevolata)

Tipologia / Config.	Lungh. (m)	Giornate/anno	Cons. medio (l/gg)	Cons. annuo (l)	Costo netto gasolio/anno	Costo lordo gasolio/anno
Config. A — Marittima media	12–20	200	31,7	6.340	€ 4.248	€ 7.925
Config. B — Marittima piccola	<12	200	18,0	3.600	€ 2.412	€ 4.500
Config. C / C+ — Marittima grande	15–25	200	52,0	10.400	€ 6.968	€ 13.000
Config. L — Lagunare (baseline diesel)	<6	180	4,5	810	€ 543	€ 1.013

FLOTTA TIPO MEDIA (ponderata)	—	198	24,5	4.851	€ 3.250	€ 6.064
--------------------------------------	---	------------	-------------	--------------	----------------	----------------

Nota: Consumo Config. B (18 l/gg): media per imbarcazioni <12m con attrezzo fisso/palangaro; inferiore al valore medio flotta (31,7 l/gg) per la minore potenza motore. Config. L (4,5 l/gg): motore fuoribordo diesel 15–25 HP per navigazione lagunare. Costo lordo = a prezzo pieno (rilevante per analisi senza accisa agevolata e per scenario shock fiscale). Collegamento: All. A Registro fonti, fonte A-03 (Lv.3 assunzione).

17.2 Scenario innovativo: struttura CAPEX/OPEX e strumenti di finanziamento

17.2.1 CAPEX/OPEX per configurazione con co-finanziamento FEAMPA

La struttura di costo dell'investimento comprende il CAPEX (una-tantum, al momento zero del flusso di cassa) e l'OPEX aggiuntivo annuo (manutenzione, assicurazione, costi connettività Starlink per Orosei). Il co-finanziamento FEAMPA art.27 (retrofit motori/sistemi propulsivi per efficienza energetica) riduce significativamente il CAPEX a carico dell'armatore, rendendo la Config. B accessibile (netto €19.250) e la Config. L quasi integralmente coperta da fondi pubblici (netto €7.500). La Tabella 17.2 riporta la struttura completa voce per voce.

Tabella 17.2 — Struttura CAPEX/OPEX per configurazione: voci di costo, contributo FEAMPA e flusso netto annuo

Voce di costo	Config. A	Config. B ✓	Config. C	Config. C+3	Config. C+6	Config. L ✓	Unità
CAPEX — Sistema ibrido/EL	68.000	47.000	100.000	100.000	100.000	20.000	€
CAPEX — Batterie + BMS	10.000	6.500	17.000	17.000	17.000	4.500	€
CAPEX — Sensoristica IoT	1.500	1.000	2.000	2.000	2.000	500	€
CAPEX — Pannelli FV bordo	—	—	—	8.500	16.500	—	€
CAPEX — Installazione/collaudò	500	500	1.000	2.500	2.500	0	€
CAPEX TOTALE LORDO	80.000	55.000	120.000	130.000	138.000	25.000	€
Contributo FEAMPA art.27	48.000	35.750	66.000	71.500	75.900	17.500	€ (%)
% FEAMPA	60%	65%	55%	55%	55%	70%	%
CAPEX NETTO ARMATORE	32.000	19.250	54.000	58.500	62.100	7.500	€
OPEX aggiuntivo annuo (manutenzione)	1.400	700	2.000	2.300	2.500	500	€/anno
OPEX — assicurazione aggiuntiva	400	250	600	650	700	150	€/anno
OPEX TOTALE AGGIUNTIVO ANNUO	1.800	950	2.600	2.950	3.200	650	€/anno
Risparmio gasolio annuo (lordo)	3.963	1.706	6.968	8.362	9.451	489	€/anno
Risparmio gasolio annuo (netto accisa)	2.248	1.086	3.832	4.599	5.195	489	€/anno

FLUSSO DI CASSA NETTO ANNUO (con benefici)	2.640	5.420	1.980	2.650	3.720	9.950	€/anno
---	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------

Nota: Flusso di cassa netto annuo = risparmio gasolio netto + benefici non-monetari (§17.4) – OPEX aggiuntivo. Valori arrotondati a €50. CAPEX pannelli FV: solo per varianti C+3kWp e C+6kWp. Il costo Starlink Maritime per Orosei (€250/mese = €3.000/anno) è già incluso nell'OPEX Config. B/C per quel sito pilota (§12.4). OPEX Totale Config. B include assicurazione specifica per sistema ibrido (+€250/anno vs polizza standard). Collegamento: All. D (preventivi), Cap. 16 §16.5 (Piano O&M).

17.2.2–17.2.3 Strumenti finanziari complementari: ISMEA, BEI, Fondo Kyoto, Green Bond

Il co-finanziamento FEAMPA copre la quota maggioritaria dell'investimento, ma il residuo a carico dell'armatore (€7.500–€62.100 a seconda della configurazione) può richiedere accesso al credito. Lo studio identifica sei strumenti finanziari complementari, tutti cumulabili con FEAMPA nel rispetto dei massimali de minimis (Reg.UE 1407/2013, €300.000 per triennio per settore pesca) e delle regole di cumulo degli aiuti di Stato. La Tabella 17.3 presenta i principali strumenti con condizioni di accesso e compatibilità.

La garanzia ISMEA (Legge 154/2016) è lo strumento prioritario per gli armatori di piccole cooperative, in quanto consente l'accesso al credito bancario ordinario con garanzia pubblica fino all'80% del prestito, senza necessità di rating ESG certificato. Per investimenti consortili (pilota multi-barca), i Green Bond cooperativi rappresentano l'opzione di scala maggiore, con potenziale di raccolta 2–10M€ attraverso il sistema Confcooperative/Legacoop.

Tabella 17.3 — Strumenti finanziari complementari al FEAMPA: condizioni, copertura e compatibilità

Strumento	Soggetto erogante	Copertura / Importo	Compatibilità FEAMPA	Condizioni chiave e riferimenti normativi
Garanzia ISMEA	ISMEA	Garanzia pubblica fino a 80% del prestito; max €300.000 per impresa ittica	Compatibile — cumulabile	Legge 154/2016 art.3; riservata a imprese pesca certificate; credito agevolato via banca convenzionata
Linee BEI / FEI	Banca Europea degli Investimenti (tramite banche italiane partner)	Finanziamento a tasso agevolato 0,5–2,0%; durata max 15 anni	Compatibile — verifica de minimis	FEAMPA can act as co-financing; richiede business plan bancabile e rating ESG base
Fondo Kyoto CDPE	Cassa Depositi e Prestiti	Tasso agevolato 0,25% per investimenti riduzione CO ₂ ; max €5M	Compatibile — cumulabile fino a 90% del costo	D.Lgs 30/2013; priorità a imprese con LCA certificata; finestre di apertura periodiche
Green Bond Cooperativi	Confcooperative / Legacoop / Banche cooperative	Obbligazioni verdi; raccolta 2–10M € per consorzio cooperativo	Compatibile	Principi ICMA GBP 2021; prospetto approvato da CONSOB; uso proventi vincolato a investimenti green certificati
Credito d'imposta ESG (proposta)	MEF / Agenzia Entrate	Credito 20–30% su investimenti di sostenibilità pesca artigianale (in iter)	Da verificare	Proposta ddl Pesca Sostenibile (iter parlamentare); condizionata a certificazione ambientale FEAMPA
Finanziamento PNRR AdSP	Autorità di Sistema Portuale	Contributo infrastruttura ricarica portuale (colonnine, CER); PNRR M2-C2 Inv.3.2	Complementare — non cumulabile su stessa spesa	§5.2: €51,7M per OPS in Sardegna; richiede accordo formale con AdSP e progetto esecutivo

Nota: Cumulo massimo aiuti pubblici: FEAMPA + Fondo Kyoto + ISMEA non può superare il 90% del costo ammissibile (Reg.UE FEAMPA art.27 c.6). Fondo Kyoto CDPE: le finestre di apertura sono periodiche (mediamente ogni 18 mesi); verificare disponibilità in fase di pianificazione Fase 0. Green Bond: richiede piano di emissione con prospetto CONSOB; adatto a consorzio ≥5 barche con investimento complessivo >€200.000. Collegamento: §8.1.2 (ISMEA), §8.2.3 (CER/D.Lgs 199/2021 per Green Bond tematici).

17.3 CBA/TCO e analisi di sensitività

17.3.1 CBA deterministica: VAN, TIR, payback semplice e attualizzato (rilievo ECO-03)

La Tabella 17.4 presenta i risultati della Cost-Benefit Analysis deterministica per tutte e sei le configurazioni, risolvendo il rilievo ECO-03 (VAN e payback mancanti per Config. A e C). I valori di VAN di riferimento sono quelli del modello CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx già validato (riga evidenziata in grigio), che integra risparmio gasolio netto, benefici non-monetari (§17.4) e OPEX aggiuntivo. Il TIR (Tasso Interno di Rendimento) è calcolato come tasso che azzerare il VAN del flusso di cassa netto.

Il confronto tra VAN deterministico calcolato (bottom-up) e VAN da briefing (modello Excel validato) evidenzia le differenze legate all'inclusione completa dei benefici non-monetari nella versione Excel. Le due configurazioni con VAN positivo in entrambe le versioni — Config. B e Config. L — sono le uniche economicamente sostenibili nel perimetro FEAMPA standard e senza ipotesi di prezzo gasolio al rialzo.

Tabella 17.4 — CBA deterministica completa: VAN, TIR, payback (semplice e attualizzato) e P(VAN>0) Monte Carlo per tutte le configurazioni

Parametro CBA	Config. A	Config. B ✓	Config. C	Config. C+3	Config. C+6	Config. L ✓	Unità
CAPEX netto armatore (post-FEAMPA)	32.000	19.250	54.000	58.500	62.100	7.500	€
Tasso di sconto	5%	5%	5%	5%	5%	5%	%
Orizzonte temporale	10 anni	10 anni	10 anni	10 anni	10 anni	10 anni	anni
Riduzione gasolio (% annua)	50%	45%	55%	60–63%	63–67%	90%	%
Risparmio gasolio netto/anno	2.124	1.086	3.832	4.599	5.195	489	€/anno
Benefici non-monetari annui (§17.4)	820	4.684	900	1.050	1.200	10.150	€/anno
OPEX aggiuntivo annuo	-1.800	-950	-2.600	-2.950	-3.200	-650	€/anno
Flusso di cassa netto annuo	1.144	4.820	2.132	2.699	3.195	9.989	€/anno
VAN deterministico (10 anni, 5%)	-€ 23.186	+€ 18.004	-€ 37.542	-€ 37.678	-€ 37.406	+€ 69.652	€
VAN BRIEFING (da CBA_MC.xlsx)	-€ 8.646	+€ 11.140	-€ 40.902	-€ 35.800	-€ 29.500	+€ 54.401	€
TIR (Internal Rate of Return)	1,8%	21,4%	neg.	neg.	neg.	97,6%	%
Payback semplice (anni)	>10	3,9 (47 m)	>10	>10	>10	0,9 (11 m)	anni
Payback attualizzato (anni)	>10	4,8	>10	>10	>10	1,1	anni
P(VAN>0) Monte Carlo 10.000 sim.	8%	100%	0%	2–5%	8–15%	100%	%

Raccomandazioni	NON PRIO.	RACCOMANDATA ✓	NON PRIO.	OPZIONALI	OPZIONALI	PRIORITARI A ✓	—
-----------------	-----------	----------------	-----------	-----------	-----------	----------------	---

Nota: VAN calcolato su orizzonte 10 anni, tasso di sconto 5% nominale (reale ~2,5% con inflazione energia +2,5%/anno). Riga 'VAN BRIEFING' = valore validato dal modello CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx (All. §17.3 del progetto); differisce dal VAN calcolato per la componente benefici non-monetari e per ipotesi dinamiche del gasolio nel modello Monte Carlo. TIR non calcolabile per Config. C/C+/A senza variazioni di scenario. Payback attualizzato: include effetto attualizzazione dei flussi di cassa al tasso 5%.

17.3.2 Analisi probabilistica Monte Carlo — P10/P50/P90 su VAN e payback (rilievo ECO-04)

L'analisi Monte Carlo (10.000 simulazioni, CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx) campiona le distribuzioni di probabilità delle sei variabili chiave del modello economico: prezzo gasolio (distribuzione triangolare; min 0,45, base 0,67, max 1,40 €/l), percentuale riduzione gasolio (normale; μ =valore config., σ =5%), CAPEX (uniforme; \pm 15%), OPEX aggiuntivo (uniforme; \pm 20%), benefici non-monetari (triangolare; min 0,5x, base 1,0x, max 1,8x del valore atteso), e tasso di sconto (uniforme; 3–7%).

La Tabella 17.7 presenta i percentili P10, P25, P50, P75 e P90 della distribuzione del VAN per ciascuna configurazione, derivati dalla simulazione. I risultati confermano la dominanza assoluta di Config. B e Config. L: anche nel scenario pessimistico P10, entrambe mostrano VAN positivo o prossimo allo zero (Config. B P10 = +€1.200), il che spiega il P(VAN>0) del 100%.

Tabella 17.7 — Risultati Monte Carlo: distribuzione VAN (P10/P25/P50/P75/P90) per configurazione — 10.000 simulazioni

Config.	Distribuz. VAN	P10 (VAN pessim.)	P25	P50 (mediana)	P75	P90 (VAN ottim.)	P(VAN>0)
A — 12–20m	Log-normale	-€ 42.100	-€ 28.500	-€ 9.200	+€ 4.100	+€ 18.600	8%
B — <12m ✓	Normale	+€ 1.200	+€ 6.800	+€ 11.100	+€ 15.600	+€ 20.400	100%
C — 15–25m	Log-normale	-€ 78.300	-€ 61.200	-€ 41.500	-€ 22.800	-€ 4.500	0%
C+3kWp	Log-normale	-€ 72.100	-€ 55.800	-€ 36.200	-€ 18.400	-€ 1.800	2–5%
C+6kWp	Log-normale	-€ 66.500	-€ 50.100	-€ 30.200	-€ 11.600	+€ 4.200	8–15%
L — Lagunare ✓	Normale	+€ 38.200	+€ 46.100	+€ 54.400	+€ 62.300	+€ 70.800	100%

Nota: Distribuzione del VAN ricostruita dai percentili del CBA_MonteCarlo_R3_v2.0.xlsx. Config. C+6kWp presenta distribuzione bimodale (due regimi: con e senza CER portuale). Il P10 positivo di Config. B conferma la robustezza dell'investimento anche in scenario avverso (gasolio a 0,45 €/l, CAPEX +15%, benefici non-monetari dimezzati). La simulazione include correlazione positiva ($\rho=0,4$) tra prezzo gasolio e premium price 'pesce verde', che riduce la varianza complessiva.

17.3.3 Analisi di sensitività: variabili chiave (tornado chart) e scenario gasolio +50% (rilievi ECO-04, ECO-05)

L'analisi di sensitività deterministica (tornado chart) quantifica la variazione del VAN di Config. B (+/-20% di ciascuna variabile, ceteris paribus) per identificare i driver di rischio e di opportunità dell'investimento. La variabile con il massimo impatto è il prezzo del gasolio netto, seguito dalla percentuale di riduzione gasolio e dal numero di giornate di pesca annue — tutte variabili legate all'intensità operativa e al valore dell'energia evitata.

Tabella 17.5 — Analisi di sensitività (tornado chart) per Config. B: impatto \pm 20% di ciascuna variabile sul VAN

Variabile chiave	Valore base	Variaz. -20%	VAN Config. B (-20%)	Variaz. +20%	VAN Config. B (+20%)	Impatto ranking
Prezzo gasolio netto (€/l)	0,67	0,54	+€ 2.180	0,80	+€ 19.780	★★★★★ MASSIMO

CAPEX lordo (€)	55.000	44.000	+€ 14.990	66.000	+€ 7.290	★★★★ ALTO
% Riduzione gasolio	45%	36%	+€ 4.810	54%	+€ 17.470	★★★★ ALTO
Giornate pesca/anno	200	160	+€ 2.900	240	+€ 19.380	★★★★ ALTO
Tasso di sconto (%)	5%	4%	+€ 12.780	6%	+€ 9.560	★★★ MEDIO
% FEAMPA co-finanziamento	65%	52%	+€ 3.890	78%	+€ 18.250	★★★ MEDIO
OPEX aggiuntivo annuo (€)	950	760	+€ 12.610	1.140	+€ 9.670	★★ BASSO
Orizzonte temporale (anni)	10	8	+€ 6.890	12	+€ 14.670	★★ BASSO
Benefici non-monetari (€/anno)	4.684	3.747	+€ 7.910	5.621	+€ 14.370	★★★ MEDIO
FE energia ricarica (kgCO ₂ /kWh)	0,350 / 0,050*	0,350 (no CER)	+€ 9.100	0,050 (CER)	+€ 11.140	★★★ CONDIZ.

Nota: Variazione applicata a una variabile per volta, tutte le altre al valore base. Il FE energia ricarica (ultima riga) è un caso particolare: non è una variazione $\pm 20\%$ ma una variazione discreta CER/senza-CER. L'impatto sul VAN è significativo ma non dominante perché il risparmio gasolio non è determinato dall'energia di ricarica (già inclusa nel flusso OPEX) bensì dal risparmio combustibile. L'impatto maggiore del FE è sulla conformità DNSH (§17.3.3 e §19.1.1), non sul VAN economico.

Lo scenario gasolio +50% (prezzo netto da 0,67 a 1,00 €/l) è il trigger più significativo per le configurazioni attualmente in perdita: la Tabella 17.6 mostra che Config. A entra in territorio positivo (VAN +€20.250), Config. C rimane negativa ma si avvicina al breakeven (-€2.100), e Config. C+6kWp diventa positiva (+€14.000). Questo scenario è realisticamente plausibile in un orizzonte 5–7 anni considerando la progressiva riduzione dei sussidi ai combustibili fossili nel settore pesca nell'ambito della EU Green Deal/Farm-to-Fork.

Tabella 17.6 — Analisi scenari prezzo gasolio: baseline (0,67 €/l), +25% (0,84 €/l), +50% (1,00 €/l) — VAN e payback per configurazione

Config.	VAN base (0,67 €/l)	Payback base	VAN +25% (0,84 €/l)	Payback +25%	VAN +50% (1,00 €/l)	Payback +50%	Trend
A — Ibrido 12–20m	-€ 8.646	>10a	+€ 5.800	8,2a	+€ 20.250	4,8a	↑
B — Ibrido <12m ✓	+€ 11.140	47m	+€ 18.700	32m	+€ 26.300	24m	↑↑
C — Ibrido 15–25m	-€ 40.902	>10a	-€ 21.500	>10a	-€ 2.100	9,8a	↑
C+3kWp	-€ 35.800	>10a	-€ 15.200	>10a	+€ 5.400	9,2a	↑
C+6kWp	-€ 29.500	>10a	-€ 7.800	>10a	+€ 14.000	8,4a	↑
L — Lagunare EL ✓	+€ 54.401	11m	+€ 56.900	10m	+€ 59.200	9m	↑↑

Nota: Scenario +50% corrisponde alla progressiva riduzione dell'accisa agevolata (da 0,58 a 0,25 €/l), scenario plausibile in attuazione del principio 'polluter pays' della EU Fit-for-55. Lo scenario gasolio lordo (1,25 €/l) senza agevolazione corrisponde a un prezzo netto pesca di 1,25 €/l (+87% vs base). In tale scenario tutte le configurazioni ibridi mostrano VAN fortemente positivo. Questo contesto normativo è un ulteriore argomento a favore dell'investimento in ottica di rischio regolatorio.

17.4 Benefici non-monetari e monetizzazione (rilievo ECO-06)

Il rilievo ECO-06 della peer review ha evidenziato l'assenza di quantificazione dei benefici non-monetari dell'investimento: qualità del lavoro a bordo (riduzione vibrazioni HAV/WBV e rumore in cabina), recupero delle catture per unità di sforzo (CPUE) dalla riduzione del rumore sottomarino (UWN), valorizzazione commerciale del pescato da flotta verde, e sviluppo del pescaturismo. La Tabella 17.8 risolve questo rilievo presentando la stima sistematica di ciascuna categoria di beneficio con relativa fonte e nota metodologica.

I benefici non-monetari monetizzabili concorrono al flusso di cassa netto annuo (§17.2.1) e alla distribuzione Monte Carlo del VAN (§17.3.2). In particolare, per la Config. B, la categoria 'premium price pesce verde' (+€3.000/anno mediana) è il beneficio unitario più rilevante, mentre per la Config. L il 'recupero CPUE da riduzione UWN' ha il potenziale maggiore (lagune: ecosistema sensibile al rumore, specie bersaglio anguille/mugilidi altamente reattive all'UWN).

Tabella 17.8 — Benefici non-monetari monetizzabili: stima per categoria, configurazione, fonte e nota metodologica (rilievo ECO-06)

Categoria beneficio	Meccanismo / Driver	Stima annua Config. B	Stima annua Config. L	Fonte / Standard	Note metodologiche
Premium price 'pesce verde'	Differenziale HoReCa/GDO per pescato da flotta ibrida certificata; +15–35% sul prezzo medio	+€ 1.800–4.200/anno (media: +€ 3.000)	+€ 400–900/anno	EUMOFA 2023 (dati HoReCa Mediterraneo); ISMEA Rapporto pesca 2023	Condizionato a certificazione volontaria (es. Friend of the Sea); da verificare sul mercato sardo
Carbon credits (VCM)	Riduzione CO ₂ certificata venduta su mercato volontario (VCM) a prezzi €30–80/tCO ₂ ; standard ICROA/Gold Standard	+€ 450–1.200/anno (base 5,5 tCO ₂ rid./anno)	+€ 250–670/anno (base 3,1 tCO ₂ /anno)	ICROA Core Carbon Principles 2024; prezzi VCM CBL Exchange 2024	Soglia minima aggregazione: 5 barche. Costo registrazione ~€800/anno. Netto stimato: €350–900/anno Config. B
Recupero CPUE da riduzione UWN	Riduzione rumore sottomarino (–20÷30 dB) → meno disturbo specie bersaglio → maggiori catture/unità sforzo	+€ 200–600/anno (stima conservativa)	+€ 800–2.400/anno (lagune: beneficio massimo)	STECF 23-01; OSPAR QSR 2023; studi pilota Mar Adriatico	Alta incertezza (Lv.3): dipende da composizione specie locale. Include nel P10/P90 MC come variabile stocastica
Pescaturismo 'green'	Premium differenziale per uscite in barca silenziose/private su imbarcazioni certificate 'zero emissioni'	+€ 300–900/anno (3–9 uscite extra/stagione)	+€ 1.200–3.600/anno (laguna: alta domanda)	EUMOFA 2022 (pescaturismo Mediterraneo); §4.4 SdF R3	Condizionato a promozione attiva. Lagune sarde: mercato in crescita (birdwatching, eco-turismo)
Risparmio costi manut. motore diesel	Riduzione ore motore diesel → minore usura, meno cambio olio e filtri	+€ 250–500/anno	+€ 800–1.500/anno (diesel eliminato)	Preventivi cantieri navali Sardegna; Capitolato FEAMPA All. D	Solo per Config. L (eliminazione totale diesel). Config. B: riduzione parziale regime diesel
Benefici occupazione e qualità lavoro	Riduzione HAV/WBV vibrazioni, rumore in cabina (SPL)	Non monetizzabile diretta (qualitativo)	Non monetizzabile diretta (qualitativo)	EFCA 2023; EU OHS Dir.2002/44/CE; INAIL rapporto 2023	Rilievo ECO-06: documentato qualitativamente. Impatto su produttività

	-8÷15 dB), miglioramento condizioni operative				stimato +5–12% (letteratura settoriale)
TOTALE BENEFICI NON-MON. ANNUI (Config. B)	—	+€ 3.800– 6.800 (media: +€ 5.200)	—	—	Utilizzato €4.684/anno nel VAN base (P50 intervallo)
TOTALE BENEFICI NON-MON. ANNUI (Config. L)	—	—	+€ 3.450– 9.070 (media: +€ 6.200)	—	Utilizzato €6.050/anno nella stima VAN aggiornata

Nota: Tutti i valori sono stime con incertezza medio-alta (Lv.3): per qualificazione a Lv.2 è necessaria verifica sul campo nella Fase 1 del pilota (M&V qualità acque, misura CPUE, survey HoReCa). I benefici non-monetari NON sono cumulabili senza verifica indipendente; nel modello Monte Carlo sono inseriti come distribuzione triangolare [0,5x; 1,0x; 1,8x] del valore mediano. La categoria 'benefici occupazione e qualità lavoro' è inclusa qualitativamente (rilievo ECO-06 risolto a livello qualitativo), con indicazione della riduzione HAV/WBV e SPL; per monetizzazione diretta si rinvia alla valutazione INAIL in Fase 2.

17.5 Risk register e criteri quantitativi go/no-go

17.5.1 Top-10 rischi con Expected Value e contingency budget

Il risk register economico-finanziario integra i rischi identificati nell'analisi di sensitività (§17.3.2) con i rischi operativi e regolatori specifici del contesto cooperativistico sardo. Per ciascun rischio è calcolato l'Expected Value (EV = probabilità x impatto monetario) e definito un contingency budget da accantonare in fase di pianificazione. La scala di probabilità è ordinale (1=molto improbabile <5% → 5=quasi certo >80%). I rischi con probabilità ≥3 e impatto >€5.000 sono evidenziati in arancione; nessun rischio ad alta probabilità (4–5) è stato identificato nella fase di fattibilità, il che costituisce un indicatore di maturità progettuale.

Tabella 17.9 — Risk register economico-finanziario: Top-10 rischi, Expected Value e contingency budget (con piani di mitigazione)

#	Rischio	Config. esposta	Probab. (1–5)	Impatto €	Expected Value €	Contingency budget	Piano di mitigazione / Criteri go/no-go
R1	Prezzo gasolio < 0,50 €/l (riduz. sussidio accisa)	A, B, C, C+	2	-€ 8.000/anno	-€ 16.000	€ 5.000	Monitoraggio DM accise; scenario +50% gasolio come trigger positivo. STOP se gasolio <0,40 €/l netto
R2	FEAMPA: riduzione % co-finanziamento (<60%)	Tutte	2	-€ 12.000	-€ 24.000	€ 8.000	Verifica DM attuativo FEAMPA PO Italia entro Fase 0. GO/NO-GO: minimo 55% per Config. B; 60% per Config. L
R3	Autonomia batterie inferiore alle aspettative (-20%)	B, C, C+	3	-€ 4.500/anno	-€ 13.500	€ 4.000	Test in mare pre-installazione (Fase 1 §21.1.2); garanzia produttore SoH ≥80% a 5 anni. STOP se autonomia <3h
R4	CER portuale non attivata entro Fase 1	A, B	3	DNSH non conforme	TSC non raggiunto	€ 2.000	STOP DNSH se FE >0,200 kgCO ₂ /kWh. Trigger: accordo CER entro 90 gg da avvio. Alternativa: Config. C+6kWp

R5	Costo installazione +40% vs preventivo	C, C+	3	+€ 20.000	-€ 60.000 VAN	€ 10.000	Contratti chiavi-in-mano con penali. Contingency 15% CAPEX incluso nel modello CBA. STOP se CAPEX >+25%
R6	Penetrazione premium price limitata (<10% pescato)	B, L	3	-€ 2.400/anno	-€ 7.200	€ 3.000	Accordi preliminari con buyer HoReCa entro Fase 0 (Lol). KPI CO-06 nel Register. STOP se market uptake <5%
R7	Obsolescenza tecnologica batterie (EoL anticipato)	Tutte	2	-€ 10.000	-€ 20.000	€ 5.000	Garanzia produttore 5-8 anni SoH ≥80%. Piano RAEE ex Reg.2023/1542. Seconda vita batterie ≥70% cap.
R8	Guasto firmware IoT / vulnerabilità CRA	Tutte (IoT)	2	Dati M&V corrotti	Stima €5.000	€ 2.000	Patch automatiche OTA entro 30 gg (CRA). SBOM verificato. Backup locale su SD card ogni 24h
R9	Operatori non formati → uso improprio sistema	Tutte	3	-€ 1.500/anno	-€ 4.500	€ 1.500	Piano formazione §22.1: 4h armatori, 8h motoristi, OBBLIGATORIO prima dell'attivazione. KPI GO-01
R10	Accesso credito negato per armatori piccoli	B, L	3	Pilota non avviato	-€ 19.250 netto	€ 0	Garanzia ISMEA (Legge 154/2016) come condizione abilitante. GO se almeno 2 armatori qualificati entro Fase 0

Nota: EV = probabilità stimata x impatto monetario. Scala probabilità: 1=<5%, 2=5-20%, 3=20-40%, 4=40-70%, 5=>70%. Il contingency budget totale (somma): €40.500 — si raccomanda di includerlo come riserva nel piano finanziario di progetto (≈8,3% del CAPEX lordo combinato Config. B+L). Il rischio R4 (CER non attivata) non ha un EV monetario diretto ma determina la non-conformità DNSH che pregiudica l'ammissibilità FEAMPA: è pertanto il rischio con l'impatto potenziale assoluto più elevato (perdita co-finanziamento).

17.5.2 Criteri go/no-go misurabili per fase di progetto

I criteri go/no-go sono condizioni necessarie e sufficienti per il passaggio da una fase progettuale alla successiva (Fase 0 → 1 → 2 → 3, §21.1). Sono definiti in termini quantitativi misurabili, con soglie esplicite sia per il GO (avanzamento) sia per il NO-GO (sospensione o ridefinizione dell'approccio). Per ciascun criterio è indicata l'azione prevista in caso di NO-GO, privilegiando soluzioni di fallback (configurazione alternativa, rinegoziazione, revisione modello) rispetto all'interruzione del progetto.

Tabella 17.10 — Criteri quantitativi go/no-go per fase: soglie GO (verde) e NO-GO (rosso) e azioni di risposta

Fase	KPI / Condizione	Soglia GO	Soglia NO-GO / STOP	Azione in caso di NO-GO
Fase 0 (Setup)	Almeno 2 armatori qualificati per garanzia ISMEA	≥2 armatori approvati	<2 armatori → sospensione	Ricerca alternativa: leasing strumentale, Green Bond UN.I.COOP
Fase 0	Accordo CER portuale (Lol almeno 1 porto pilota)	Lol firmata entro 90 gg	Nessun accordo → DNSH a rischio	Attivazione Config. C+6kWp come backup; comunicazione a gestione FEAMPA

Fase 0	Preventivi retrofit entro $\pm 10\%$ vs Cap. 16	Scarto $\leq 10\%$	Scarto $> 25\%$ → revisione CAPEX	Rinegoziazione con fornitori alternativi (All. D lista B)
Fase 1 (Pilota)	Autonomia EL-only Config. B in prova in mare	≥ 3 ore @ SoC 100%	< 2 ore → non conforme	Revisione dimensionamento batterie; eventuale upgrade pack +20% kWh
Fase 1	Riduzione gasolio misurata (M&V mensile)	$\geq 35\%$ nei primi 3 mesi	$< 20\%$ → allarme	Ispezione BMS; verifica profilo missione; adjustment PMS setpoint
Fase 1	SoH batterie dopo 6 mesi pilota	$\geq 92\%$ SoH	$< 88\%$ → anomalia	Richiesta garanzia produttore; sostituzione celle se OVP ricorrenti
Fase 2 (Analisi)	VAN aggiornato con dati reali M&V	> 0 per Config. B e L	VAN $< -€5.000$ → revisione modello	Aggiornamento CBA con dati reali; valutazione escalation a partner
Fase 2	KPI emissivi EM-01 (CO ₂ Scope 1 riduzione)	$\geq 35\%$ riduzione verificata	$< 25\%$ → non conforme DNSH	Verifica fattore emissivo CER; eventuale ricertificazione LCA
Fase 3 (Replic.)	Numero Lol retrofit da Open Day	≥ 5 barche interessate	< 2 Lol → bassa replicabilità	Revisione strategia comunicazione; workshop segmentato per stazza

Nota: I criteri go/no-go sono parte integrante del Piano di Monitoraggio M&V (Cap. 23) e devono essere verificati dal Responsabile Cooperativa (KPI Register All. C, area CO). Il mancato raggiungimento di 2 o più criteri GO nella stessa fase determina la sospensione del progetto e la convocazione del comitato di governance (§20.1) per ridefinizione del perimetro. La valutazione formale go/no-go è documentata nel verbale di avanzamento di fase (deliverable §21.1).

18. Analisi Rischi e Compliance

Rischi tecnologici · Rischi infrastrutturali · Rischi ambientali · Cybersecurity navale IEC 62443 · Penetration test · Piano risposta incidenti · Rischi IoT/dati/AI

Il presente capitolo consolida l'analisi dei rischi del progetto R3 in quattro aree tematiche coordinate: (18.1) rischi tecnologici relativi ai sistemi di propulsione ibrida, accumulo e sensoristica; (18.2) rischi infrastrutturali legati a porti, energia e iter autorizzativi; (18.3) rischi ambientali con specifico riferimento agli ecosistemi lagunari, alle aree Natura 2000 e alla conformità DNSH Obiettivo 6; (18.4) rischi cyber, dati e AI — sezione ampliata in risposta al rilievo critico CYB-01, che richiedeva la trattazione sistematica della cybersecurity navale secondo lo standard IEC 62443, il vulnerability assessment/penetration test e il piano di risposta agli incidenti.

La metodologia adottata è coerente con IEC 62443-3-2 (risk assessment per sistemi di controllo industriale) e con le linee guida ENISA per la sicurezza dei sistemi IoT marittimi (ENISA IoT Security Guidelines 2023). Per ogni rischio sono indicati: probabilità (scala 1–5), impatto (scala 1–5), livello di rischio risultante (Prob×Impatto), livello residuo post-mitigazione e misure di mitigazione con riferimento normativo specifico. I rischi a livello ALTO (≥ 12) e quelli a livello residuo MEDIO o superiore sono evidenziati in arancione/rosso nelle tabelle.

18.1 Rischi tecnologici (affidabilità, autonomia, obsolescenza)

I rischi tecnologici derivano dalla maturità delle componenti selezionate, dalla loro idoneità all'ambiente marino e dalle caratteristiche operative della piccola pesca sarda (cicli brevi, manutenzione limitata, armatori non specializzati in elettronica). La Tabella 18.1 riporta i dieci rischi tecnologici principali con la relativa analisi e le misure di mitigazione. Per le configurazioni B e L — raccomandate — il profilo di rischio tecnologico è più contenuto grazie alla semplicità architettuale (sistema ibrido compatto sandwich per B; sistema elettrico puro per L).

Tabella 18.1 — Risk register tecnologico: rischi propulsione, batterie, IoT e sistemi FV bordo

ID	Rischio tecnologico	Config. esposta	Prob. (1–5)	Impatto (1–5)	Livello rischio	Residuo post-mit.	Misure di mitigazione
RT-01	Autonomia EL-only inferiore alle specifiche (-20% SoC reale)	B, C, C+	3	3	MEDIO	BASSO	Test pre-commissioning in mare (Fase 1 §21.1.2); garanzia SoH $\geq 80\%$ a 5 anni; upgrade pack +20% kWh se autonomia <3h
RT-02	Degradazione prematura LiFePO4 (cicli <1.500 a 80% SoH)	Tutte	2	4	MEDIO	BASSO	Selezione fornitori con datasheet IEC 62619 certificato; BMS con monitoraggio SoH real-time; soglia allerta a 85% SoH
RT-03	Interferenza EMI tra motore EL e strumentazione di bordo	A, B, C	3	2	MEDIO	BASSO	Schermatura cavi potenza IEC 60092-350; test EMC pre-commissioning per ogni barca pilota; separazione fisica $\geq 0,5m$ da VHF/GPS
RT-04	Corrosione galvanica accelerata in ambienti lagunari (EC alta)	L	4	3	MEDIO-ALTO	MEDIO	Materiali AISI 316L + rivestimenti ZRC; catodo sacrificale Mg/Al; ispezione annuale connettori IP68; test salinità preventivo sito
RT-05	Guasto motore EL in mare aperto (propulsione di riserva)	A, B, C	2	5	MEDIO-ALTO	BASSO	Architettura ibrida parallelo: diesel always-on come backup; procedura SOG (safe operating guide) a bordo; addestramento §22.1.2

RT-06	Surriscaldamento pack batterie (thermal runaway LiFePO4)	Tutte	1	5	MEDIO	MOLTO BASSO	Protezione BMS: OTP, OVP, CVM; ventilazione ATEX; sensore H ₂ ; soppressione N ₂ (IMO MSC.1/Circ.1605); IMO SOLAS Ch.II-1 R.55
RT-07	Obsolescenza firmware PMS / IoT (end-of-support fornitore)	Tutte (IoT)	3	2	MEDIO	BASSO	Contratto SLA con clausola firmware support ≥8 anni; SBOM aggiornato; diritto migrazione a piattaforma aperta se EoS <5 anni
RT-08	Incompatibilità retrofit con struttura imbarcazioni artigianali	A, C	3	3	MEDIO	BASSO	Survey navale pre-contratto (perito RINA); verifica vano motore, centro di gravità, pesi; riserva contingency 15% CAPEX (§17.5)
RT-09	Perdita dati M&V per guasto storage IoT (SD card/cloud)	Tutte	3	2	MEDIO	MOLTO BASSO	Backup ridondante: locale SD + cloud AWS/Azure IoT Hub; sincronizzazione ogni 15 min; retention policy 36 mesi per FEAMPA
RT-10	Pannelli FV flessibili: delaminazione ETFE in ambiente marino	C+3, C+6	3	2	MEDIO	BASSO	Test salinità accelerato IEC 61215 CL C; garanzia produttore 10 anni; ispezione visiva semestrale; spessore ETFE ≥25 µm

Nota: Scala livello rischio: BASSO = Prob×Imp ≤4; MEDIO = 5–8; MEDIO-ALTO = 9–11; ALTO = ≥12. Nessun rischio tecnologico raggiunge il livello CRITICO (≥16) grazie all'architettura ibrida parallelo che mantiene sempre disponibile il motore diesel come backup (RT-05). Il rischio RT-06 (thermal runaway) ha impatto massimo (5) ma probabilità molto bassa (1) in quanto le chimie LiFePO4 hanno una soglia termica di decomposizione molto superiore a NMC/NCA. Collegamento: Cap.10 (sicurezza batterie), Cap.9 §9.5 (marine-grade).

18.2 Rischi infrastrutturali (porto: potenza / iter / safety)

I rischi infrastrutturali sono tra i più critici per la fattibilità del pilota, in quanto dipendono da fattori esterni al controllo diretto del progetto: disponibilità di potenza elettrica nei porti, tempi dell'iter autorizzativo con Autorità Portuali e Capitanerie di Porto, e attivazione della CER portuale. Il rischio RI-01 (shore power insufficiente) e il rischio RI-02 (CER non attivata) hanno entrambi livello ALTO e sono classificati come condizioni abilitanti nel risk register economico del §17.5.1 (rischi R1 e R4).

Tabella 18.2 — Risk register infrastrutturale: porti, connettività, energia e fattori socio-culturali

ID	Rischio infrastrutturale	Config. / Sito	Prob.	Impatto	Livello	Misure di mitigazione / Responsabile
RI-01	Shore power insufficiente per ricarica (potenza <22 kW)	B, C — tutti i siti	3	4	ALTO	Gap analysis §16.3 per ogni sito pilota; accordo con gestore porto per upgrade cabina entro Fase 0. Responsabile: AdSP/Capitaneria
RI-02	CER portuale non attivata entro Fase 1 (→ FE rete 0,350 kgCO ₂ /kWh)	A, B — DNSH	3	5	ALTO	Trigger STOP DNSH. Fallback: Config. C+6kWp (TSC autonomo). Lol CER obbligatoria entro 90 gg Fase 0. Responsabile: UN.I.COOP
RI-03	Iter autorizzativo porto non completato nei tempi (>6 mesi)	Tutti i siti	3	3	MEDIO	Avvio iter in parallelo con Fase 0; coinvolgimento Capitaneria di Porto entro mese 1. Matrice autorizzativa §16.3 per sito
RI-04	Connettività 4G/LoRa assente nel sito Orosei	B, L — Orosei	4	2	MEDIO-ALTO	Attivazione Starlink Maritime (€250/mese) come fallback immediato. KPI IOT-04 in All. C. Già incluso nell'OPEX §17.2.1
RI-05	Danneggiamento colonnine ricarica	Tutti	2	3	MEDIO	Colonnine IP55 minimo; assicurazione All-Risk impianto; procedura emergenza meteo

	per eventi meteo estremi					(colonnina fuori servizio + notifica app PMS)
RI-06	Variatione tariffe energia portuale (+30%) per gestore privato	A, B, C — Mod.3	2	2	BASSO	Contratti fissi pluriennali (3 anni) con gestore; clausola di indicizzazione max +5%/anno. Alternativa: passaggio a Modello 4 (CER UN.I.COOP)
RI-07	Resistenza degli armatori all'adozione (fattore culturale/linguistico)	Tutti	3	3	MEDIO	Piano formazione §22.2: materiali in sardo/dialetto locale per armatori >55 anni; Open Day con demo pratica in laguna; testimonial pescatori

Nota: RI-02 è il rischio infrastrutturale con impatto assoluto più elevato (5): la mancata attivazione della CER non produce un danno economico diretto immediato, ma determina la non conformità DNSH Obiettivo 1 (TSC GHG <40%), che può pregiudicare l'ammissibilità dell'intero progetto al co-finanziamento FEAMPA. Per questo motivo è classificato come condizione bloccante (NO-GO) nel §17.5.2. RI-07 (resistenza culturale armatori) è inserito tra i rischi infrastrutturali poiché impatta sulla capacità di attivare il pilota, indipendentemente dalla disponibilità tecnologica.

18.3 Rischi ambientali (lagune / AMP / Natura 2000 / DNSH Obiettivo 6)

18.3.1 Rischio sversamento elettrolita in ambienti lagunari chiusi

Il rischio di sversamento dell'elettrolita da batterie LiFePO₄ negli ambienti lagunari sardi (RA-01) è considerato di livello MEDIO-ALTO per il potenziale impatto ecologico (Obiettivo DNSH 3: acqua e risorse marine; Obiettivo 6: biodiversità), nonostante la probabilità di evento sia bassa (2/5). Le lagune di Cabras e Santa Gilla ospitano ZSC/ZPS ad alto valore conservazionistico (*Phoenicopterus roseus*, *Botaurus stellaris*, habitat 1150* Lagune costiere). L'elettrolita delle celle LiFePO₄ è a base acquosa alcalina (pH 10–13) con sali di litio; in concentrazioni sufficienti può alterare il pH lagunare e danneggiare la biocenosi bentica.

Le misure di mitigazione primarie includono: (a) requisito IP68 obbligatorio per il vano batterie delle imbarcazioni lagunari (Tab.16.6); (b) installazione di un sistema di disconnessione automatica deep-water attivato per immersione >0,5m; (c) procedura di emergenza sversamento documentata a bordo con kit di contenimento; (d) accordo preventivo con la Capitaneria di Porto locale per il protocollo di intervento di bonifica. Il monitoraggio ambientale di pH e conducibilità (EC) nelle stazioni lagunari del progetto M&V (Tab.12.1, §23.2.1) consente il rilevamento precoce di anomalie.

18.3.2 DNSH Obiettivo 6 (Biodiversità): valutazione impatto su specie/habitat in ZSC/ZPS

La conformità DNSH Obiettivo 6 (Biodiversità e ecosistemi, Reg.(UE) 2020/852 art.17 §1(d)) richiede che le attività finanziate non danneggino in modo significativo la biodiversità o gli ecosistemi terrestri e acquatici. Per il progetto R3, i principali vettori di impatto potenziale sulla biodiversità sono: (a) navigazione nelle aree lagunari durante la fase pilota; (b) installazione di infrastrutture di ricarica in prossimità di habitat prioritari; (c) smaltimento EoL delle batterie (impatto indiretto, gestito tramite DNSH Obiettivo 4).

La valutazione di conformità DNSH Obiettivo 6 si intreccia strettamente con la procedura di Valutazione di Incidenza (VInCA) di cui al §19.2. Per ogni sito pilota lagunare è previsto lo Screening di Assoggettabilità VInCA (Livello I) come prerequisito della Fase 0, con eventuale avvio di VInCA Propria (Livello II) se richiesta dall'Autorità competente. La matrice sito x specie chiave x misure di mitigazione è riportata nell'Allegato F.

18.3.3 Interfaccia con risultati VInCA sito-specifica (§19.2)

I risultati della VInCA sito-specifica (Cap.19 §19.2) costituiscono input diretti per la valutazione del rischio ambientale residuo (RA-02, RA-03). Se la VInCA Propria dovesse identificare impatti significativi non mitigabili (art.6 §4 Dir.92/43/CEE), il sito interessato verrebbe escluso dal perimetro del pilota e sostituito con un sito alternativo dall'elenco di riserva (§15.2). Questo scenario è classificato come rischio RA-03 (probabilità 3, livello MEDIO) e ha un piano di risposta che prevede l'avvio parallelo dello Screening per siti di riserva già dalla Fase 0.

Tabella 18.3 — Risk register ambientale: lagune, AMP, Natura 2000, DNSH Obiettivo 6 e rischi dati

ID	Rischio ambientale	Sito / Config.	Prob.	Impatto	Livello	Misure di mitigazione / Riferimenti normativi
RA-01	Sversamento elettrolita LiFePO ₄ in	L — lagune	2	5	MEDIO-ALTO	Batterie IP68 + deep-water disconnect automatico; piano di emergenza sversamento (procedura scritta a bordo); accordo preventivo con Capitaneria per

	laguna (evento incidentale)					bonifica. Ref: §10.4, Tab.10.4, Dir.2008/56/CE D8
RA-02	Impatto su specie ZSC/ZPS durante navigazione lagunare (disturbo habitat)	L — Cabras, S.Gilla	2	4	MEDIO	Screening VInCA Livello I prima dell'avvio pilota (§19.2.1); rotte di navigazione vincolate a fasce orarie; rispetto buffer 50m da canneto. Ref: Dir.92/43/CEE, DPR 357/97
RA-03	VInCA Livello II richiesta da Autorità competente (iter >6 mesi)	L — Asinara, Cabras	3	3	MEDIO	Avvio Screening VInCA entro mese 1 Fase 0 per ogni sito lagunare; All. F per sito; consulenza naturalistica con CNR-IAS. Cronoprogramma §21.1.1 include buffer 3 mesi per VInCA
RA-04	Riduzione GWP <40% (Config. B senza CER) → non conformità DNSH TSC	B — siti senza CER	3	4	ALTO	Condizione abilitante CER (§16.4.2); fallback Config. C+6kWp; comunicazione tempestiva a AdG FEAMPA. Evidenza LCA All. J: GWP 32,8% senza CER vs 40%+ con CER
RA-05	Antivegetativo zinco/biocidi da carena esistente → impatto qualità acque laguna	L — lagune	2	3	MEDIO	Sostituzione antivegetativo tradizionale con prodotti non-biocidi (silicone/PTFE) prima del pilota lagunare; campionamento Cu ²⁺ baseline KPI AC-04; ispezione carena semestrale
RA-06	Aumento traffico nella zona pilota per effetto dimostrativo (più barche)	L — Cabras	2	2	BASSO	Monitoraggio UWN pre/durante pilota (ISO 17208); protocollo M&V §23.2.2; segnalazione deviazioni al team di coordinamento
RA-07	Diffusione dati ambientali sensibili (specie/habitat ZSC) non autorizzata	Tutti	2	3	MEDIO	GDPR art.25 (privacy by design); accesso dati specie/coordinate ZSC riservato a team scientifico; accordo data-sharing con CNR-IAS. Ref: §3.4.1, §26.1

Nota: RA-04 (DNSH non conformità) è il rischio ambientale con livello più elevato (ALTO, Prob.3 × Imp.4) perché ha ricadute dirette sull'ammissibilità FEAMPA. È strettamente correlato al rischio infrastrutturale RI-02 (CER non attivata): le misure di mitigazione sono identiche (CER come condizione abilitante; fallback C+6kWp). Il doppio presidio in §18.2 e §18.3 riflette la doppia natura del rischio (infrastrutturale e di compliance ambientale). Collegamento: §19.1.1 (TSC DNSH Obj.1), All. I (DNSH Checklist), All. J (LCA Screening).

18.4 Rischi dati/IoT e cybersecurity navale — Risoluzione rilievo critico CYB-01

Il rilievo CYB-01 della peer review, classificato come CRITICO, richiedeva la trattazione sistematica della cybersecurity navale applicata al sistema IoT/BMS del progetto R3, con specifico riferimento allo standard IEC 62443 (serie completa), alla pianificazione del vulnerability assessment e penetration test, e alla predisposizione di un piano di risposta agli incidenti conforme a NIS2/D.Lgs 138/2024. Il §18.4 risolve integralmente questo rilievo, strutturandosi nei seguenti sotto-paragrafi: (a) architettura di sicurezza IEC 62443 con Security Level e zone/condotti; (b) piano VA/PT per fase progettuale; (c) piano di risposta agli incidenti (IRP) navale; (d) risk register cyber/dati/AI completo.

Il framework IEC 62443 è lo standard internazionale di riferimento per la cybersecurity dei sistemi di controllo industriale e automazione (IACS), adottato anche in ambito navale da RINA (RINA Cyber Requirements 2023) e da Lloyd's Register (LR ShipRight Cyber Security 2022). La sua applicazione al sistema IoT/BMS del progetto R3 è coerente con i requisiti del Cyber Resilience Act (Reg.(UE) 2024/2847, in vigore dal 11 dicembre 2024) che classifica i gateway IoT connessi in rete come 'prodotti con elementi digitali importanti' di Classe II, soggetti a valutazione di conformità da parte di un organismo notificato.

18.4.1 Architettura di sicurezza IEC 62443: zone, condotti e Security Level per componente

L'architettura di sicurezza IEC 62443 si articola in zone di sicurezza (Security Zones) e condotti (Conduits) che definiscono i confini logici e fisici del sistema di controllo. Per il sistema R3 si identificano tre zone principali: (1) Zona Operativa Bordo (ZOB): sonde IoT, BMS, controller PMS — Security Level 1–2; (2) Zona Gateway (ZG): dispositivo edge computing/gateway 4G/LoRa — SL-2 come interfaccia tra zona bordo e rete esterna; (3) Zona Cloud M&V (ZCM): piattaforma AWS/Azure IoT Hub, database M&V — SL-2 con requisiti NIS2 se applicabile.

Il condotto principale tra ZOB e ZCM è il canale di comunicazione 4G/LoRa/Starlink, che deve essere protetto con TLS 1.3 end-to-end e autenticazione mutua certificati X.509. Il condotto tra ZG e ZOB (locale a bordo) può essere cablato (RS-485 Modbus) o wireless (BLE 5.0 con pairing sicuro); in entrambi i casi è richiesta cifratura in transito. La Tabella 18.4 riporta i requisiti tecnici minimi per ciascun componente, con riferimento alle norme IEC 62443 applicabili, alla classe CRA e al livello NIS2.

Tabella 18.4 — Architettura di sicurezza IEC 62443: Security Level, classe CRA e requisiti tecnici per componente/zona

Componente / Zona	Standard IEC 62443 applicabile	Security Level target	Classe CRA (Reg.2024/2847)	Livello NIS2	Requisiti tecnici minimi obbligatori
Sonde IoT bordo (T°, DO, GPS, UWN, SoC)	IEC 62443-4-2 (Component)	SL-1	Classe I	—	Autenticazione: chiave pre-shared; aggiornamento firmware OTA firmato; SBOM SPDX 2.3; nessuna credenziale di default; timeout sessione 5 min
Gateway LoRa / 4G bordo (edge computing)	IEC 62443-4-2 (Component) IEC 62443-3-3 (System)	SL-2	Classe II	—	TLS 1.3 su tutti i canali; MFA per accesso remoto; log eventi 90 giorni; aggiornamento firmware entro 30 gg da release (CRA art.13); hardening OS (no SSH root, no telnet)
BMS / Controller propulsione (safety-critical)	IEC 62443-4-2 (Component) IEC 62443-2-4 (Service Provider)	SL-2	Classe II	—	Separazione fisica rete propulsione / rete IoT (air gap raccomandato); accesso locale solo con chiave fisica; nessuna interfaccia wireless abilitata di default; watchdog hardware
Piattaforma cloud M&V (AWS IoT Hub / Azure IoT)	IEC 62443-3-3 (System) IEC 62443-2-1 (Program)	SL-2	Classe II (se connessa a BMS)	Soggetto art.3 NIS2 se ricavi >€10M o infrastruttura critica	ISO/IEC 27001 o equivalente per provider cloud; cifratura at-rest AES-256; backup giornaliero con RPO ≤1h; notifica incidente entro 24h a CSIRT (D.Lgs 138/2024 art.23); DPIA se dati GPS personali
Rete portuale / shore power (infrastruttura CER)	IEC 62443-2-1 (Program) IEC 62443-3-2 (Risk Assessment)	SL-1	—	Verifica assoggettabilità NIS2 se CER critica	Segmentazione VLAN rete dati / rete potenza; firewall perimetrale; accesso fisico controllato quadro elettrico; piano BCP/DRP per continuità ricarica
App mobile PMS armatore (supervisione SoC, allarmi)	IEC 62443-4-2 (Component)	SL-1	Classe I	—	App distribuita su store ufficiali (Apple/Google); certificato SSL pinned; nessun dato GPS/identità armatore in chiaro; logout automatico 10 min; aggiornamento annuale minimo

Nota: SL-2 (Security Level 2): protezione contro attacchi deliberati con risorse moderate da un attore non specificatamente motivato. Sufficiente per infrastruttura IoT pesca artigianale. SL-3/SL-4 non richiesti in questa fase. Classe CRA II: gateway IoT connessi a rete con funzioni di controllo remoto; soggetti a valutazione di conformità da organismo notificato (art.24 Reg.2024/2847). La piattaforma

cloud M&V è soggetta a NIS2 solo se supera i criteri dimensionali art.3 D.Lgs 138/2024 (>250 dipendenti o fatturato >€50M o bilancio >€43M); per la grande maggioranza dei provider SME non si applica, ma il contratto SLA deve includere clausole di sicurezza equivalenti.

18.4.2 Piano di Vulnerability Assessment e Penetration Test per fase progettuale

Il piano VA/PT è strutturato per progressione di profondità lungo le fasi del progetto: dal threat modeling iniziale (Fase 0, basso costo, alta efficacia preventiva) ai penetration test specializzati (Fase 1–2, condotti da società accreditate CREST o con metodologia PTES), fino al monitoraggio continuo CVE in produzione. La cadenza di revisione del piano VA/PT è annuale o dopo ogni incidente significativo. I costi stimati del piano VA/PT sono: threat modeling €2.000–3.000; VA scan automatizzato €800–1.200; PT black-box €4.000–6.000; PT white-box €5.000–8.000 — totale ciclo completo: €12.000–18.000, da includere nel budget di progetto come OPEX cybersecurity.

Tabella 18.5 — Piano di Vulnerability Assessment e Penetration Test: attività per fase, target, responsabile e output

Fase	Attività di VA/PT	Target	Responsabile	Output atteso / Criterio di accettazione
FASE 0 (Pre-pilota)	Threat modeling (STRIDE) del sistema IoT/BMS/cloud	Architettura completa (diagramma flusso dati)	Fornitore IoT + referente cyber UN.I.COOP	Threat model document con lista minacce classificate per gravità (CVSS v3.1); evidenza per checklist CRA art.13 §1(a)
FASE 0	Inventario asset e SBOM (Software Bill of Materials)	Tutti i componenti firmware (sonde, gateway, BMS app)	Fornitore IoT	SBOM formato SPDX 2.3 o CycloneDX 1.4; verifica assenza CVE critici (CVSS ≥9.0) su componenti open source
FASE 1 (Pilota)	Vulnerability scan automatizzato (rete IoT bordo)	Gateway + sensori della prima barca pilota	Tecnico cyber esterno (certificazione CEH/OSCP)	Report VA con lista CVE, classificazione CVSS, piano remediation. Accettabile: nessun CVE critico non mitigato
FASE 1	Penetration test black-box (interfaccia cloud M&V)	Piattaforma cloud AWS/Azure IoT Hub	Società pentest accreditata (CREST/PTES)	Report PT completo: scope, metodologia, findings, prove di sfruttamento (PoC); KPI: 0 vulnerabilità critiche non rimateate entro 30 gg
FASE 1	Test intrusione fisico (accesso locale BMS)	Controller BMS su barca pilota B	Tecnico cyber + motorista	Verifica: (a) nessun accesso via JTAG/UART senza chiave fisica; (b) nessuna password di default; (c) boot sicuro verificato
FASE 2 (Analisi)	Penetration test white-box (piattaforma M&V + app mobile)	App PMS, API REST, database dati pesca	Società pentest accreditata	Report PT white-box; OWASP Mobile Top 10 check; verifica cifratura dati GPS e identità armatore (GDPR art.32)
FASE 2	Audit di sicurezza supply chain (fornitori IoT)	Top-3 fornitori per valore contratto	Referente cyber UN.I.COOP + legale	Compilazione checklist IEC 62443-2-4 per provider; verifica politica patch e bug bounty; firma NDA + accordo data processor GDPR
FASE 3 (Replic.)	Revisione VA/PT per configurazione di scala (5+ barche)	Sistema multi-barca con dashboard centralizzata	Tecnico cyber esterno	Aggiornamento threat model; verifica scalabilità controllo accessi (RBAC); test DoS su gateway aggregatore
CONTINUATIVO	Monitoraggio CVE (automated feed NVD/CISA KEV)	Tutti i componenti firmware in produzione	Fornitore IoT (SLA) + referente cyber	Alert automatico entro 24h per CVE CVSS ≥7.0; patch deployment entro 30 gg (CRA) o workaround documentato

Nota: CREST: Council of Registered Ethical Security Testers — organismo accreditato per penetration test. PTES: Penetration Testing Execution Standard — metodologia open standard. OWASP Mobile Top 10: lista delle 10 vulnerabilità più comuni nelle app mobile (OWASP Foundation 2023). CVE: Common Vulnerabilities and Exposures; CVSS v3.1: Common Vulnerability Scoring System. NVD:

National Vulnerability Database (NIST); CISA KEV: Known Exploited Vulnerabilities catalog (CISA US). Il piano VA/PT deve essere incluso nel capitolato di selezione fornitori IoT (All. D) come requisito contrattuale obbligatorio.

18.4.3 Piano di risposta agli incidenti (IRP) cyber navale

Il Piano di Risposta agli Incidenti (Incident Response Plan, IRP) definisce le procedure operative per la gestione di eventi di sicurezza informatica che coinvolgono il sistema IoT/BMS del progetto R3. L'IRP è strutturato in sette fasi sequenziali (rilevazione → contenimento → eradicazione → ripristino → notifica NIS2 → notifica GDPR → lezioni apprese), con finestre temporali vincolanti derivate dagli obblighi normativi di D.Lgs 138/2024 (NIS2: notifica entro 24h/72h/30gg) e GDPR (notifica Garante entro 72h). La Tabella 18.6 riporta il piano in formato operativo, direttamente utilizzabile dal responsabile cooperativa come checklist in caso di incidente.

Un aspetto critico specifico dell'ambiente navale è la necessità di garantire la continuità operativa della barca anche in caso di incidente cyber grave: per questo motivo il piano IRP prevede come misura di contenimento immediata il ripristino della modalità diesel-only (architettura ibrida parallelo: il motore diesel rimane sempre operativo indipendentemente dallo stato del sistema elettronico) e la disconnessione fisica del gateway IoT dal circuito propulsivo. Questa separazione architetture tra rete di propulsione e rete IoT è un requisito IEC 62443 (air gap raccomandato tra zona operativa bordo e zona gateway) e un elemento di safety critico.

Tabella 18.6 — Piano di risposta agli incidenti (IRP) cyber navale: fasi, finestre temporali, responsabili e azioni obbligatorie

Fase IRP	Finestra temporale	Trigger / Evento	Responsabile primario	Azioni obbligatorie / Output
1. RILEVAZIONE	T+0 → T+1h	Allarme automatico SIEM / anomalia dashboard M&V / segnalazione armatore	Piattaforma cloud (alert automatico) + referente cyber UN.I.COOP	Log dell'evento con timestamp UTC; classificazione iniziale (falso positivo / incidente reale); escalation se anomalia traffico >3σ o accesso non autorizzato rilevato
2. CONTENIMENTO	T+1h → T+4h	Incidente confermato: accesso non autorizzato, DoS su gateway, dati M&V corrotti	Referente cyber + fornitore IoT (SLA 4h)	Isolamento del componente compromesso (blocco porta rete / kill switch remoto gateway); switch a modalità stand-alone locale (dati M&V su SD card); notifica preliminare al DPO se coinvolti dati personali GPS
3. ERADICAZIONE	T+4h → T+24h	Causa radice identificata (CVE specifico, credenziale compromessa, firmware vulnerabile)	Fornitore IoT + tecnico cyber esterno	Patch firmware o reset credenziali; scansione VA post-patch; verifica integrità database M&V (SHA-256 audit trail §12.6); documentazione tecnica causa radice
4. RIPRISTINO	T+24h → T+72h	Sistema verificato e bonificato	Referente cyber + responsabile cooperativa	Ripristino connettività gateway; sincronizzazione dati M&V mancanti da backup locale; test funzionale completo (KPI IoT §23.1); verifica SoC batterie non alterati
5. NOTIFICA NIS2	Entro T+24h (notifica iniziale) Entro T+72h (notifica completa) Entro T+30gg (report finale)	Incidente con impatto significativo su sistemi IoT interconnessi (art.23 D.Lgs 138/2024)	Responsabile cooperativa + legale	Notifica iniziale a CSIRT Italia (csirt.gov.it): tipo incidente, sistemi coinvolti, impatto iniziale. Notifica completa entro 72h. Report finale entro 30 gg con RCA, misure adottate, stima impatto

6. NOTIFICA GDPR	Entro T+72h dall'identificazione	Violazione dati personali (GPS armatore, dati cattura, identità) con rischio elevato per interessati	DPO (o referente GDPR cooperativa)	Notifica al Garante Privacy (art.33 GDPR) entro 72h; comunicazione agli armatori interessati se rischio elevato (art.34 GDPR); aggiornamento ROPA e DPIA
7. LEZIONI APPRESE	T+30gg → T+60gg	Conclusione gestione incidente	Team cyber + management UN.I.COOP	Post-incident review (PIR); aggiornamento threat model, revisione SBOM, eventuale rinegoziazione SLA fornitore; aggiornamento §18.4 e All. D capitolato fornitori; briefing al personale coinvolto

Nota: Le finestre temporali sono vincolanti per legge: 24h (notifica iniziale NIS2 art.23 D.Lgs 138/2024), 72h (notifica completa NIS2 e notifica GDPR art.33), 30gg (report finale NIS2). Il mancato rispetto delle scadenze espone l'ente a sanzioni amministrative (NIS2: fino a €10M o 2% fatturato globale per soggetti essenziali; GDPR: fino a €20M o 4% fatturato globale). Per le cooperative pescherecce rientranti tra i 'soggetti importanti' NIS2 (art.3 D.Lgs 138/2024), la soglia è ridotta (€7M o 1,4% fatturato). CSIRT Italia: csirt.gov.it, h24 7/7.

18.4.4 Risk register cyber/dati/AI: Top-10 rischi con misure di mitigazione (rilievo CYB-01 risolto)

Il risk register cyber integra i rischi di sicurezza informatica, protezione dei dati personali (GDPR), conformità CRA/NIS2 e compliance AI Act, applicati specificamente all'architettura del sistema R3. I rischi sono classificati secondo la stessa scala probabilità/impatto del risk register generale (§17.5.1) per garantire comparabilità e prioritizzazione coerente. Il rischio RC-05 (CVE critico non patchato su BMS) è l'unico classificato ALTO in quanto combina probabilità moderata con impatto massimo sulla sicurezza della navigazione.

Tabella 18.7 — Risk register cyber/dati/AI: Top-10 rischi, livello, residuo post-mitigazione e misure di risposta

ID	Rischio cyber / dati / AI	Prob. (1-5)	Impatto (1-5)	Livello rischio	Residuo post-mit.	Misura di mitigazione / Riferimento normativo
RC-01	Accesso non autorizzato al gateway bordo (compromissione firmware)	2	4	MEDIO	BASSO	IEC 62443-4-2 SL-2; TLS 1.3; nessuna credenziale default; hardening OS; monitoraggio SIEM. CRA art.13 §1(d). PT Fase 1 (Tab.18.5, fase 1)
RC-02	Attacco DoS su gateway 4G/LoRa → perdita telemetria M&V	2	3	MEDIO	BASSO	Watchdog hardware con reset automatico; modalità offline su SD card; ridondanza Starlink per siti critici. Tempo max interruzione accettabile: 4h
RC-03	Intercettazione dati GPS armatore (posizione barca = dato personale)	2	4	MEDIO	BASSO	Pseudonimizzazione GPS (art.25 GDPR): coordinate troncate a 2 decimali per archiviazione; trasmissione cifrata TLS 1.3; DPIA obbligatoria ante pilota (§26.2). Ref: §12.6, Tab.12.6
RC-04	Compromissione piattaforma cloud M&V (data breach dati pesca e GPS)	1	5	MEDIO	MOLTO BASSO	ISO/IEC 27001 per provider; cifratura AES-256 at-rest; backup con RPO ≤1h; notifica NIS2 entro 24h + GDPR entro 72h. PT white-box Fase 2 (Tab.18.5)
RC-05	CVE critico (CVSS ≥9.0) non patchato su componente firmware BMS	2	5	ALTO	BASSO	Feed NVD/CISA KEV automatico; patch entro 30 gg (CRA art.13 §1(g)); SLA fornitore con penali per ritardi. Contingency: kill switch manuale + operazione locale BMS

RC-06	PMS ML (algoritmo ottimizzazione diesel/elettrico) — decisione non tracciabile	2	3	MEDIO	BASSO	AI Act Reg.2024/1689: classificazione 'rischio limitato'; requisiti trasparenza algoritmica; kill switch fisico; modalità advisory-only (§12.7). Documentazione tecnica art.13 AI Act. Ref: Tab.12.7
RC-07	Manipolazione dati M&V per rendicontazione FEAMPA fraudolenta (insider threat)	1	5	MEDIO	MOLTO BASSO	Audit trail immutabile SHA-256 + timestamp RFC3161 (§12.6); accesso in scrittura solo a sistema automatico IoT; accesso lettura separato per rendicontazione; log accessi 36 mesi
RC-08	Vulnerabilità supply chain: firmware malevolo da fornitore IoT non verificato	2	4	MEDIO	BASSO	SBOM obbligatorio CycloneDX 1.4; verifica origine componenti (trusted origin policy); audit fornitore IEC 62443-2-4 Fase 2 (Tab.18.5). Ref: §12.3, Tab.12.3
RC-09	Perdita disponibilità sistema (all-components failure) durante uscita in mare	1	5	MEDIO	MOLTO BASSO	BCP: modalità diesel-only always available; log locale a bordo; rientro in porto autonomo garantito da architettura ibrida parallelo. Procedura SOG §22.1.2
RC-10	Violazione NIS2: mancata notifica incidente entro 24h al CSIRT	2	4	MEDIO	BASSO	Procedura IRP formalizzata (Tab.18.6); formazione responsabile cooperativa §22.1.3; contatto CSIRT Italia pre-registrato; esercitazione tabletop annuale

Nota: RC-06 (AI Act/PMS ML): la classificazione come 'rischio limitato' (non 'alto rischio' Allegato III) è condizionata alla modalità advisory-only del PMS — il sistema suggerisce la commutazione diesel/elettrico ma NON la esegue autonomamente. Se il progetto evolvesse verso commutazione automatica senza supervisione umana, la classificazione AI Act richiederebbe rivalutazione. Il rilievo CYB-01 è da considerarsi integralmente risolto dalla combinazione: Tab.18.4 (IEC 62443 architettura) + Tab.18.5 (piano VA/PT) + Tab.18.6 (IRP) + Tab.18.7 (risk register cyber).

Articoli e studi tecnico-scientifici

1. Ma'arif S. et al. (2025), "Progress in hybrid and electric propulsion technologies for fishing vessels", Ocean Engineering (in press).
Rassegna aggiornata delle applicazioni di propulsione elettrica/ibrida su pescherecci, con analisi di efficienza energetica, emissioni e barriere di mercato.
2. Hwang J. et al. (2022), "A study on the application of hybrid propulsion system for a fishing vessel based on operation pattern analysis", Journal of Marine Engineering & Technology.
Caso di studio su nave da pesca con analisi del profilo operativo e valutazione di fattibilità tecnico-economica del sistema ibrido.
3. Andersson A. (2015), "Feasibility study of hybrid propulsion systems for long-liner fishing vessels", MSc thesis, Chalmers University of Technology.
Studio di fattibilità per longliner islandese, con confronto retrofit vs nuova costruzione e valutazione dei risparmi di carburante.
4. FAO (2024), "Assessment of the sustainability of fishing technologies and operations".
Include una sezione specifica sui sistemi di propulsione elettrica per piccole barche da pesca e confronta impatti ambientali e costi operativi rispetto a motori benzina/diesel.
5. Juliangga R. et al. (2025), "Development and Performance Evaluation of Solar Electric Propulsion for Small Fishing Boats", Proc. International Conference on Development of Science and Engineering Technology.
Prototipo di barca da pesca elettrica alimentata a FV per flotte artigianali indonesiane, con dati di prova su consumi, autonomia e benefici economici.
6. KTH (2022), "Comparative Life Cycle Assessment of Electric Hydrofoil Boats and Petrol Boats", MSc thesis, KTH Royal Institute of Technology.
Anche se su barche da diporto, fornisce un impianto LCA comparativo completo (hotspot, break-even emissivo) trasferibile al caso pesca.
7. Strathclyde (2023), "Dynamic life cycle assessment for electric propulsion with net-zero ambitions in the maritime sector", PhD thesis.
Introduce approcci di LCA dinamica per sistemi di propulsione elettrici in ambito shipping, utili per migliorare la modellazione LCA del progetto R3.
8. Articolo LCA su barche gonfiabili elettriche vs benzina: "Life cycle assessment comparing electric and petrol-powered rigid inflatable boats (RIBs)".
Primo LCA cradle-to-grave focalizzato solo sugli impatti ambientali di barche elettriche vs benzina, utile come benchmark metodologico.

Progetti pilota e documenti applicativi

9. Progetto "3EFISHING – 3E-innovation of small-scale fisheries and aquaculture".
Retrofit elettrico/ibrido di due imbarcazioni <12 m in Adriatico per piccola pesca e acquacoltura, con WPs su progettazione, test e analisi economico-ambientale.
10. FFAW–TriNav "Electrification Project" (Canada).
Progetto di retrofit ibrido diesel-elettrico su un peschereccio inshore per dimostrare riduzioni di consumo e CO₂ e supportare incentivi federali.
11. Parlamento Europeo (2023), "Energy transition in the EU fisheries and aquaculture sector".
Brief che discute vincoli e opportunità per la transizione energetica della flotta, inclusa la sostituzione dei motori e l'uso di propulsione elettrica/ibrida in coerenza con FEAMPA.
12. FAO (2016), "Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication".
Quadro di riferimento globale per la pesca artigianale sostenibile, utile a collocare retrofit elettrico/ibrido dentro la dimensione socio-economica e di governance.