

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

**Metodologia tecnico-ingegneristica per la valutazione della
riconversione green di piattaforme oil&gas offshore.
Sviluppo e applicazione di un tool di supporto alle decisioni.**



**Politecnico
di Torino**

Relatori:
Prof. Andrea Carpignano
Prof.ssa Raffaella Gerboni
Ing. Luca Portè
Dott.ssa Anna Chiara Uggenti

Candidato:
Daniele Congedi

Anno Accademico 2023/2024

Alla mia famiglia.

Sommario

Nel presente lavoro di tesi si propone uno studio relativo alla definizione di una linea guida e allo sviluppo di un tool di supporto nella selezione della migliore opzione di riutilizzo di piattaforme Oil&Gas offshore. In Italia, infatti, molte di queste strutture giungeranno, a breve, al termine della loro vita produttiva, a causa dell'esaurimento del proprio giacimento, per cui per evitarne la completa rimozione sono state valutate diverse opzioni di riconversione. In particolare, la linea guida, ha come obiettivo quello di definire uno strumento utile a supportare le decisioni dei policy makers, considerando tre progetti preliminari di riutilizzo: la produzione di energia rinnovabile per dissalare l'acqua di mare, lo stoccaggio temporaneo della miscela di metano e idrogeno, un impianto di reiniezione di CO₂ nel giacimento esaurito. È stata individuata, dunque, una metodologia di valutazione basata su un'analisi multi-criterio, con lo scopo di classificare, per ogni piattaforma, le tre alternative progettuali rispetto a differenti aspetti come la sostenibilità ambientale, la sicurezza e le caratteristiche tecniche. Inoltre, l'intera procedura è stata implementata in un tool che richiede all'utente di inserire quante più informazioni possibili per ottenere il livello di adattabilità rispetto ad ogni opzione di riconversione, tenendo presente anche di un certo grado di indisponibilità dei dati numerici, attraverso l'individuazione di un range di incertezza. Per verificare le funzionalità e validare la procedura di analisi, lo strumento informatico è stato, infine, testato con successo su un caso studio con dati relativi ad una piattaforma "tipo", chiamata GREEN 1, rappresentativa del panorama offshore italiano. Dai risultati ottenuti, si può constatare che tale strumento automatizza il processo di valutazione che può essere applicato a ciascuna piattaforma offshore in Italia, idonea per la riconversione, riportando l'output finale mediante una rappresentazione grafica facilmente interpretabile che evidenzia i punti di forza e di debolezza di ogni opzione. Le tre alternative di riconversione analizzate in questo studio sono dei validi esempi di progetti di elevato interesse per la transizione energetica in atto, tuttavia, è possibile considerare che tale procedura potrà, in sviluppi futuri, essere estesa a nuovi design non ancora sviluppati.

Abstract

In the present master thesis work is proposed a study on the definition of a guideline and the development of a tool to support the selection of the best option for the reuse of oil & gas offshore platforms. In Italy, in fact, many of these structures will come, soon, at the end of their productive life, due to the exhaustion of their deposit, so in order to avoid the complete removal of them, several conversion options have been evaluated. In particular, the guideline aims to define a useful tool to support policy makers' decisions, considering three preliminary projects of reuse: the production of renewable energy to desalinate seawater, temporary storage of the mixture of methane and hydrogen, a CO₂ reinjection plant in the spent field. It has been identified, therefore, an evaluation methodology based on a multi-criterio analysis, with the aim of classifying, for each platform, the three design alternatives with respect to different aspects such as environmental sustainability, safety and technical characteristics. In addition, the whole procedure has been implemented in a tool that requires the user to enter as much information as possible to obtain the level of adaptability with respect to each conversion option, keeping in mind also a certain degree of unavailability of the numerical data, through the identification of a range of inaccuracy. To verify the functionality and validate the analysis procedure, the IT tool was finally successfully tested on a case study with data relating to a "type" platform, called GREEN 1, representative of the Italian offshore panorama. From the results obtained, it can be seen that this tool automates the evaluation process that can be applied to each offshore platform in Italy, suitable for conversion, reporting the final output by means of a graphical representation easily interpretable that highlights the strengths and weaknesses of each option. The three conversion alternatives analysed in this study are good examples of projects of high interest for the energy transition in progress, however, it can be considered that this procedure may, in future developments, be extended to new designs not yet developed.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduzione..... | 1 |
| 1.1. Contesto Energetico..... | 1 |
| 1.2. Piattaforme offshore a fine vita | 3 |
| 1.2.1. Le caratteristiche delle piattaforme offshore in Italia | 3 |
| 1.3. L'attività di decommissioning e riconversione | 6 |
| 1.3.1. Le tre opzioni di riconversione | 8 |
| 1.3.2. Filosofia dei progetti di riconversione | 12 |
| 1.4. Obiettivi della tesi | 16 |
| 1.5. Struttura della Tesi..... | 16 |
| 2. Definizione della metodologia di analisi tecnico-ingegneristica | 18 |
| 2.1. Campo di applicazione della linea guida | 18 |
| 2.1.1. Contesto normativo e piattaforme adatte alla riconversione..... | 18 |
| 2.1.2. Limiti di batteria dell'impianto | 19 |
| 2.2. Linee guida: Definizione della metodologia di applicazione | 21 |
| 2.2.1. Dai progetti basic alla definizione dei criteri di valutazione | 21 |
| 2.2.2. Definizione dell'importanza di ciascun criterio | 30 |
| 3. Analisi dei criteri di dettaglio: attribuzione degli indici e dei pesi | 34 |
| 3.1. Attribuzione a ciascun criterio di un indice | 34 |
| 3.2. Definizione dei range di grandezze da attribuire a ciascun indice | 36 |
| 3.2.1. Aspetti ambientali..... | 37 |
| 3.2.2. Aspetti di sicurezza | 38 |
| 3.2.3. Compatibilità ambientale e territoriale | 40 |
| 3.2.4. Attività di riconversione e decommissioning | 43 |
| 3.2.5. Tecnologie e Design | 44 |
| 3.3. Stima dei pesi da attribuire a ciascun criterio | 46 |
| 3.3.1. Metodologia productivity-based | 46 |
| 4. Implementazione del "Metodo di associazione indice/peso" nel tool | 49 |
| 4.1. L'analisi multicriterio decisionale | 49 |
| 4.1.1. Elementi di un'analisi multicriterio..... | 49 |
| 4.1.2. Vantaggi e svantaggi dell'analisi multicriterio..... | 51 |
| 4.2. Metodo della somma pesata..... | 52 |
| 4.3. Implementazione della metodologia nel tool | 53 |
| 4.3.1. Codifica degli indici di valutazione..... | 53 |

| | |
|---|------------|
| 4.3.2. Normalizzazione dei pesi..... | 54 |
| 5. Sviluppo del tool..... | 58 |
| 5.1. Specifiche del tool..... | 58 |
| 5.2. Elaborazione e logica di funzionamento del tool | 59 |
| 5.3. Algoritmo eseguito dal software | 61 |
| 6. Applicazione del tool al caso studio: GREEN 1 | 68 |
| 6.1. Compilazione requisiti vincolanti | 68 |
| 6.2. Dati di input per i criteri non vincolanti | 68 |
| 7. Valutazione dei risultati forniti dal tool..... | 94 |
| 7.1. Stima dell'output | 94 |
| 7.2. Discussione dei risultati ottenuti dall'analisi..... | 97 |
| 7.3. Analisi di Benchmarking | 99 |
| 7.4. Livello di incertezza..... | 100 |
| 8. Conclusioni..... | 103 |
| ALLEGATO 1 – ELENCO CRITERI DI VALUTAZIONE | 106 |
| ALLEGATO 2 – ANALISI DEI CRITERI DI DETTAGLIO | 115 |
| ALLEGATO 3 – MANUALE D'USO DEL TOOL | 128 |
| Bibliografia | 132 |

Indice delle Figure

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Evoluzione e composizione del mix elettrico al 2050, Laboratorio REF Ricerche [2]. | 2 |
| Figura 2: Andamento della produzione nazionale di gas naturale dal 1990, ARERA [3]. | 2 |
| Figura 3: Mappa delle concessioni minerarie divise. | 3 |
| Figura 4: Schema di una struttura jacket di una piattaforma offshore [8]. | 4 |
| Figura 5: Piattaforme Garibaldi C e Garibaldi K a largo di Ravenna [9]. | 5 |
| Figura 6: Decommissioning dei topside della piattaforma Miller di BP, Mar del Nord [12]. | 6 |
| Figura 7: Ecosistema marino sul jacket della piattaforma petrolifera Eureka al largo di Long Beach, in California [16]. | 7 |
| Figura 8: Sistema di dissalazione su una piattaforma Oil&gas [22]. | 9 |
| Figura 9: Schema di funzionamento di uno stoccaggio temporaneo [23]. | 10 |
| Figura 10: Schema della cattura, trasporto e stoccaggio offshore della CO ₂ [26]. | 11 |
| Figura 11: Vista laterale GREEN1. | 13 |
| Figura 12: Diagramma a blocchi del sistema in esame. | 19 |
| Figura 13: Elenco aspetti ambientali potenzialmente applicabili. | 23 |
| Figura 14: Esempio di rappresentazione grafica di aree di danno relative alla radiazione da Jet Fire [32]. | 25 |
| Figura 15: Emissioni totali e assorbimenti di gas serra nei dati storici, nello scenario PNIEC, nello Scenario di riferimento al 2050 e nello Scenario di decarbonizzazione al 2050 [34]. | 26 |
| Figura 16: Decommissioning della piattaforma Brae Alpha tramite l'impiego di una nave gru semisommersibile, Mar del Nord [35]. | 28 |
| Figura 17: Riproduzione grafica 3D di una sealine a servizio di una piattaforma offshore [36]. | 29 |
| Figura 18: Numero criteri per macro categoria. | 30 |
| Figura 19: Mappa della radiazione solare incidente sul piano inclinato ottimale [45]. | 41 |
| Figura 20: Diagramma ad albero rappresentativo del processo AMC. | 51 |
| Figura 21: Matrice di valutazione. | 52 |
| Figura 22: Codifica degli indici. | 54 |
| Figura 23: Schema Metodo di Simos [55]. | 54 |
| Figura 24: Logica di funzionamento del tool. | 60 |
| Figura 25: Diagramma di flusso generale del tool. | 62 |
| Figura 26: Finestra grafica relativa ai criteri vincolanti (Opzione 1). | 63 |
| Figura 27: Dettaglio del diagramma di flusso circa l'analisi dei criteri non vincolanti. | 64 |
| Figura 28: Esempio di finestra grafica per inserimento dati di input (GREEN 1). | 65 |
| Figura 29: Esempio diagramma di flusso per l'assegnazione dell'indice al criterio. | 66 |
| Figura 30: Aree di danno JF foro 150 mm, condizione meteo 5D. | 77 |
| Figura 31: Distanze raggiunte dalle soglie di vulnerabilità di interesse per il foro da 150 mm. | 79 |
| Figura 32: Aree di danno VCE foro 150 mm, condizione meteo 5D/2F. | 79 |
| Figura 33: Aree di danno dispersione foro 150 mm, condizione meteo 5D. | 81 |
| Figura 34: Guida per la valutazione dell'impatto relativo al consumo di energia primaria [74]. | 89 |
| Figura 35: Istogramma relativo al punteggio per ogni singola opzione (GREEN 1). | 95 |
| Figura 36: Diagramma a torta della percentuale di adattabilità per ogni opzione (GREEN 1). | 96 |
| Figura 37: Contributo in termini di score per ogni macro-categoria (GREEN 1). | 97 |
| Figura 38: Risultati analisi di benchmarking (GREEN 1). | 99 |
| Figura 39: Esempio applicativo di error bar correlato all'incertezza dello score (GREEN 1). | 102 |
| Figura 40: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale[85]. | 125 |
| Figura 41: Icona script MATLAB. | 129 |
| Figura 42: Interfaccia start tool. | 129 |
| Figura 43: Esempio di finestra grafica con criteri quantitativi. | 130 |
| Figura 44: Esempio di finestra grafica con criteri qualitativi. | 130 |

| | |
|---|-----|
| Figura 45: Risultati grafici..... | 131 |
| Figura 46: File risultati..... | 131 |
| Figura 47: Tabella risultati numerici | 131 |

Indice delle Tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 1: Macro categorie per la valutazione | 22 |
| Tabella 2: Lista criteri vincolanti | 31 |
| Tabella 3: Piattaforma monotubolare con la superficie maggiore..... | 31 |
| Tabella 4: Scala qualitativa degli indici | 34 |
| Tabella 5: Attribuzione degli indici | 35 |
| Tabella 6: Elenco dei 15 criteri di dettaglio analizzati in questo elaborato | 36 |
| Tabella 7: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.1.- “Aspetti ambientali” | 38 |
| Tabella 8: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.1.- “Aspetti ambientali” | 38 |
| Tabella 9: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 11 - “Aspetti di sicurezza” | 39 |
| Tabella 10: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per gli incendi | 39 |
| Tabella 11: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 11 - “Aspetti di sicurezza”..... | 39 |
| Tabella 12: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 5 - “Compatibilità ambientale e territoriale” | 40 |
| Tabella 13: Piattaforme con valore max e min di radiazione solare incidente sul piano ottimale | 42 |
| Tabella 14: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 5 - “Compatibilità ambientale e territoriale”..... | 42 |
| Tabella 15: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.1.- “Attività di riconversione e decommissioning” | 43 |
| Tabella 16: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.1.- “Attività di riconversione e decommissioning” | 43 |
| Tabella 17: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 5 – “Tecnologie e Design” | 44 |
| Tabella 18: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 5 – “Tecnologie e Design”..... | 45 |
| Tabella 19: Pesi secondo la metodologia productivity-based..... | 47 |
| Tabella 20: Esempio applicazione metodologia productivity-based | 47 |
| Tabella 21: Esempio applicazione Metodo di Simos ai criteri positivi dell’Opzione 2..... | 55 |
| Tabella 22: Vettore pesi positivi (Opzione 2) | 56 |
| Tabella 23: Vettori dei pesi normalizzati per ogni macro-categoria (Opzione 2)..... | 56 |
| Tabella 24: Esempio assegnazione dell’indice da parte del tool (GREEN 1) | 66 |
| Tabella 25: Scala di riferimento per l’individuazione della risposta dei criteri qualitativi..... | 69 |
| Tabella 26: Esempio di applicazione della procedura di definizione della risposta qualitativa | 69 |
| Tabella 27: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Aspetti ambientali" | 71 |
| Tabella 28: Analisi sostanze pericolose stoccate in piattaforma..... | 73 |
| Tabella 29: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Sostanze pericolose" | 75 |
| Tabella 30: Diametri di rottura rappresentativi | 76 |
| Tabella 31: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento..... | 77 |
| Tabella 32: Distanze raggiunte dalle soglie di vulnerabilità di interesse per il foro da 150 mm | 77 |
| Tabella 33: Input Criterio 11 - “Aspetti di sicurezza” (GREEN 1) | 78 |
| Tabella 34: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento..... | 78 |
| Tabella 35: Input Criterio 12 - “Aspetti di sicurezza” (GREEN 1) | 80 |
| Tabella 36: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento..... | 80 |
| Tabella 37: Distanze raggiunte dalle soglie tossiche di interesse per il foro da 150 mm | 81 |
| Tabella 38: Input Criterio 13 - “Aspetti di sicurezza” (GREEN 1) | 81 |
| Tabella 39: Input Criterio 14 - “Aspetti di sicurezza” (GREEN 1) | 82 |

| | |
|--|-----|
| Tabella 40: Input Criterio 1 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 82 |
| Tabella 41: Input Criterio 2 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 83 |
| Tabella 42: Input Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 84 |
| Tabella 43: Input Criterio 4 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 84 |
| Tabella 44: Input Criterio 5 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 85 |
| Tabella 45: Input Criterio 6 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 85 |
| Tabella 46: Input Criterio 7 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 85 |
| Tabella 47: Input Criterio 8 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1) | 86 |
| Tabella 48: Input Criterio 1 - "Utilità opzione" (GREEN 1) | 87 |
| Tabella 49: Input Criterio 2 - "Utilità opzione" (GREEN 1) | 88 |
| Tabella 50: Significatività degli aspetti ambientali | 88 |
| Tabella 51: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Attività di riconversione e decommissioning" | 89 |
| Tabella 52: Input Criterio 1 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 91 |
| Tabella 53: Input Criterio 2 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 91 |
| Tabella 54: Input Criterio 3 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 92 |
| Tabella 55: Input Criterio 4 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 92 |
| Tabella 56: Input Criterio 5 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 92 |
| Tabella 57: Input Criterio 6 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1) | 93 |
| Tabella 58: Score per ogni alternativa percentuale con compilazione del tool pari al 100% (GREEN 1) | 95 |
| Tabella 59: intervallo di incertezza associato alla percentuale di compilazione del tool (GREEN 1) | 102 |
| Tabella 60: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.3.- "Aspetti ambientali" | 116 |
| Tabella 61: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.3.- "Aspetti ambientali" | 116 |
| Tabella 62: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.4.- "Aspetti ambientali" | 117 |
| Tabella 63: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.4.- "Aspetti ambientali" | 117 |
| Tabella 64: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 12- "Aspetti di sicurezza" | 118 |
| Tabella 65: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per le esplosioni | 118 |
| Tabella 66: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 12 - "Aspetti di sicurezza" | 119 |
| Tabella 67: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 13 - "Aspetti di sicurezza" | 119 |
| Tabella 68: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per l'esposizione tossica | 119 |
| Tabella 69: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 13 - "Aspetti di sicurezza" | 120 |
| Tabella 70: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 14 - "Aspetti di sicurezza" | 121 |
| Tabella 71: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 14 - "Aspetti di sicurezza" | 121 |
| Tabella 72: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale" | 123 |
| Tabella 73: Valori di riferimento per il calcolo dei range | 123 |
| Tabella 74: Parametri relativi alle due dimensioni caratteristiche | 123 |
| Tabella 75: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale" | 124 |
| Tabella 76: Classificazione sismica calcolata in base al picco di accelerazione al suolo | 125 |
| Tabella 77: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 4 - "Compatibilità ambientale e territoriale" | 125 |
| Tabella 78: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 2 - "Tecnologie e Design" | 127 |
| Tabella 79: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 2 - "Tecnologie e Design" | 127 |

1. Introduzione

Il panorama italiano di piattaforme estrattive offshore sta invecchiando. Un numero sempre crescente di impianti giungeranno, infatti, al termine della propria vita produttiva, a seguito dell'esaurimento del giacimento. Il loro completo decommissioning potrebbe non essere la soluzione ideale nell'attuale contesto di transizione energetica, considerati gli elevati costi legati allo smantellamento di tali strutture o all'impatto ambientale che le attività possono avere sull'ecosistema marino circostante. Il riutilizzo di tali infrastrutture risulta essere, dunque, la soluzione più conforme al nuovo modello di sviluppo sostenibile. Tale studio prevede, pertanto, la definizione di una linea guida con lo sviluppo di un tool, basato su una procedura di analisi multi-criterio, in grado di supportare gli stakeholders nel processo di selezione dell'opzione di riconversione migliore per ciascuna piattaforma presa in esame, considerando tre progetti preliminari di riutilizzo che verranno descritti all'interno del seguente capitolo.

1.1. Contesto Energetico

L'effetto serra e i relativi cambiamenti climatici hanno spinto negli ultimi decenni il pianeta verso la transizione energetica dalle risorse fossili verso le fonti rinnovabili. L'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) nel sesto rapporto [1] in merito alla valutazione degli impatti del cambiamento climatico sulla natura e sulle attività umane, afferma che per limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali, nei prossimi decenni, è fondamentale la collaborazione di tutti i Paesi in modo da ridurre immediatamente e in maniera drastica le emissioni di gas serra. Il superamento di tale soglia di temperatura media mondiale, porterebbe, infatti, ad un incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, mettendo a rischio la sopravvivenza di intere popolazioni ed ecosistemi.

L'obiettivo, dunque, nel prossimo futuro, è quello di raggiungere la "*carbon neutrality*" per il 2050 come già annunciato dalla Commissione europea nel dicembre 2019 attraverso l'*European Green Deal*, considerando come obiettivo per il 2030, la riduzione delle emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990 ("*Fit for 55*").

L'emergenza climatica sta spingendo, dunque, verso una transizione energetica basata su un modello di sviluppo sostenibile senza più combustibili fossili, il cui uso è considerata la causa di circa il 75 % dell'incremento di anidride carbonica negli ultimi 20 anni. Proprio per questo motivo, il settore energetico è strategico per ridurre gli effetti del cambiamento climatico. Il raggiungimento di tali obiettivi non può però prescindere dal mix energetico di un Paese o dagli scenari futuri di domanda elettrica. Infatti, se da una parte vengono identificate nuove politiche per incrementare l'efficienza energetica, dall'altra si riscontra una sostanziale penetrazione del vettore elettrico negli usi finali, basti pensare all'elettificazione dei trasporti o alla sostituzione nel settore del riscaldamento delle caldaie a gas con pompe di calore. Inoltre, negli scenari di riferimento per il 2050 [2], si stima per il nostro paese una quota significativa, circa il 21% del fabbisogno elettrico derivante dalla produzione di idrogeno, sfruttando le sue potenzialità sia come fonte energetica in sostituzione del gas naturale sia come vettore da utilizzare come "storage" di energia.

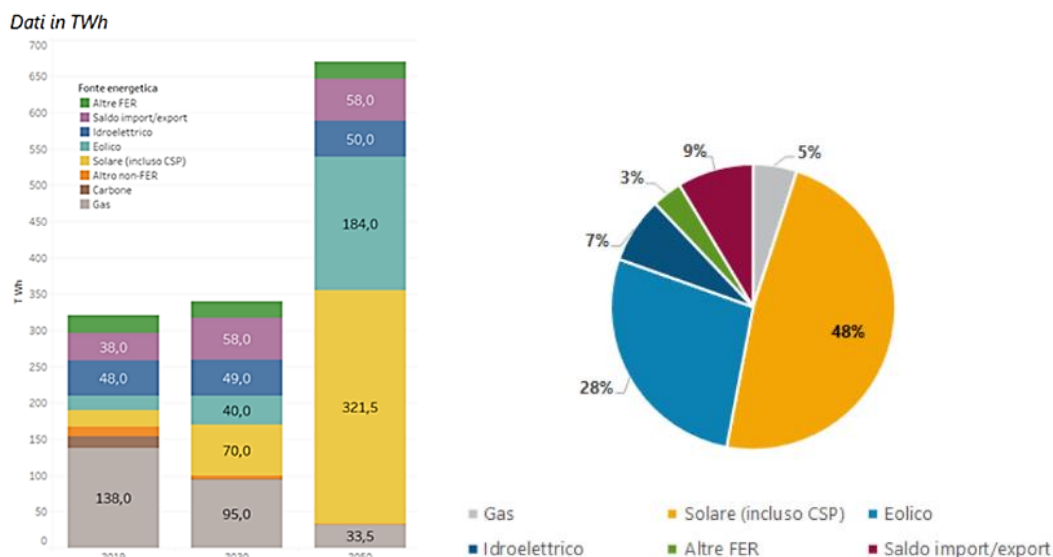


Figura 1: Evoluzione e composizione del mix elettrico al 2050, Laboratorio REF Ricerche [2].

In tale scenario al 2050, si prevedono per l'Italia 670 TWh di fabbisogno elettrico, il cui 5% potrà essere coperto ancora dal gas naturale, mentre il restante 95% sarà composto da fonti rinnovabili. Tuttavia, ad oggi, circa il 41,8 % dell'elettricità consumata in Italia viene prodotta in centrali termoelettriche sfruttando come combustibile, il gas naturale, la cui quota di produzione nazionale, rappresentata dall'estrazione dal sottosuolo, è stimata, ad oggi, sotto il 5%.

A partire dagli anni '90 tale attività è andata, infatti, diminuendo sia a causa della modesta quantità di risorse presenti nel sottosuolo sia a causa del costo di estrazione sempre maggiore. A tal proposito, secondo l'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente), al ritmo attuale di estrazione del gas (circa 3405 milioni di Sm³ nel 2022), considerando solo le riserve certe, la produzione si esaurirebbe in meno di dieci anni sebbene quelle definite probabili o possibili potrebbero trasformarsi in futuro in riserve certe, con l'intervento di nuovi investimenti o tecnologie [3].

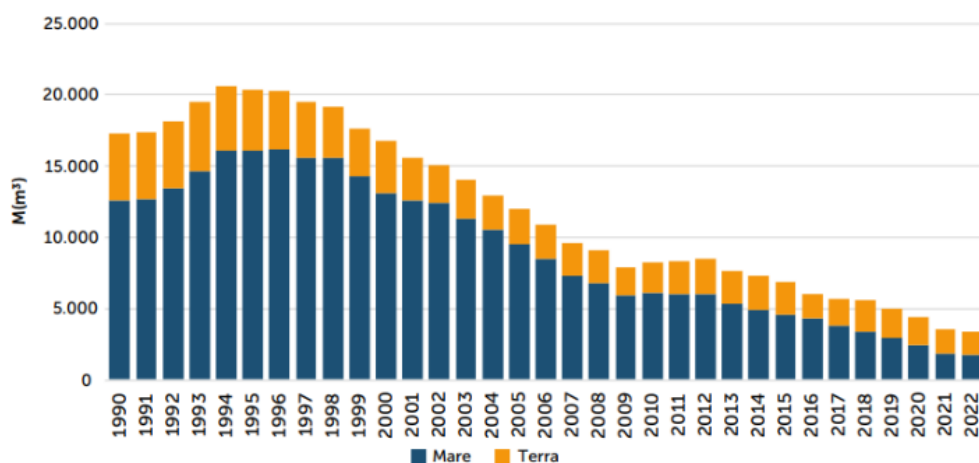


Figura 2: Andamento della produzione nazionale di gas naturale dal 1990, ARERA [3].

In tale scenario energetico, è comunque necessario considerare che in futuro, almeno per i prossimi due decenni, il gas naturale continuerà ad essere fondamentale per il mix energetico nazionale nonostante il forte incremento delle rinnovabili. Ciò, dunque, farà sì che l'attività estrattiva sul territorio nazionale continuerà fino all'inevitabile esaurimento dei giacimenti onshore e offshore, dovuto sia alla limitata quantità di idrocarburi presenti nel sottosuolo che alla loro estrazione intensiva.

1.2. Piattaforme offshore a fine vita

La nascita dell'industria estrattiva offshore, in Italia, risale agli anni successivi alla fine della Seconda Guerra Mondiale, quando il Governo Italiano diede incarico ad Enrico Mattei di liquidare l'Agip (Azienda generale italiana petroli), il quale scelse di non seguire tali indicazioni ma di sfruttare le potenzialità di sviluppo dell'ente, garantendo al Paese un'impresa energetica nazionale.

Nel 1953 fondò, infatti, l'Ente Nazionale Idrocarburi (Eni), avviando un intenso periodo di ricerca mineraria su tutto il territorio italiano. Nel 1959 fu così perforato il primo pozzo offshore nell'Europa occidentale, al largo di Gela, in Sicilia e tra gli anni '60 e '70 vennero scoperti nuovi giacimenti, in particolare nel Mar Adriatico settentrionale [4]. Durante gli anni '80 vennero, dunque, installate la maggior parte delle piattaforme offshore, impegnate prevalentemente nell'estrazione di gas.

Considerando che la vita media delle piattaforme oscilla tra i 30 e i 40 anni e dipende sia dal giacimento che dal suo utilizzo [5], ci si ritrova oggi ad affrontare il problema legato alla loro dismissione e a trovare, in ottica di transizione energetica, una soluzione alternativa di riconversione rispetto al decommissioning.

Il numero di piattaforme che sta raggiungendo il termine del proprio ciclo di vita produttivo, a causa dell'esaurimento del giacimento, sta, infatti, aumentando in maniera considerevole negli ultimi anni. Dunque, a tal proposito, nel febbraio 2019 il MISE ha pubblicato un decreto ministeriale per definire le norme da seguire in materia [6], stabilendo sia le procedure per il decommissioning delle piattaforme con le connesse attività di chiusura dei pozzi che l'iter autorizzativo per eventuali progetti di riutilizzo, vietandone l'abbandono.

1.2.1. Le caratteristiche delle piattaforme offshore in Italia

Facendo riferimento all'elenco compilato dal MASE [7], ad oggi, le piattaforme presenti in Italia sono 138 di cui circa 40 hanno più di 30 anni, localizzate in aree di concessione mineraria denominate "Zone marine" e identificate con lettere dell'alfabeto. Queste, inoltre, possono trovarsi dal punto di vista giuridico, dentro o oltre il limite delle 12 miglia dalla costa, anche se attualmente sono vietate nuove attività di estrazione entro tale fascia.



Figura 3: Mappa delle concessioni minerarie divise per Zone Marine e localizzazione delle piattaforme offshore, MASE [7].

Le tipologie di strutture offshore, prevalentemente presenti sul territorio nazionale, sono piattaforme a struttura fissa, costituite da più piani chiamati *deck* e ancorate al fondale tramite i cosiddetti *jacket*, lunghe strutture reticolari in acciaio, in grado di operare fino a 400 m di profondità.

Il *deck*, convenzionalmente, è la parte emersa della piattaforma, dove vengono svolte tutte le attività connesse all'estrazione, composto da strutture modulari e alloggi, nel caso in cui si consideri la presenza occasionale o costante di personale di bordo.

Su tale struttura sono presenti, inoltre, alcuni elementi fondamentali per la maggior parte delle piattaforme:

- Helideck: che permette il trasferimento aereo degli operatori dalla piattaforma a terra e viceversa;
- Gru: utilizzata per il carico e scarico dei componenti;
- Torre di perforazione;
- Teste pozzo: componente necessario per la tenuta e il controllo della pressione all'interno del pozzo stesso;
- Unità di trattamento: fondamentale per eliminare eventuali contaminanti come l'acqua presente nell'idrocarburo estratto che viene successivamente inviato onshore tramite la *sealine*.

Il *jacket*, rappresenta, invece, la parte sommersa di sostegno e ancoraggio al fondale, costituita da un reticolo metallico a forma di tronco di piramide e ai cui estremi sono poste le gambe portanti.

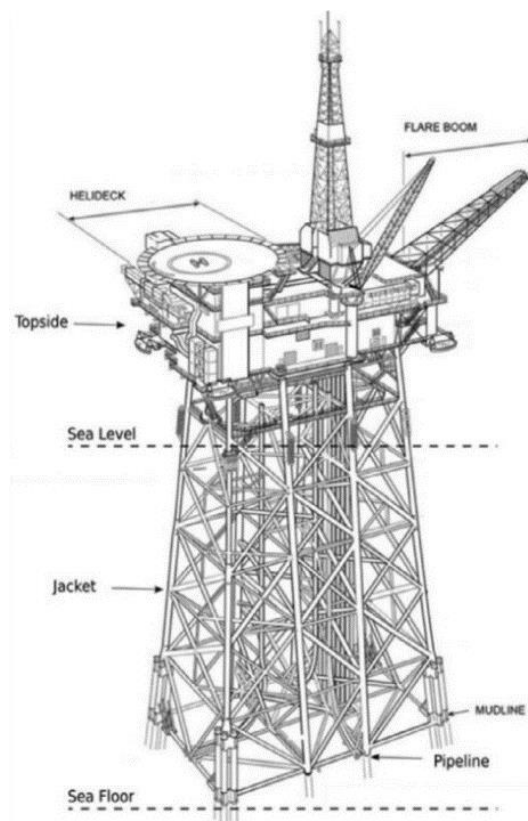


Figura 4: Schema di una struttura jacket di una piattaforma offshore [8].

In generale, nel Mar Adriatico, si può osservare la presenza del 90% delle piattaforme offshore attive ad oggi, che estraggono prevalentemente gas naturale, mentre le rimanenti strutture sono localizzate lungo le coste pugliesi e siciliane, finalizzate in parte all'estrazione di olio.

Tali piattaforme a complessità limitata si presentano con una superficie, nella maggior parte dei casi, compresa tra 300 e 4800 m² ma adatte per bassi fondali, di solito, meno di 80 metri di profondità. Inoltre, sono costituite prevalentemente o da strutture reticolari sorrette da un numero di gambe che va da 3 a 8 o da strutture monotubolari composte da un unico grosso tubo in acciaio che sostiene il deck.

La gran parte delle piattaforme di maggior dimensione è provvista, infine, di un numero di deck pari a 3 o 4 mentre il numero di teste pozzo possono oscillare da 1 a 12 per singola struttura.



Figura 5. Piattaforme Garibaldi C e Garibaldi K a largo di Ravenna [9].

In alcuni casi si possono osservare più piattaforme collegate attraverso dei ponti reticolari, formando dei *cluster*, in grado di suddividere, su più strutture, i processi di trattamento post estrazione, tutte asservite allo stesso giacimento e con un'unica centrale di compressione e trattamento onshore.

1.3. L'attività di decommissioning e riconversione

Con il termine “*decommissioning*” si indica la fase di cessazione delle attività estrattive e l'insieme delle operazioni volte alla dismissione e rimozione delle piattaforme petrolifere.

Tale fase comprende, di solito, sia la chiusura di tutti i pozzi che l'asportazione delle diverse parti di cui è composta la piattaforma, insieme alla fase di bonifica e riqualificazione ambientale del sito interessato. Le operazioni di *decommissioning* prevedono, generalmente, la rimozione del *deck* attraverso l'impiego di mezzi navali di grandi dimensioni con lo smaltimento di una notevole quantità di materia. Il *jacket*, invece, viene rimosso, tagliando la parte reticolare della struttura mediante l'ausilio di mezzi meccanici o esplosivi, con letali effetti sulla fauna marina [10].

Il costo di dismissione di una piattaforma, come si può già evincere, dipende da diversi fattori ma è prevalentemente correlato al peso e alla quantità totale di materiale che deve essere rimosso, considerando che di solito, il tempo che intercorre tra la fine della produzione dell'impianto e la sua rimozione è di diversi anni, per cui la completa asportazione dei materiali, costituisce un ingente onere in termini sia economici che gestionali. Si stima, infatti, che a livello mondiale, tale sfida ingegneristica, costerà all'industria petrolifera e del gas oltre 40 miliardi di dollari [11].



Figura 6: Decommissioning dei topside della piattaforma Miller di BP, Mar del Nord [12].

Infine, lo smantellamento della struttura potrebbe avere ripercussioni significative dal punto di vista ambientale, a causa del fatto che durante la vita utile dell'impianto, le piattaforme modificano l'ambiente marino in cui vengono inserite.

Nel corso dei decenni, diversi studi circa l'impatto delle piattaforme sulla fauna, hanno dimostrato come tali installazioni siano un elemento di certo non deleterio per gli organismi, anzi risultano essere fondamentali per la biodiversità e la colonizzazione di diverse varietà di molluschi [13]. Esse diventano, infatti, parte integrante dell'ecosistema, fornendo, in veste di scogliera artificiale, con la loro struttura in acciaio sommersa, l'habitat ideale per la fauna ittica [14] costituita da pesci e organismi sessili [15].



Figura 7: Ecosistema marino sul jacket della piattaforma petrolifera Eureka al largo di Long Beach, in California [16].

L'attività di rimozione delle strutture O&G presenti in mare da decenni, distruggerebbe, dunque, le comunità biologiche ad esse associate con implicazioni ecologiche di portata regionale.

La perdita di biodiversità, soprattutto, nel caso degli habitat marini, costituisce, infatti, un elemento strettamente interconnesso con il fenomeno del cambiamento climatico poiché come è dimostrato da diverse ricerche scientifiche [17], il mare è un importante serbatoio per la CO₂ antropogenica, poiché assorbe oltre il 25% delle nostre emissioni, mitigando l'impatto dei gas serra.

Inoltre, la scomparsa di tale ricchezza biologica porterebbe il sistema marino ad essere meno resiliente a tali variazioni climatiche, non riuscendo, dunque, più ad adattarsi in maniera efficiente ad eventuali disturbi esterni, raggiungendo il collasso del sistema stesso.

Dunque, proprio per i motivi appena elencati, gli *stakeholders* che si occupano della gestione delle piattaforme a fine vita sono attualmente alla ricerca di soluzioni alternative al completo *decommissioning*. L'obiettivo è, infatti, quello di individuare opzioni in grado di essere compatibili con la transizione in atto, verso un nuovo modello di sviluppo sostenibile che si basa sul considerare, non solo i benefici in termini economici ma anche i potenziali impatti ambientali di un'attività.

Individuare nuove alternative di riconversione della piattaforma O&G, permette, inoltre, di ridurre e ritardare il costo relativo alla suddetta operazione di smantellamento, se si considerano, infatti, valide alternative in grado di estendere l'orizzonte temporale della vita utile della struttura per almeno altri venti anni.

La normativa italiana, a tal proposito, con il D.M. del 15/02/2019, come già citato nel Paragrafo 1.2, permette la possibilità da parte dell'amministrazione competente di autorizzare, dopo attente verifiche, progetti di riutilizzo alternativo all'attività estrattiva, considerando gli impatti sia nella fase di cantiere che in quelle di esercizio e successiva dismissione delle nuove installazioni.

Negli ultimi anni, dunque, grazie alla legislazione vigente che proibisce l'abbandono, ammettendo la possibilità di valutare nuove proposte rispetto alla rimozione totale di tali infrastrutture, sono apparsi numerosi studi e opzioni di riconversione, la maggior parte basate sui principi guida di sostenibilità e compatibilità ambientale della nuova attività.

In linea generale, si può affermare, che la riconversione delle piattaforme, viene effettuata bonificando la struttura preesistente, riqualificandola per scopi differenti rispetto all'attività di estrazione che va dalla produzione (es. sfruttamento di energia da fonti rinnovabili, acquacultura) alle attività ambientali (es. sequestro CO₂, attività di monitoraggio e di ricerca).

1.3.1. Le tre opzioni di riconversione

Negli ultimi anni è sempre più crescente l'interesse nella transizione verso un'economia circolare anche nell'ambito degli impianti giunti al termine della propria esistenza. Le infrastrutture dismesse possono, infatti, in questo modo avere una nuova vita in un futuro sostenibile, riutilizzando i materiali di scarto e minimizzando il consumo di energia e altre risorse [18].

In questo caso, la struttura modulare delle piattaforme offshore, consente l'implementazione di nuovi processi in modo da ridurre i costi e l'impatto ambientale dovuto al completo *decommissioning*. Tale attività, infatti, provoca ripercussioni non solo sull'ecosistema marino ma anche sulla popolazione se si considerano gli effetti legati agli scarichi da smaltire o alle emissioni gassose relative ai processi di demolizione della struttura.

Per questo motivo, sono state avanzate in ambito ingegneristico diverse ipotesi per il riutilizzo delle piattaforme, in linea con la transizione energetica in atto, considerando sia la produzione di energia rinnovabile che il riutilizzo dei giacimenti esauriti per lo stoccaggio di fluidi (es. CO₂ o miscela gas naturale e idrogeno).

Tra le diverse alternative di riconversione, in questo sottoparagrafo, vengono riportate le tre opzioni analizzate all'interno di una serie di progetti di ricerca, finanziati dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con relativi lavori di tesi [19][20][21] nell'ottica di individuazione di un utilizzo alternativo delle piattaforme offshore giunte a fine vite. L'elenco delle alternative progettuali è il seguente:

- Opzione 1 - Progetto di riconversione per installare a bordo della piattaforma un impianto di produzione di energia fotovoltaica (PV) da utilizzare per alimentare un sistema di dissalazione dell'acqua di mare;
- Opzione 2 - Progetto di riconversione per installare a bordo della piattaforma un impianto per riutilizzare il giacimento esaurito come stoccaggio temporaneo di una miscela di CH₄+H₂;
- Opzione 3 - Progetto di riconversione per l'utilizzo del giacimento esaurito come stoccaggio di CO₂.

In linea generale, si considera che la nuova configurazione debba fornire un servizio necessario che giustifichi l'utilità dell'opzione e che sarebbe diversamente fornito in maniera decisamente più impattante dal punto di vista ambientale con maggiori emissioni di gas climalteranti. Nella post-riconversione si ipotizza, inoltre, che la struttura avrà impatti ambientali trascurabili con una considerevole riduzione della *Carbon Footprint* rispetto, soprattutto, alla configurazione ex-ante, in cui l'obiettivo del processo era l'estrazione di idrocarburi. Nelle tre alternative progettuali, si presuppone, infatti, di sfruttare al massimo della loro producibilità le sorgenti di energia rinnovabile, se presenti, rispetto al consumo totale di energia o per lo meno di utilizzare il giacimento presente nel sito come stoccaggio di fluidi essenziali per la transizione energetica, considerando anche di eliminare la CO₂, immessa nell'atmosfera dai grandi emettitori. In riferimento alla possibilità di riutilizzo del giacimento esaurito come stoccaggio geologico di idrogeno o CO₂, si sottolinea l'importanza che tali tematiche ricoprono nelle attuali politiche europee per quanto concerne il raggiungimento degli obiettivi di produzione di energia da fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni. Negli ultimi decenni sono, infatti, in sperimentazione sistemi di stoccaggio sotterranei di anidride carbonica, a titolo di esempio si cita il caso del sito di Sleipner nel Mar del Nord, considerato

il primo impianto CCS offshore al mondo, capace di comprimere ed iniettare nel sottosuolo circa 1 Mt di CO₂ all'anno.

Di seguito, sono analizzati con maggiore dettaglio i tre progetti in esame, considerati come riferimento per la riconversione:

- **Opzione 1:** consiste nell'installazione di un sistema di produzione di acqua dissalata a bordo della piattaforma, alimentato da moduli fotovoltaici. L'acqua salata, infatti, viene prelevata dal mare grazie ad una pompa di pescaggio per poi essere pre-trattata, utilizzando diversi prodotti chimici in modo tale da raggiungere le condizioni chimico-fisiche necessarie per attraversare le membrane del gruppo ad osmosi inversa. I sali disciolti, in questo modo, vengono separati dall'acqua, generando il principale prodotto di scarto del processo, ovvero la salamoia che viene smaltita in mare, in accordo con la normativa vigente. In seguito, il permeato in uscita dal dissalatore viene remineralizzato in modo da ottenere l'acqua potabile, immagazzinata in un buffer intermedio per essere, successivamente trasportata sulle piattaforme limitrofe, in modo da rispondere al fabbisogno idrico di quest'ultime. L'alimentazione elettrica del processo è fornita grazie ad un campo fotovoltaico, opportunamente dimensionato in modo tale da massimizzare la produzione di energia elettrica rinnovabile che viene installato sul deck più alto della piattaforma, chiamato, *weather deck*. Il package di dissalazione è, tuttavia, sovradimensionato, rispetto alla produzione del campo fotovoltaico per cui la rete elettrica viene considerata non solo come fonte alternativa di alimentazione ma anche come sistema di stoccaggio per immettere il surplus di energia prodotta.

In seguito si riportano, i componenti principali dell'impianto:

- Campo fotovoltaico;
- Inverter;
- Trasformatore BT/MT;
- Circuito di pre-trattamento dell'acqua di mare;
- Package di dissalazione;
- Circuito di post-trattamento del permeato;
- Stoccaggio dell'acqua e dei prodotti chimici utilizzati nel processo.



Figura 8: Sistema di dissalazione su una piattaforma Oil&gas [22]

- **Opzione 2:** prevede l'installazione a bordo della piattaforma di un impianto di compressione che sfrutta il giacimento esaurito come stoccaggio temporaneo di una miscela di gas naturale e idrogeno. Tale pratica risulta, infatti, necessaria a rispondere alla variabilità dei consumi, ovvero, ad immagazzinare il gas nei periodi con minore richiesta, come il periodo estivo, in modo da integrare la fornitura nella fase di grande domanda da parte della rete, tipica del periodo invernale.

In questo modo, l'impianto deve essere in grado di lavorare in due modalità a seconda della stagione, ovvero:

- Fase di iniezione della miscela gassosa nel periodo estivo, quando il gas arriva direttamente in piattaforma dalla rete nazionale riutilizzando la *sealine* esistente e viene compresso per essere iniettato in giacimento grazie a due turbocompressori centrifughi.
- Fase di estrazione durante il periodo invernale, in cui il gas, prima di essere immesso in rete, viene trattato in modo da raggiungere condizioni compatibili per il trasporto onshore, riducendo soprattutto l'umidità presente durante l'estrazione dalle teste pozzo. In particolare, la miscela viene elaborata da un separatore che ha la funzione di eliminare l'acqua di strato trascinata dalla corrente di gas, per poi iniettare una soluzione di glicole monoetilenico (MEG) in grado di assorbire tracce di acqua ancora presenti, evitando la formazione di idrati nella sealine. La soluzione di acqua e glicole viene, pertanto, eliminata attraverso un demister, in modo da ottenere, infine, a valle del package di disidratazione, un gas conforme alle specifiche di rete.

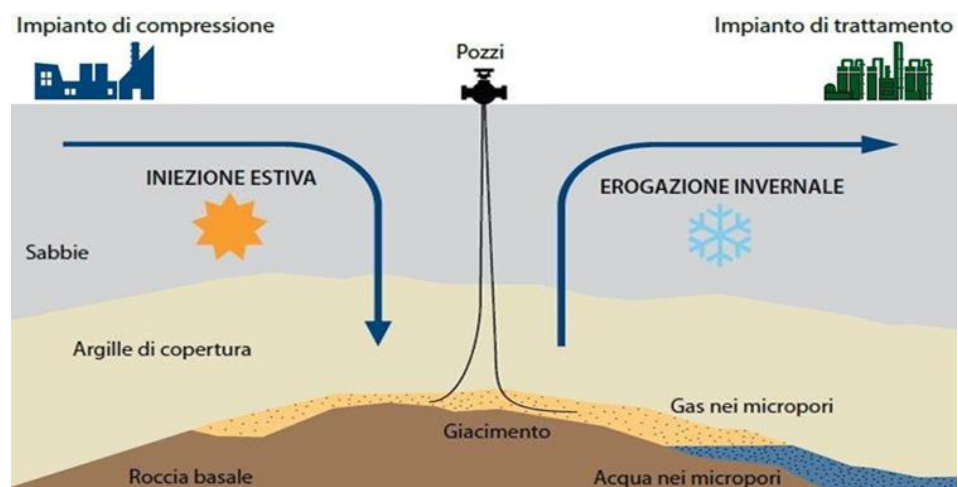


Figura 9: Schema di funzionamento di uno stoccaggio temporaneo [23]

L'utilizzo di una miscela di idrogeno e gas naturale risulta fondamentale in ottica di decarbonizzazione, poiché, aiuterebbe a ridurre la produzione di anidride carbonica derivante dai processi industriali e nel settore dei trasporti, considerando anche il ruolo svolto da quest'ultimo come "vettore energetico". Con l'incremento negli ultimi decenni del contributo relativo alle fonti di energia rinnovabile al mix energetico, sembra infatti fondamentale, considerare a fronte dell'elevata imprevedibilità e irregolarità di tali risorse, l'implementazione di sistemi di accumulo di elevata taglia in grado di bilanciare il gap energetico tra domanda e produzione. La conversione dell'energia elettrica in idrogeno, ovvero, sotto forma di energia chimica, risulta essere la tecnica di stoccaggio energetico più efficiente e facile da implementare per il prossimo futuro. L'idrogeno è inoltre molto facile da trasportare poiché può essere veicolato su infrastrutture già esistenti come la rete

nazionale se miscelato con il metano, per poi essere separato e utilizzato puro negli usi finali. A tal proposito, nel progetto in questione, si considera una miscela composta dal 90% di gas naturale e dal 10% di idrogeno, poiché, tale mix corrisponde alla sperimentazione testata da SNAM nel 2019 quindi pienamente compatibile con i suoi asset già presenti sul territorio nazionale [24]. Come conseguenza di ciò, lo stoccaggio sotterraneo dell'idrogeno (UHS) a medio e lungo termine risulta fondamentale per garantire una capacità di produzione di quest'ultimo su larga scala.

Pur se attualmente tale tecnica non è diffusa a livello commerciale e gli unici progetti al mondo utilizzano per lo stoccaggio di idrogeno puro delle cavità di sale, i giacimenti di idrocarburi esauriti possono considerarsi l'opzione più idonea grazie alla buona integrità strutturale della roccia di copertura e alle infrastrutture superficiali e sotterranee già esistenti [25]. Infine, nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza-PNRR pubblicato dal Governo italiano nel 2021, è utile evidenziare, che sono previste specifiche azioni di incentivazione per favorire la penetrazione nel mix energetico nazionale delle fonti rinnovabili con una attenzione particolare alla produzione, distribuzione e stoccaggio dell'idrogeno, sfruttando anche le aree offshore di coltivazione di idrocarburi ormai dismesse.

- **Opzione 3:** si prevede di installare a bordo della piattaforma un impianto di compressione per l'iniezione di anidride carbonica nel giacimento ormai esaurito e trasformato in sito di stoccaggio. In particolare, la CO₂ viene prelevata onshore allo stato gassoso da un impianto produttivo e arriva in piattaforma riutilizzando la sealine già esistente. Per iniettare il fluido in giacimento vengono installati a bordo degli elettrocompressori centrifughi che garantiscono al fluido una pressione variabile durante tutto il periodo di iniezione.

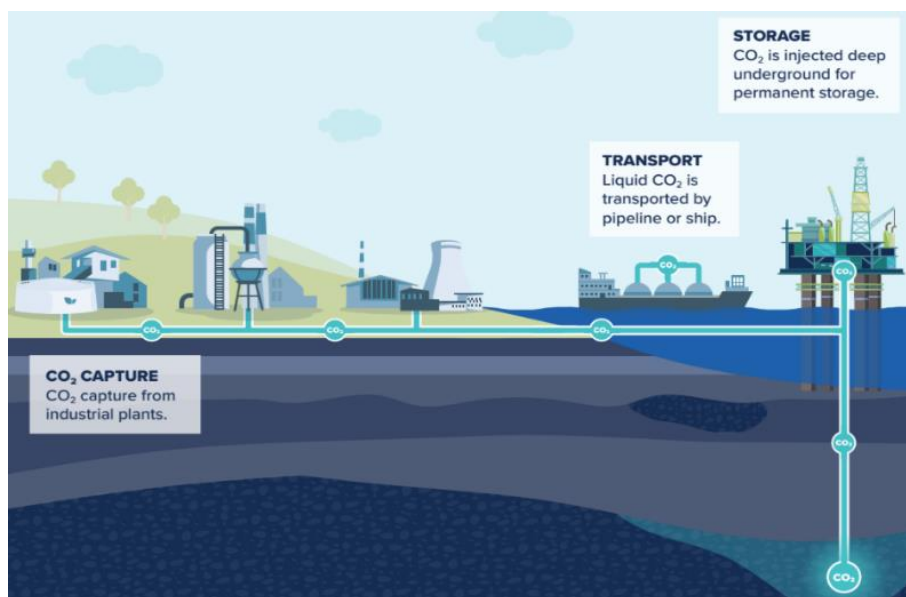


Figura 10: Schema della cattura, trasporto e stoccaggio offshore della CO₂ [26].

La cattura della CO₂ e la sua successiva iniezione (CCS: *Carbon Capture and Storage*) in formazioni geologiche è da considerarsi, attualmente, una delle tecnologie più efficaci per abbattere la concentrazione di anidride carbonica presente in atmosfera. L'anidride carbonica può essere sequestrata da grandi impianti di combustione attraverso diversi processi di cattura, ma attualmente il tasso di stoccaggio secondo le stime del Global CCS Institute [27] è di circa 40 milioni di tonnellate all'anno (Mtpa) lontano dunque da 1,4 miliardi

di tonnellate all'anno utili per raggiungere la *Carbon neutrality*. Proprio per questo motivo, tale opzione si colloca in maniera strategica nell'esponentiale sviluppo negli ultimi anni dei progetti di CCS. Lo stoccaggio dell'anidride carbonica nel sottosuolo è, inoltre, fondamentale anche per renderla eventualmente disponibile per un riutilizzo futuro.

Il trasporto e l'iniezione sotterranea di CO₂, può avvenire sia allo stato gassoso che allo stato supercritico, sfruttando nell'ultimo caso l'elevata densità del fluido che massimizza la capacità di stoccaggio. Nell'opzione in esame, però, si considera di trasportare e iniettare CO₂ allo stato gassoso in modo da sfruttare non solo l'infrastruttura della rete nazionale di distribuzione di gas ma anche per tenere conto delle condizioni di pressione e temperatura del reservoir. Se, infatti, si iniettasse anidride carbonica in condizioni supercritiche, la colonna di fluido ad alta densità porterebbe i fluidi all'interno del giacimento a superare a fondo pozzo la pressione di frattura, per cui è richiesta una pressione di iniezione a testa pozzo inferiore alla pressione critica della CO₂. A causa delle condizioni di temperatura e pressione nel reservoir l'anidride carbonica viene, però, stoccata in condizioni supercritiche, dunque, il fluido cambia fase durante il periodo di iniezione a profondità diverse in funzione della pressione a testa pozzo ma senza mai superare la pressione massima di fondo pozzo.

1.3.2. Filosofia dei progetti di riconversione

Tali opzioni, come già accennato, sono state studiate e definite a livello di progettazione preliminare nelle tesi magistrali di Amedeo Aliberti [19], Giorgio Rech[20] e Francesco Pertuso [21]. Nei presenti lavori si riporta, infatti, un'analisi di fattibilità esclusivamente tecnica analizzando gli aspetti sia ambientali che di sicurezza, sottolineando, inoltre, la concreta convenienza della riconversione rispetto alla dismissione completa della piattaforma, contribuendo in maniera sostanziale alla transizione energetica.

In questo sottoparagrafo, viene riportato un breve riassunto della filosofia di progetto che ha guidato lo sviluppo dei tre *basic design* relativi alla riconversione. In tal modo, è possibile stabilire i principi generali di base che guidano le scelte e le operazioni sia di decommissioning pre-riconversione che quelle post intervento.

Tali studi non essendo, inoltre, finalizzati all'analisi di una specifica struttura offshore in Italia, fanno riferimento ad una piattaforma "tipo", chiamata GREEN1, rappresentativa del panorama italiano [7], per la quale però si dispone di documentazione tecnica di dettaglio in modo tale da realizzare un progetto realistico e applicabile alla maggiore parte delle strutture che saranno dismesse nei prossimi anni.

La piattaforma è stata, dunque, individuata in funzione delle seguenti caratteristiche:

- L'idrocarburo estratto è gas naturale come accade per il 90% delle piattaforme in Italia, individuate per un eventuale riconversione;
- La superficie disponibile sul deck più alto (*Weather deck*), che influenza in maniera significativa il numero dei pannelli fotovoltaici installabili per l'Opzione 1, è pari a 440 m², rappresentativa anche delle piattaforme più grandi dotate di helideck e/o moduli alloggi;

- Il numero di deck utili al posizionamento dei diversi componenti di impianto è pari a 5: il Weather deck, il Mezzanine deck, il Cellar deck, il Lower deck e infine il Boat Landing per l'attracco delle imbarcazioni;
- La struttura reticolare è costituita da 6 gambe e si considera la presenza di 4 teste pozzo, utili per essere sfruttate nello stoccaggio dell'Opzione 2 e 3;
- La piattaforma GREEN 1 si ipotizza essere situata come per la gran parte delle strutture offshore in Italia nel Mar Adriatico ad una distanza dalla costa pari a 18 km, con una ridotta profondità del fondale di 25 metri;
- La produzione della piattaforma è trasportata onshore tramite una *sealine*;
- Osservando i valori statistici di alcuni campi idrocarburici (onshore e offshore) del panorama O&G italiano, si assume come profondità del giacimento 2000 m sotto il livello del mare, con una pressione originaria (*fracture pressure*) di 145 bar e una pressione di inizio stoccaggio pari a 79 bar;
- Infine, facendo riferimento alla piattaforma di Porto Corsini, quale simile a GREEN1, si stima un GOIP (*Gas Originally In Place*) di 600 MSm³.

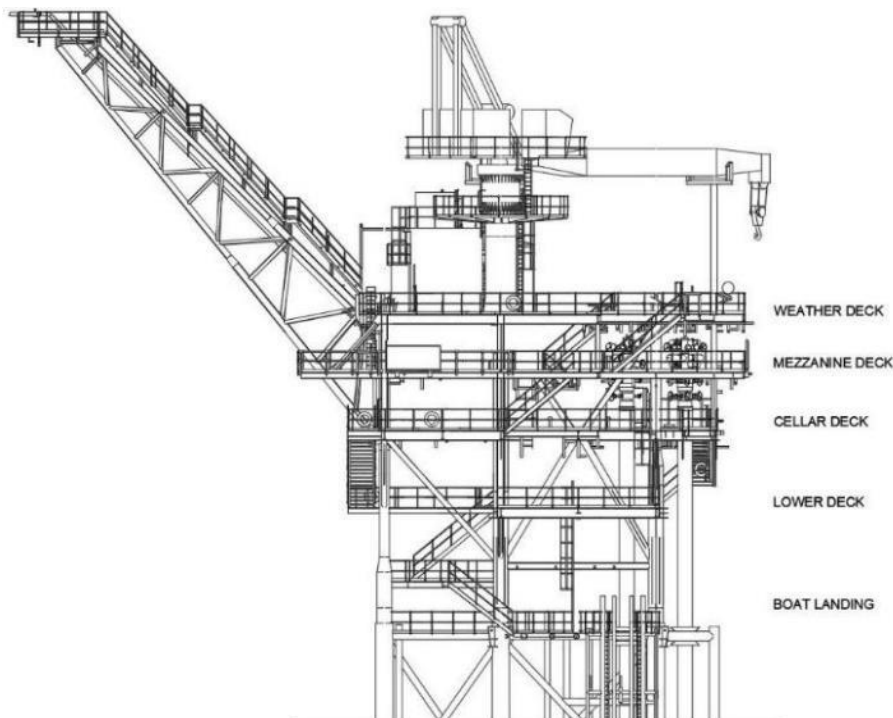


Figura 11: Vista laterale GREEN1

Considerando le tre tipologie di sistemi nella nuova configurazione e la vicinanza alla costa, si sceglie, infine, di supporre la piattaforma non presidiata durante il normale esercizio dell'impianto. Tale decisione porta, inevitabilmente, a ridurre i costi operativi e a minimizzare il rischio relativo alla sicurezza occupazionale del personale, limitando il loro accesso a bordo alle sole periodiche attività di controllo e di manutenzione.

Esaminando le caratteristiche della piattaforma GREEN1, negli studi precedentemente citati, sono stati definiti i punti generali su cui si basa la filosofia dell'attività di decommissioning che precede la riconversione. La prima fase che anticipa l'operazione di rimozione delle apparecchiature presenti a bordo di GREEN1 è, infatti, costituita da una bonifica e messa in sicurezza della piattaforma, in modo da minimizzare l'impatto sull'ambiente.

In particolare, si procede alla verifica con sopralluoghi della struttura e sullo stato delle installazioni, considerando la presenza anche di eventuali sostanze. Tale attività, garantisce la rimozione dei fluidi e permette il drenaggio e la depressurizzazione sia dei macchinari che delle linee presenti. Tutte le sostanze vengono dunque rimosse e smaltite onshore attraverso le procedure definite dalla normativa vigente.

L'obiettivo generale è quello di minimizzare sia l'impatto ambientale che i costi della dismissione degli *equipments* presenti sulla piattaforma, considerando le seguenti linee guida:

- La rimozione dei componenti deve essere condotta in modo da rendere trascurabile l'impatto sulla fauna e flora;
- Gli interventi sui componenti o linee presenti sotto il livello del mare devono essere limitati considerando solo quelli strettamente necessari, in modo da minimizzare ripercussioni sull'ecosistema marino, evitando ulteriore produzione di reflui o emissioni di inquinanti;
- I componenti relativi alla configurazione pre-riconversione sono dismessi solo se la rimozione è necessaria per far spazio a nuovi sistemi;
- L'obiettivo dal punto di vista della resistenza strutturale della piattaforma è quello di non superare, con l'installazione del nuovo impianto, il peso e l'ingombro dei componenti presenti nella precedente configurazione. I nuovi carichi installati sono, dunque, ubicati in modo da minimizzare gli sforzi di taglio sulle travi orizzontali portanti dei deck.

Una volta dimensionati i componenti, per definire il layout del nuovo progetto, si procede alle operazioni di dismissione definendo una strategia di smantellamento della componentistica pre-riconversione, indicando se deve essere mantenuta a bordo o disinstallata per far posto alle nuove apparecchiature.

In linea generale, si può affermare che tutte le strutture non necessarie per il nuovo impianto e che non vengono smantellate sono, infine, messe fuori servizio e bonificate.

Considerando la precedente funzione della piattaforma, finalizzata all'estrazione di idrocarburi, di seguito si riporta un breve riassunto per ogni scenario di riconversione sulle modifiche impiantistiche che vengono richieste per installare i nuovi componenti:

- **Opzione 1:** per collocare il campo fotovoltaico sul Weather deck, si rimuovono tutti i componenti pre-riconversione in modo da massimizzare la superficie disponibile. In particolare viene smantellata la technical room per non compromettere con eventuali ombreggiamenti l'efficienza dei pannelli. La gru viene, invece, mantenuta sulla piattaforma poiché risulta indispensabile per le operazioni di manutenzione e di movimentazione della componentistica. Tutte le apparecchiature relative al trattamento degli idrocarburi, poste su ogni deck, come i sistemi di controllo delle teste pozzo o eventuali tubazioni dismesse, sono completamente rimosse per aumentare lo spazio disponibile. La sealine, in questo caso, viene bonificata e isolata mentre per il giacimento si procede con la chiusura mineraria. Gli stoccaggi già presenti sono riutilizzati per gestire gli scarti di processo del nuovo impianto, inserendo un serbatoio di notevoli dimensioni per contenere l'acqua potabile. Sul Mezzanine deck è, invece, installata una nuova technical room per ospitare la componentistica elettrica (inverter e quadri) necessari al funzionamento dell'impianto fotovoltaico considerando, inoltre, la presenza di un container utile a preservare il trasformatore che consente lo

scambio di energia con la rete elettrica nazionale. Infine, sul Cellar deck, viene installato il package di dissalazione con le unità di pre e post-trattamento.

- **Opzione 2:** il Weather deck, in questo scenario, è dedicato all'installazione del package di compressione utile all'iniezione della miscela di gas nel giacimento, trasferendo la technical room al piano sottostante. La gran parte delle apparecchiature, poste sul Mezzanine deck, legate al trattamento degli idrocarburi, come le teste pozzo con i suoi pannelli di controllo o le tubazioni necessarie per il trasferimento del gas, non vengono rimosse ma riutilizzate nella nuova configurazione. L'ingombro maggiore costituito dal serbatoio di stoccaggio di diesel, necessario ad alimentare i generatori di energia elettrica, viene invece completamente smantellato per far posto alla componentistica elettrica del nuovo impianto. Nei piani inferiori, sono eliminati tutti gli stoccaggi chimici non più necessari mentre viene riutilizzato sia il Test Separator utile alla verifica della composizione del flusso nella fase di erogazione che il Launching Trap per la manutenzione e pulizia della sealine. Infine, nel nuovo spazio disponibile vengono collocati i componenti essenziali per il trattamento del gas estratto dal giacimento attraverso le teste pozzo, prima dell'invio onshore mediante la sealine bonificata.
- **Opzione 3:** sul piano più ampio ovvero il Weather deck, per rendere la struttura della piattaforma il più stabile possibile, non vengono installati nuovi componenti, concentrando i pesi verso il basso, evitando, inoltre, che il principale fluido di processo ossia la CO₂, essendo più pesante dell'aria, in caso di rilascio vada a impattare i piani inferiori. Pertanto, si mantengono a bordo tutti i sistemi necessari come la Technical Room o le teste pozzo posizionate sul Mezzanine deck. In prossimità di queste per minimizzare le perdite di carico, vengono posizionati, inoltre i gruppi di elettro compressione essenziali per iniettare la CO₂ in giacimento. Nei piani inferiori, infine, vengono rimosse la gran parte delle apparecchiature pre-riconversione ad eccezione sia del Test Separator, utile come eventuale tank per una futura estrazione del fluido, che del Launching Trap, con lo scopo di installare il nuovo sistema di stoccaggio dell'anidride carbonica, necessario sia allo smorzamento delle fluttuazioni di pressione che per effettuare uno shut-down controllato del sistema, in caso di guasti improvvisi.

Risulta fondamentale, inoltre, in fase di progettazione per le ultime due opzioni in esame, analizzare le principali caratteristiche che determinano le condizioni di esercizio dell'impianto. Ad esempio, la profondità è considerata la principale forzante per determinare i parametri di temperatura e pressione del fluido immagazzinato e che influenzano a loro volta i meccanismi geofisici, determinando la densità del gas, influenzando la tipologia di materiale utilizzato per realizzare le condotte. La differenza di quota che il fluido subisce quando risale nel pozzo determina, infatti, per l'Opzione 2, il valore di pressione in superficie e dunque la dimensione dei componenti utili nei vari processi. Pertanto è essenziale, caratterizzare il giacimento anche dal punto di vista barometrico, considerando che la pressione del fluido dipende non solo dalla profondità ma anche da altri parametri geofisici. La temperatura che varia anche essa con la profondità è fondamentale d'altra parte per determinare la relazione tra pressione e quantità di gas presente nel reservoir. Durante la fase di iniezione la pressione media all'interno del giacimento varia nel tempo dal valore minimo di fondo pozzo alla pressione originaria del campo idrocarburico, viceversa avviene nella fase di erogazione, determinando comunque un andamento della portata che diminuisce nel tempo. La pressione di testa pozzo è intuibile che sia invece legata al valore a fondo pozzo, tenendo conto degli effetti termofluidodinamici dovuti al passaggio del gas nella condotta.

Nel caso dell'Opzione 3, durante la fase di iniezione si riscontra, inoltre, come criticità il cambio di stato della CO₂ nel pozzo, passando dalla fase gas in condizioni supercritiche. È indispensabile prevedere tale passaggio attraverso un modello termofluidodinamico, in modo tale da evitare che la colonna di fluido ad alta densità porti il giacimento a superare a fondo pozzo la pressione di frattura. Per questo motivo, l'anidride carbonica viene iniettata in condizioni gassose con una pressione di iniezione a testa pozzo inferiore alla pressione critica della CO₂ tenendo presente che il fluido viene stoccato in condizioni supercritiche, dunque, il passaggio di fase durante il periodo di iniezione avviene a profondità diverse in funzione della pressione a testa pozzo senza mai superare la pressione massima ammessa dal giacimento.

Per tutte le opzioni risulta, infine, di particolare interesse, valutare l'integrità delle infrastrutture connesse alla piattaforma che vengono riutilizzate anche nella configurazione post-riconversione. In particolare, si necessita di un'analisi sull'eventuale presenza di anomalie sia della sealine, per le alternative che processano gas, che del cavo elettrico sottomarino. La prima legata agli agenti corrosivi che potrebbero recare difetti agli acciai o l'accumulo di idrati, ostruendo totalmente la pipeline, la seconda correlata alle difficili condizioni operative dell'ambiente marino che impattano negativamente sulle prestazioni del componente.

1.4. Obiettivi della tesi

Il seguente lavoro di tesi si colloca all'interno di un progetto di ricerca che vede coinvolti il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), il Politecnico di Torino, l'Environment Park e la Fondazione Istituto Italiano di Tecnologie.

Tale elaborato, in collaborazione con la collega A. Martini, ha lo scopo di definire partendo dallo studio dei progetti preliminari relativi alle tre opzioni di riconversione, una linea guida basata su una determinata procedura di Analisi multicriterio (AMC), che permette di selezionare in funzione dei dati caratteristici di una qualsiasi piattaforma offshore in dismissione, presente in acque italiane, l'opzione migliore per il suo futuro riutilizzo.

Tramite lo sviluppo di una procedura di analisi sistematica sarà possibile, inoltre, fornire attraverso l'utilizzo di un tool, un ordinamento delle tre opzioni, dalla più favorevole alla meno compatibile con la specifica piattaforma presa in esame. Si considera, infatti, come obiettivo principale di tale tesi, a partire dalla metodologia di analisi, lo sviluppo e il testing di uno strumento informatico utile a supportare le decisioni dei policy maker, indicando quale alternativa, in base al caso studio, rappresenti la soluzione di riconversione più adatta.

1.5. Struttura della Tesi

Nel presente elaborato si riporta, dopo aver riassunto la metodologia di analisi, lo sviluppo e l'applicazione dello strumento informatico utile a supportare le decisioni dei *policy maker*, cercando di razionalizzare il processo di scelta dal punto di vista della fattibilità tecnica. Puntualizzando, inoltre, che per un'analisi di dettaglio della definizione della linea guida, si rimanda al lavoro di tesi magistrale di A. Martini **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Di seguito, viene riportata la struttura di questo lavoro, considerando le diverse fasi che hanno permesso di identificare sia lo sviluppo della linea guida che la definizione del tool.

Il capitolo 2 è dedicato alla definizione teorica della metodologia tecnico-ingegneristica su cui si basa l'individuazione del livello di adattabilità della piattaforma analizzata in input rispetto alle tre opzioni di riconversione. Nell'ambito, dunque, di tale capitolo, viene riportata una panoramica dei criteri di valutazione, suddivisi in macro categorie, sulla base della filosofia dell'attività di riconversione. Infine, a ciascun criterio viene assegnato un indicatore di importanza, determinando quali di questi siano vincolanti o meno per la realizzazione di un'opzione.

Il capitolo 3 si focalizza, invece, sull'analizzare parte dei criteri di dettaglio, definendo, in particolare, per ciascuno di essi, sia i range di grandezze associati ad ogni indice che il relativo peso, riguardante l'utilità che tali caratteristiche ricoprono per rendere realizzabile una delle tre opzioni di riconversione.

Il capitolo 4 verte sulla definizione del modello di correlazione indice/peso su cui si basa la procedura di analisi decisionale, ossia il metodo della somma pesata (*Weighted Sum Method-WSM*). In secondo luogo, viene analizzato il processo utilizzato per implementare tale modello all'interno del tool, codificando gli indici e normalizzando i pesi.

Il capitolo 5 descrive, in dettaglio, i passaggi fondamentali di sviluppo del tool, in grado di rendere automatica l'analisi definita nei capitoli precedenti. Viene illustrata, inoltre, la logica ingegneristica su cui si basa l'applicazione e vengono rappresentate graficamente le operazioni che l'algoritmo deve eseguire per calcolare l'output finale.

Nel capitolo 6, il tool è stato validato attraverso un'analisi completa dei dati di input relativi alla piattaforma "tipo", GREEN1, rappresentativa del panorama italiano. Per compilare i campi richiesti per i tre scenari di riconversione è stata presa come riferimento la documentazione tecnica disponibile nei *basic design*, considerando che, in alcuni casi, in mancanza di informazioni, siano state effettuate delle ipotesi il più possibile realistiche.

Il capitolo 7, si focalizza, sui risultati ottenuti, una volta ultimato il processo di valutazione per il caso applicativo, in modo da validare la procedura di analisi implementata nel tool. Vengono riportati graficamente gli output principali, determinando l'alternativa migliore e discutendo i punti di forza e i limiti di ogni progetto preliminare analizzato. Nell'ambito di tale capitolo, viene presentata, inoltre, sia un'analisi comparativa rispetto alla piattaforma "ideale" più performante che gli esiti in termini di incertezza ottenuti considerando un certo grado di indisponibilità dei dati numerici.

Il Capitolo 8, infine, contiene le considerazioni conclusive tratte dal lavoro svolto, sottolineando sia le criticità che i futuri sviluppi della seguente linea guida.

L'attività è stata svolta nell'ambito del tirocinio effettuato presso la società di ingegneria RAMS&E S.r.l. di Torino.

2. Definizione della metodologia di analisi tecnico-ingegneristica

Il seguente capitolo riporta prima di tutto, il contesto in cui la linea guida di riconversione delle piattaforme offshore può essere applicata, definendo inoltre anche gli obiettivi di tale progetto. Successivamente vengono riportati gli step principali della metodologia di analisi implementata, tenendo presente anzitutto le famiglie di macro-criteri su cui si basa la filosofia dei progetti di riconversione, attribuendo, inoltre, ad ogni caratteristica di dettaglio la relativa scala di priorità per la realizzazione di una o più opzioni.

2.1. Campo di applicazione della linea guida

Tale linea guida è finalizzata a valutare la fattibilità tecnica della riconversione di piattaforme offshore esistenti in Italia, considerando l'attuazione su ciascuna di esse delle tre opzioni progettuali presentate nel capitolo precedente, tenendo presente, inoltre, che ciascuna alternativa può essere più o meno vantaggiosa in funzione del caso studio esaminato.

L'obiettivo dell'analisi e dello strumento informatico utile nella fase decisionale è quello di individuare una percentuale di adattabilità per le tre opzioni di riconversione in funzione della piattaforma presa in esame. In questo modo, si potrà supportare nelle decisioni gli stakeholders coinvolti nello studio, indicando sulla base di criteri di natura prettamente tecnico-ambientali, quale alternativa rappresenti la soluzione più adatta per la specifica infrastruttura offshore, mettendo in luce non solo l'effettiva convenienza tecnica di quell'opzione rispetto alle altre, che garantisce in maniera continuativa nel tempo un'ottima capacità produttiva, ma anche il fondamentale contributo che il progetto individuato fornisce in ottica di sostenibilità ambientale per garantire una nuova vita all'infrastruttura offshore presa in esame.

Prima di procedere con la descrizione dettagliata della metodologia, è essenziale descrivere il contesto nel quale tale analisi viene applicata. Di conseguenza, qui di seguito vengono definiti i criteri fondamentali da cui derivano le ipotesi alla base dello studio:

2.1.1. Contesto normativo e piattaforme adatte alla riconversione

La linea guida è finalizzata a supportare l'analisi di fattibilità sulla potenziale riconversione di piattaforme offshore italiane che saranno auspicabilmente oggetto di un piano di riutilizzo secondo il D.M. del 15 febbraio 2019 [6]. Tale decreto, infatti, all'art.5 prevede che la DGIS (Direzione generale infrastrutture e sicurezza) del MASE, previo parere tecnico della sezione UNMIG (Ufficio nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse), valuti se nell'Elenco delle piattaforme da dismettere minerariamente [29], che viene periodicamente aggiornato, vi siano infrastrutture in condizioni tali da permetterne il riutilizzo con scopi diversi dall'attività mineraria di estrazione di idrocarburi. Pertanto, la normativa diventa essenziale per giustificare il senso delle linee guida, in quanto stabilisce l'effettiva possibilità di riconversione delle piattaforme. Inoltre, partendo dall'elenco valutato dal MASE, sono state scartate dal seguente studio le strutture di scarso interesse per i tre progetti preliminari di riferimento, ossia le monotubulari, bitubulari e le teste pozzo sottomarine

Tale esclusione è legata alle ridotte dimensioni o all'assenza dei deck di fondamentale importanza non solo per l'Opzione 1 poiché permette l'installazione di un campo fotovoltaico più ampio ma anche per favorire per l'Opzione 2 e 3 la collocazione a bordo della nuova componentistica. Inoltre, per tali strutture marine si riscontra un ridotto numero di teste pozzo, parametro fondamentale per le opzioni che sfruttano il giacimento esaurito come stoccaggio.

2.1.2. Limiti di batteria dell'impianto

La determinazione dei limiti di batteria è essenziale per stabilire quali siano gli elementi di impianto che devono ricadere nell'analisi di riconversione. Si specifica, infatti, che oltre alla struttura della piattaforma e al sistema impiantistico installato a bordo, con il relativo pozzo di stoccaggio, si considerano entro i confini del sistema anche la sealine e il cavo elettrico sottomarino.

In fase di iniezione/erogazione del flusso di gas in giacimento per le Opzioni 2 e 3, viene, infatti, riutilizzata la condotta marina già esistente come collegamento tra la terraferma e la piattaforma, analizzando, ai fini della riconversione dell'infrastruttura, la compatibilità al trasporto di nuovi fluidi come la miscela di metano e idrogeno prelevata/consegnata dalla/alla rete nazionale o il flusso di anidride carbonica proveniente dall'impianto di cattura.

Il cavo elettrico sottomarino connette, invece, la piattaforma alla rete onshore, trasportando in maniera efficiente l'energia utile a soddisfare il fabbisogno dell'impianto o per sfruttare nel caso dell'Opzione 1 la rete elettrica nazionale, anche, come sistema di accumulo.

In Figura 12, viene raffigurato il diagramma a blocchi del sistema in esame, in modo da permettere in maniera semplice e intuitiva di identificare i principali componenti analizzati nei progetti di riconversione.

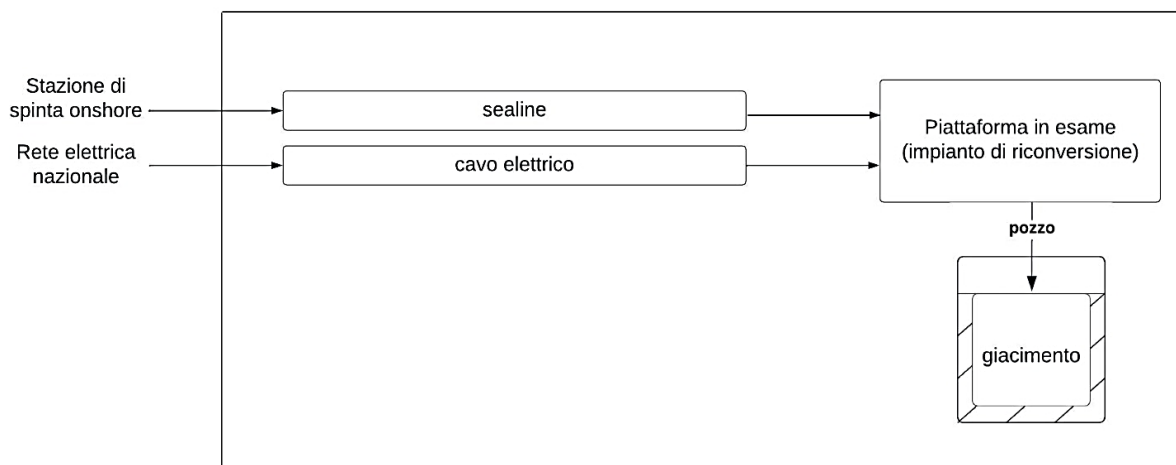


Figura 12: Diagramma a blocchi del sistema in esame

Il limite di batteria dello studio include la piattaforma, il giacimento su cui opera e i collegamenti a terra ovvero sealine e cavo elettrico. A seconda dell'opzione di riconversione, a causa delle differenti finalità impiantistiche, vengono considerati durante il processo componenti diversi, in particolare:

- **Opzione 1:** per questo impianto, non prevedendo lo stoccaggio di fluidi, la sealine e il giacimento non vengono utilizzati, per cui i limiti di batteria sono esclusivamente da

ricondersi al cavo elettrico e alla piattaforma in esame. L'impianto di dissalazione è alimentato dal campo fotovoltaico installato sul weather deck. Il cavo elettrico ottimizza, infatti, le prestazioni del sistema di dissalazione, cedendo alla rete nazionale, l'energia elettrica in eccesso prodotta dall'impianto fotovoltaico oppure prelevandola quando la produzione è inferiore alla domanda, in modo da soddisfare il carico.

- **Opzione 2:** nel periodo di iniezione, la miscela blended viene compressa onshore e inviata attraverso la sealine sulla piattaforma. Tramite l'impianto di iniezione installato a bordo dei deck il gas viene nuovamente compresso e iniettato nel giacimento attraverso le teste pozzo. Al contrario, nel periodo di erogazione, il flusso viene prelevato dal giacimento e opportunamente elaborato in modo da avere condizioni di pressione, temperatura e umidità compatibili per il trasferimento onshore, attraverso la sealine. Pertanto come limiti di batteria si considerano la sealine, il cavo elettrico e il giacimento.
- **Opzione 3:** il flusso di CO₂ viene compresso onshore e inviato attraverso la sealine sulla piattaforma. Tramite l'impianto di iniezione installato a bordo, l'anidride carbonica viene nuovamente compressa e iniettata nel giacimento attraverso le teste pozzo e i pozzi già presenti sulla piattaforma. Dunque, a questo riguardo, si identifica come limite di batteria: per l'ingresso del sistema, l'arrivo della sealine e del cavo sottomarino; come punto di uscita lo sbocco del pozzo nel giacimento.

2.2. Linee guida: Definizione della metodologia di applicazione

Per raggiungere lo scopo del seguente studio è stata definita una metodologia tecnico-ingegneristica su cui si basa la linea guida sulla riconversione delle piattaforme offshore, che può essere articolata nelle seguenti fasi:

- *Definizione dei criteri di valutazione:* per determinare se una piattaforma può essere adattata a una specifica opzione di riconversione è cruciale identificare le caratteristiche generali rilevanti per la riconversione → CRITERI;
- *Definizione dell'importanza di ciascun criterio:* le caratteristiche descritte dai criteri differiscono per la loro importanza. Pertanto, è essenziale definire quali di queste sono vincolanti e indispensabili per l'implementazione di un'opzione di riconversione;
- *Attribuzione a ciascun criterio di un indice:* sono stati definiti degli indici per valutare le caratteristiche delineate dai criteri, al fine di comprendere se tali attributi sono effettivamente presenti e valorizzati dalla piattaforma oggetto di studio;
- *Stima dei pesi da attribuire a ciascun criterio:* per i criteri non vincolanti è stata individuata una scala d'importanza, diversa per ogni opzione di riconversione, al fine di determinare quali caratteristiche delineate dai criteri siano più rilevanti per l'implementazione di un'opzione di riconversione;
- *Metodo di correlazione indici/pesi:* è stata definita una metodologia necessaria a collegare i due step precedenti e poter raggiungere l'obiettivo finale;
- *Elaborazione ed interpretazione dei risultati finali attraverso l'implementazione della metodologia nel tool:* il processo di analisi viene implementato in un software sviluppato appositamente per questo studio, in modo da poter ottenere come output finale, il livello di adattabilità riferito a ciascuna opzione di riconversione per la piattaforma in esame. L'utilizzo di uno specifico algoritmo consente di esaminare in modo critico i dati inseriti dall'utente, al fine di identificare la soluzione ottimale di riconversione.

Ogni step appena elencato sarà descritto, inoltre, in dettaglio nei paragrafi e capitoli successivi.

2.2.1. Dai progetti basic alla definizione dei criteri di valutazione

Innanzitutto, è necessario definire i criteri di analisi, ovvero le caratteristiche di tipo qualitativo o quantitativo con le quali vengono poi valutate le alternative progettuali. In particolar modo, i criteri di dettaglio, che vengono valutati in base agli studi effettuati dall'analista, possono essere raggruppati in macro categorie generali, ovvero famiglie di criteri che identificano uno specifico ambito disciplinare e che consentono di effettuare un'analisi completa dei progetti. Nel caso in questione, per esempio, i criteri vengono suddivisi in base alla filosofia di riconversione delle piattaforme O&G offshore definiti nei precedenti studi, considerando sia i diversi aspetti di sostenibilità ambientale che le relative caratteristiche tecniche. Come si può vedere in Tabella 1, per lo sviluppo dell'analisi sono state considerate, ad esempio, sei macro categorie che esprimono i principi cardine relativi alla realizzazione di un'opera di riconversione, a sostegno della transizione energetica, come quella in esame. Per definire il livello di adattabilità è stato necessario individuare, infatti, dei criteri frutto di un'analisi approfondita delle tre opzioni, che riflettono, inoltre, lo sviluppo

dei singoli progetti, introducendo, inoltre, la filosofia HSE che stabilisce ad alto livello i principi generali per la sicurezza, la salvaguardia dell'ambiente e degli asset della nuova installazione. L'insieme delle macro categorie racchiude diversi aspetti legati ad esempio ad alcuni punti chiave tratti nello sviluppo delle soluzioni di riconversione:

- Valutazione degli impatti ambientali derivanti dal normale funzionamento della piattaforma, facendo riferimento all'analisi ambientale sviluppata nei progetti basic;
- Individuazione dei pericoli, stabilendo il contesto in cui si opera, la struttura e le modalità operative, selezionando gli eventi che richiedono un'analisi quantitativa con stime numeriche sulle conseguenze di potenziali scenari incidentali associati all'impianto, come rilasci di sostanze pericolose, incendi o esplosioni, riprendendo l'analisi di sicurezza svolta nei precedenti studi;
- Caratterizzazione territoriale del sito di interesse, identificando gli aspetti climatici, sismici e relativi allo studio del giacimento, per esaminare l'impatto sull'integrità dell'asset tenendo conto dei possibili scenari incidentali legati alle estreme condizioni ambientali individuati nell'analisi HAZID dei progetti di riconversione o gli effetti che alcune caratteristiche potrebbero avere sulla produzione dell'impianto, come la radiazione solare richiesta per la produzione di energia elettrica attraverso i pannelli fotovoltaici o le caratteristiche del campo idrocarburico per massimizzare lo stoccaggio dei fluidi;
- Stima della riduzione delle emissioni di CO₂ al fine valutare il contributo al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale delle nuove infrastrutture di elevato interesse per la transizione energetica in atto;
- Studio degli impatti ambientali correlati alla fase di parziale smantellamento dei componenti preesistenti, tenendo presente i principi generali della filosofia di decommissioning che guidano le operazioni preparative alla riconversione, su cui si basa, inoltre, lo sviluppo dei progetti basic. In generale, per garantire la sostenibilità delle alternative esaminate si ritiene prioritario, ad esempio, minimizzare la produzione di rifiuti, incrementando la percentuale di quelli riciclabili;
- Valutazione tecnica e strutturale dei componenti installati sulla piattaforma e delle infrastrutture connesse come la sealine e il cavo elettrico sottomarino, in modo da garantire l'affidabilità dei componenti e la produzione continuativa dell'impianto post-riconversione, minimizzando gli eventuali impatti legati alla rimozione o installazione degli equipment. Sulla base della strategia di dismissione parziale adottata nei tre studi preliminari, viene, inoltre, effettuate una verifica qualitativa della struttura, attraverso un'analisi preliminare comparativa tra la configurazione pre e post-riconversione.

Tabella 1: Macro categorie per la valutazione

| | MACRO CATEGORIE |
|----------|---|
| 1 | Aspetti ambientali |
| 2 | Aspetti di sicurezza |
| 3 | Compatibilità ambientale e territoriale |
| 4 | Utilità opzione |
| 5 | Attività di riconversione e decommissioning |
| 6 | Tecnologie e Design |

In totale i criteri di dettaglio individuati e analizzati sono 66 e riportati sotto forma di elenco in allegato.

Di seguito, vengono analizzate le macrocategorie, definite in precedenza:

- **Aspetti ambientali:** sono legati all'attività produttiva della piattaforma in analisi e permettono di valutare, per ogni opzione, quali aspetti hanno impatti significativi sull'ambiente rispetto ad altri. La loro identificazione permette, inoltre, di gestire al meglio l'impianto nel normale esercizio dal punto di vista ambientale, minimizzandone l'effetto sulla flora e la fauna. Gli step seguiti per individuare tali aspetti sono stati:

- Identificare la fase operativa in cui opera il sistema, in questo caso per esempio si considera la *normal operation* dell'impianto;
- Identificare e selezionare gli aspetti ambientali predominanti nella fase analizzata.

Inoltre, come più volte ripetuto, poiché le tre opzioni di riconversione si collocano nell'ottica di transizione energetica e sostenibilità ambientale, per accentuare l'idea di fondo di minimizzare gli effetti che una nuova infrastruttura, cosiddetta "green", può avere sull'ambiente, è stata presa in considerazione una definizione dei criteri basata su una comparazione qualitativa tra gli aspetti ambientali post e pre-riconversione.

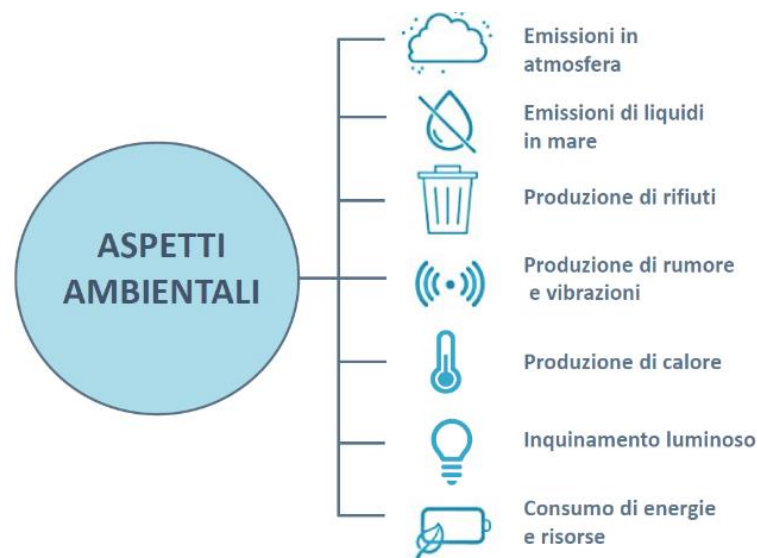


Figura 13: Elenco aspetti ambientali potenzialmente applicabili

Come si può notare in Figura 13, per determinare i criteri di dettaglio legati agli aspetti ambientali è stato preso in esame un elenco proposto dalla norma UNI EN ISO 14001, che definisce i requisiti di un Sistema di Gestione Ambientale (SGA), prendendo, però, in considerazione solo quelle caratteristiche potenzialmente significative per l'attività correlata alla nuova infrastruttura. Per tutte le fasi, dunque, anche per quella di decommissioning e riconversione, che verrà analizzata in seguito, si considerano i seguenti aspetti ambientali:

Fase operativa: Normale operazione

- *Emissioni di gas e vapori in atmosfera:* legata, per esempio, ai fumi di scarico delle imbarcazioni a servizio della piattaforma o dei package di compressione per effettuare lo stoccaggio in giacimento, i quali rilasciano in atmosfera gas climalteranti come CO₂ o inquinanti quali CO, SO₂, NO_x, ecc.

- *Emissioni di liquidi in mare*: per esempio, i drenaggi o l'acqua di raffreddamento del circuito secondario del sistema di compressione o dei motori delle imbarcazioni di supporto alla piattaforma.
- *Emissione di liquidi in mare non presenti nella fase di pre-riconversione*: legati agli scarichi di sostanze pericolose per la fauna e la flora marina o rilascio di acqua di mare con caratteristiche chimiche e fisiche alterate come nel caso della salamoia prodotta dal package di dissalazione.
- *Produzione di rifiuti*: con impatto trascurabile nella fase operativa, rispetto al decommissioning, anche grazie alla mancanza di personale a bordo della piattaforma, correlata dunque, esclusivamente, alla sostituzione di alcune apparecchiature durante la vita dell'impianto.
- *Produzione di rumore e vibrazioni*: dovuto alle parti in movimento dell'impianto di dissalazione o al package di compressione utile all'iniezione dei fluidi in giacimento;
- *Produzione di calore*: anche se non è attesa direttamente dal processo, si può considerare correlata agli scarichi di fluidi caldi in ambiente;
- *Inquinamento luminoso*: dovuto alle luci di segnalazione della piattaforma che sono accese continuamente e potrebbero, in caso di illuminazione non conforme, essere potenzialmente pericolose sia per le specie fotosensibili che per i mezzi aerei;
- *Consumo di energie e risorse*: legato, ad esempio: all'alimentazione dell'impianto tramite la rete elettrica nazionale, all'utilizzo di combustibile per movimentare sia la gru che le imbarcazioni a servizio della piattaforma, al consumo di acqua di mare da fornire al sistema di dissalazione, all'impegno di Glicole Monoetilenico (MEG) per assorbire le tracce di acqua rimaste nella corrente di gas nella fase di erogazione o all'utilizzo di parte della miscela per alimentare il package di compressione e altri ausiliari.

Si precisa, inoltre, che nella definizione dei criteri di dettaglio, in maniera rigorosa, non è stata considerata la possibilità di superamento dei limiti di legge relativo a nessun parametro ambientale.

- **Aspetti di sicurezza**: sono connessi all'identificazione dei rischi legati alle deviazioni di processo, durante le diverse modalità operative dell'impianto. In particolar modo, la loro individuazione permette di gestire in sicurezza l'infrastruttura nei diversi contesti in cui opera, identificando i pericoli connessi ad ogni attività e valutando i rischi ad essi associati. Tenendo presente che il rischio legato alla sicurezza occupazionale è minimizzato, poiché si presuppone che a bordo della piattaforma non vi sia la presenza di nessun operatore durante le normali operazioni ma che il loro accesso a bordo è limitato alle sole attività periodiche di manutenzione e controllo, nel caso in esame, si è focalizzata l'attenzione, soprattutto, nella definizione dei criteri fondamentali per la sicurezza di processo, con l'obiettivo di valutare i pericoli associati alle sostanze presenti nell'impianto. Sono stati considerati, pertanto, come riferimento i principi tecnici stabiliti dalle Linee guida per la redazione della Relazione sui Grandi Rischi (RGR) [30] prevista dal Dlgs. 18 Agosto 2015, n.145 riguardante la "Sicurezza delle operazioni in mare nel settore degli idrocarburi" [31]. In particolare, poiché il primo step dell'analisi di rischio è proprio quello di identificare e valutare i pericoli connessi alle diverse attività dell'impianto, per definire i primi criteri di

la producibilità dell'impianto fotovoltaico, legata al dato locale di radiazione solare media o i parametri relativi allo studio del giacimento esausto.

- **Utilità opzione:** analizzando la strada tracciata a livello europeo da parte della Commissione, attraverso la pubblicazione nel dicembre 2019 dell'*European Green Deal* [33], sono stati identificati alcuni criteri fondamentali per comprendere quanto le tre opzioni di riconversione siano effettivamente in linea con gli attuali obiettivi in termini di sostenibilità ambientale. In particolar modo, come si può osservare in Figura 15, è stato considerato come punto cardine dell'analisi, lo scopo ultimo dei nuovi piani energetici a livello nazionale, ovvero la riduzione netta delle emissioni, in tutti i settori, in modo da raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

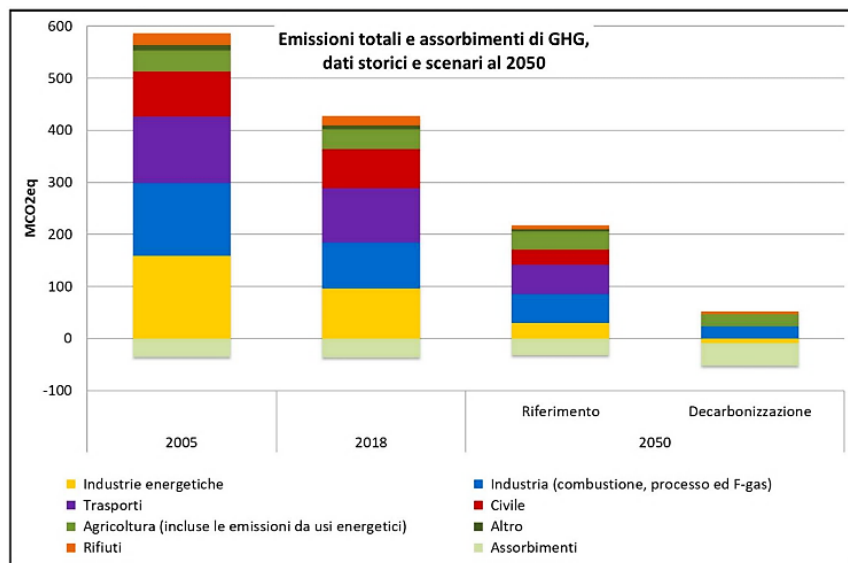


Figura 15: Emissioni totali e assorbimenti di gas serra nei dati storici, nello scenario PNIEC, nello Scenario di riferimento al 2050 e nello Scenario di decarbonizzazione al 2050 [34].

Il nuovo modello energetico sarà basato, infatti, sullo sviluppo di infrastrutture funzionali al raggiungimento degli obiettivi, come reti a idrogeno o sistemi di stoccaggio della CO₂. Come più volte ribadito dall' IPCC [1] è, fondamentale, però, far sì che la riduzione delle emissioni dovuta all'incentivazione di tecnologie che supportano la transizione verso l'energia pulita sia accompagnata da assorbimenti di carbonio sempre maggiori, per compensare non solo le emissioni inevitabili ma per raggiungere nel caso ottimistico anche emissioni negative. Proprio per questo motivo, tra i criteri definiti in questo ambito, è stato dato molto peso nel considerare:

- la quantità di CO₂ evitata attraverso il nuovo impianto rispetto alle condizioni di pre-riconversione, per sottolineare il vantaggio in termini di riduzione dell'impronta di carbonio delle diverse alternative progettuali;
- la quantità di CO₂ catturata dal sistema CCS, se presente nel progetto in esame.

- **Attività di riconversione e decommissioning:** si analizzano le attività legate al parziale decommissioning e riconversione dell'infrastruttura preesistente, andando a individuare quelli che sono gli impatti ambientali durante le diverse operazioni.

Considerando sia la fase di rimozione dei componenti per far posto ai nuovi equipment che all'installazione della nuova componentistica, si fa riferimento in particolare, a tre diverse attività:

- Bonifica dei componenti di impianto presenti sulla piattaforma;
- Rimozione e demolizione delle attrezzature di bordo non utili per il nuovo impianto;
- Smaltimento e recupero del materiale di demolizione.

Per definire i criteri di dettaglio, si è inoltre, tenuto conto di aspetti differenti che caratterizzano l'ambito della salvaguardia ambientale, sia in termini quantitativi che qualitativi. Come già citato precedentemente, anche per la fase di decommissioning e riconversione, sono stati presi in esame gli aspetti riportati in Figura 13, ritenendo come significative rispetto alla *normal operation*, soprattutto, le caratteristiche legate all'ingente produzione di rifiuti da smaltire o l'elevato consumo di energia primaria durante le operazioni in mare. Di seguito si riportano, gli aspetti ambientali, considerati in questa fase:

Fase operativa: Decommissioning e riconversione

- *Emissioni di gas e vapori in atmosfera:* emissioni legate alla movimentazione di imbarcazioni di grandi dimensioni che stazionano nei pressi della piattaforma per un tempo prolungato o dovute alla movimentazione della gru tramite l'utilizzo di un motore diesel o rilasci di miscela di gas e azoto, legati alla bonifica di parti di impianto;
- *Emissioni di liquidi in mare:* ad esempio, il rilascio dell'acqua di raffreddamento dei motori delle imbarcazioni a supporto della piattaforma;
- *Produzione di rifiuti:* legati alla rimozione e recupero di materiale ferroso, dei componenti elettrici, di materiale da coibentazione o dovuti allo smaltimento di liquidi e reflui di bonifica;
- *Produzione di rumore e vibrazioni:* dovuti alla movimentazione della gru, all'utilizzo di imbarcazioni di grandi dimensioni per un tempo prolungato o all'installazione temporanea di apparecchiature per operazioni di taglio;
- *Produzione di calore:* anche se non è attesa direttamente dal processo, si può considerare correlata agli scarichi in ambiente;
- *Inquinamento luminoso:* dovuto alle luci di segnalazione della piattaforma e delle imbarcazioni che operano nelle vicinanze di quest'ultima, rischiando, in alcuni casi, di compromettere il ciclo sonno-veglia di alcune specie acquatiche o impattare sulle rotte dei velivoli;
- *Consumo di energie e risorse:* legato all'utilizzo, durante la fase di decommissioning, di apparecchiature temporaneamente installate in piattaforma o al consumo di azoto per effettuare la bonifica degli *equipment*.



Figura 16: Decommissioning della piattaforma Brae Alpha tramite l'impiego di una nave gru semisommersibile, Mar del Nord [35].

- **Tecnologie e Design:** tali criteri descrivono le principali caratteristiche tecnologiche e strutturali della piattaforma e delle infrastrutture ad essa connesse che possono risultare fondamentali per definire il livello di adattabilità rispetto alle tre opzioni di riconversione. Al fine di ottenere un efficace riutilizzo della struttura, non si ritiene necessario, infatti, installare imponenti opere infrastrutturali per nessuna delle alternative progettuali prese in analisi, perciò, è necessario in tutti i casi verificare l'integrità dei materiali relativi ai componenti funzionali in modo da garantire l'affidabilità a lungo termine delle strutture marine, degli impianti e delle condutture.

In particolare, tra i criteri analizzati in questa categoria, in maniera esemplificativa, si riporta la presenza del cavo elettrico sottomarino funzionante e collegato alla rete elettrica nazionale, fondamentale per soddisfare il fabbisogno di energia della piattaforma. Tale aspetto viene, infatti, analizzato dal momento che la maggior parte delle strutture offshore, in acque italiane, si serve di un'alimentazione elettrica esterna dunque risulta essenziale tener conto di un eventuale impatto negativo dal punto di vista economico e ambientale, legato alla riparazione del cavo, se non funzionante, o nel caso estremo, anche, di installazione ex novo.

Considerando, le difficili condizioni operative tipiche dell'ambiente marino e dell'esposizione ad elementi deterioranti che agiscono negativamente sulle prestazioni di alcuni componenti, viene analizzata, inoltre, l'integrità e l'adattabilità della *sealine* con il trasporto dei nuovi fluidi previsti dalle opzioni di riconversione. Anche tale tubazione, infatti, rientra nei limiti di batteria dell'impianto, per cui è necessario esaminare l'eventuale presenza di anomalie o difetti, legati per esempio ad agenti corrosivi, tramite il passaggio al suo interno di strumenti idonei all'attività di ispezione o manutenzione come il PIG (*Pipeline Inspection Gauge*).



Figura 17: Riproduzione grafica 3D di una sealine a servizio di una piattaforma offshore [36].

In generale, la maggior parte delle *sealine*, che trasportano gas naturale collegate a strutture offshore, sono costituite da acciai al carbonio con elevata resistenza meccanica, rivestite con uno strato catodico anticorrosivo esterno e appesantite con calcestruzzo retinato [37]. Dunque, nel momento in cui la condotta preesistente viene riutilizzata per il trasporto di nuovi fluidi come il *blending* di idrogeno e gas naturale o il flusso di anidride carbonica, è fondamentale considerare come criterio, se tale tubazione è compatibile o meno anche per la nuova configurazione.

Ad esempio, nel caso della CO₂ la maggior criticità nel trasporto è dovuta alla presenza di acqua liquida nel flusso di gas, superiore al 60% del valore di saturazione [38]. Essa, infatti, porta sia alla formazione di acido carbonico, incrementando drasticamente i processi corrosivi degli acciai, che alla generazione di idrati, ovvero, composti solidi simili al ghiaccio, che possono, dunque, accumularsi ostruendo totalmente la *pipeline* [39]. Per evitare tali problematiche, presenti anche nel trasporto del *blending* di idrogeno, è pertanto necessario, mantenere sotto controllo, a monte della condotta, il contenuto di umidità attraverso per esempio un processo di disidratazione.

Alla luce, dunque, di tali considerazioni, risulta essenziale analizzare la compatibilità della *sealine* anche per evitare di avere la necessità di sostituire la condotta attraverso la posa di una nuova tubazione con un rivestimento anticorrosivo più efficace, intaccando con tale operazione l'ecosistema marino.

Infine, risulta necessario tener conto anche delle caratteristiche di design relative alla resistenza strutturale della piattaforma, richiedendo un'analisi comparativa basata sul confronto tra gli indici di ingombro e i pesi dei diversi componenti, tra la configurazione post e pre-riconversione.

2.2.2. Definizione dell'importanza di ciascun criterio

Dopo aver definito le macro categorie su cui si basa l'analisi decisionale, è essenziale attribuire ad ogni caratteristica di dettaglio la relativa scala di importanza e priorità, in modo da determinare quali di questi siano vincolanti alla realizzazione di un'opzione. Poiché l'obiettivo di tale elaborato è la realizzazione e applicazione di un tool, in grado di guidare l'utente verso la migliore scelta di riutilizzo, sulla base del processo di analisi, presentato nei capitoli successivi, si è ritenuto, prima di tutto essenziale individuare per ogni alternativa progettuale i criteri ritenuti vincolanti.

Per criteri vincolanti, ci si riferisce a caratteristiche appartenenti alle macro-categorie che se non soddisfatti, rendono dal punto di vista tecnico, impossibile la realizzazione di un'opzione sulla piattaforma in esame. Tali aspetti tecnico-ambientali che risultano di primaria importanza nella valutazione implementata nel tool, permettono di escludere, infatti, già in principio, se non rispettati, le alternative ritenute fortemente non adatte alle specifiche caratteristiche della struttura offshore, si pensi, ad esempio, alla presenza del giacimento come parametro necessario per rendere fattibile le opzioni 2 e 3 che hanno come obiettivo lo stoccaggio di un fluido nel reservoir.

Se tali criteri vincolanti sono rispettati, si procede, dunque, con l'analisi effettiva dell'opzione in esame, sottoponendo le diverse alternative progettuali alla valutazione dei criteri non vincolanti, ovvero quelle caratteristiche che nonostante possano essere più o meno significative per la produttività o fattibilità tecnica dell'opzione in esame, non impediscono la realizzazione del progetto, ma permettono di determinare con la loro specifica importanza, quale alternativa rappresenti la soluzione più adatta per la piattaforma O&G offshore.

I criteri analizzati, come si può osservare in Figura 18, sono distribuiti in maniera differente per ogni macro categoria di appartenenza di cui:

- 6 sono criteri vincolanti;
- 60 sono criteri non vincolanti;

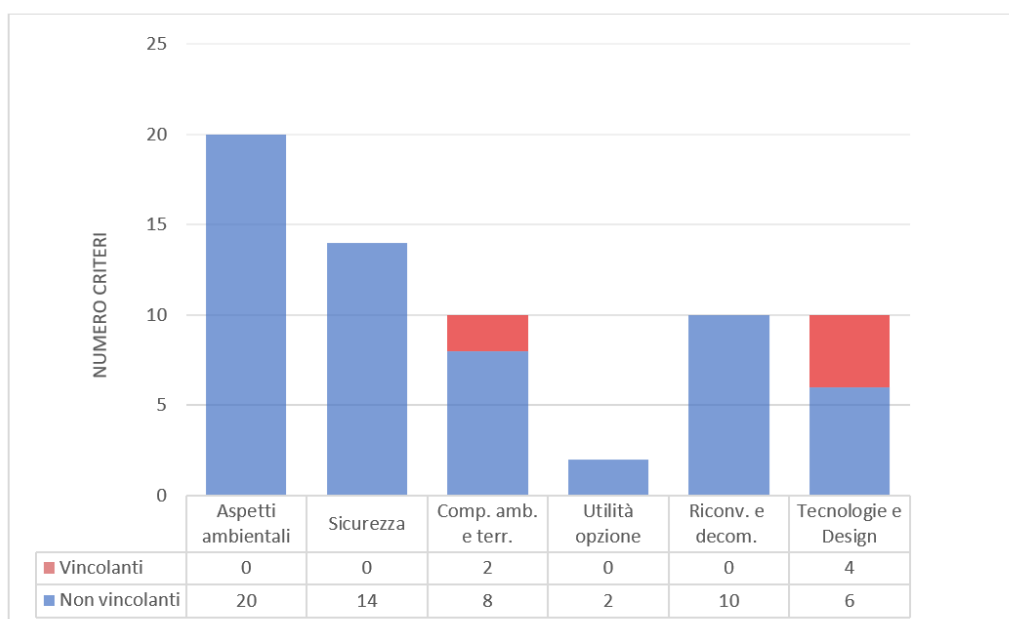


Figura 18: Numero criteri per macro categoria

Di seguito, in Tabella 2, vengono riportati i sei criteri vincolanti delle alternative progettuali analizzate in questo elaborato, specificando per ognuno, la relativa macro-categoria di appartenenza e indicando per quale opzione è vincolante o meno:

Tabella 2: Lista criteri vincolanti

| Criterio vincolante | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Tecnologie e Design | | | |
| 1. Superficie emersa della piattaforma > 270 m ² | X | X | X |
| 2. Presenza di cluster di piattaforme | X | | |
| 3. Compatibilità della sealine con blended H ₂ | | X | |
| 4. Compatibilità della sealine con la CO ₂ | | | X |
| Compatibilità ambientale e territoriale | | | |
| 5. Presenza di giacimenti | | X | X |
| 6. Efficienza giacimento > 30% | | X | X |

A tal proposito, si sottolinea, inoltre, che tali quesiti di tipo dicotomico prevedono una sola risposta tra due modalità del tipo SI/NO.

In seguito, viene riportata, dunque, la trattazione specifica sui criteri vincolanti, andando ad illustrare le ragioni che rendono tali caratteristiche essenziali, dal punto di vista tecnico, per le opzioni in esame.

1. Superficie emersa della piattaforma > 270 m²

Innanzitutto, per quanto riguarda il criterio relativo alla soglia minima di superficie delle parti emerse che la piattaforma offshore in esame dovrebbe avere, si considera come riferimento il valore di 270 m², pari alla dimensione della più grande piattaforma monotubolare presente in Italia.

Tabella 3: Piattaforma monotubolare con la superficie maggiore

| Nome piattaforma | Minerale | Tipo struttura | Superficie parti emerse [m ²] |
|------------------|----------|----------------|---|
| GUENDALINA | GAS | Monotubolare | 270 |

Considerando l'elenco compilato dal MASE [7], relativo alle 138 installazioni offshore, si possono, infatti, ritenere di scarso interesse per lo scopo di tale analisi, proprio le piattaforme monotubolari, bitubolari e le teste pozzo sottomarine. Tali strutture, infatti, sono escluse dalla valutazione di compatibilità con le tre opzioni di riconversione, poiché presentano una scarsa ampiezza dei deck e un ridotto numero di teste pozzo. La superficie dei deck è, infatti, una caratteristica significativa non solo per l'Opzione 1, poiché influisce, in primis, sulla produzione energetica dell'impianto fotovoltaico ma anche per l'Opzione 2 e 3, se si considera che una maggiore superficie facilita l'installazione delle nuove apparecchiature con grandi ingombri. Per quanto concerne, infine, la numerosità delle teste pozzo è da considerarsi un parametro fondamentale per l'Opzione 2 e 3, in quanto queste vengono sfruttate per lo stoccaggio in giacimento. A valle di queste considerazioni,

a titolo informativo, rimangono 99 piattaforme con una dimensione delle parti emerse maggiore rispetto al valore stabilito dal criterio vincolante.

Come si può evincere dai restanti requisiti, i criteri vincolanti sono nella gran parte specifici e dipendenti dalla tecnologia impiegata nell'opzione progettuale che viene esaminata.

2. Presenza di cluster di piattaforme

Ad esempio, la presenza di cluster di piattaforme, è essenziale per rendere fattibile esclusivamente l'Opzione 1, poiché in questo modo si rende più agevole e meno impattante il trasporto dell'acqua dissalata, attraverso l'installazione di un ombelicale che collega la piattaforma oggetto di riconversione con le piattaforme limitrofe presidiate, soddisfacendo in maniera continua il fabbisogno idrico giornaliero. Tale soluzione consente, infatti, un costo di installazione non particolarmente elevato, limitando l'utilizzo di navi cisterna per assicurare il rifornimento di acqua potabile agli operatori impegnati sulle altre piattaforme.

3. Compatibilità della sealine con blended H₂

La compatibilità, con la nuova miscela di gas naturale e idrogeno, della *sealine* già esistente e bonificata nella fase di riconversione, è fondamentale solo per l'Opzione 2, poiché in questo caso tale infrastruttura è utilizzata per trasportare il fluido che viene stoccato nel giacimento esaurito. Come già, ampiamente illustrato nel precedente capitolo, risulta, infatti, fondamentale in fase di riconversione, minimizzare l'installazione di nuove infrastrutture, cercando di ottenere un riutilizzo proficuo dei componenti di impianto già presenti, in modo tale da ridurre al minimo l'impatto ambientale connesso a nuove operazioni di posa.

4. Compatibilità della sealine con la CO₂

Per l'Opzione 3 viene richiesto di valutare in fase preliminare la compatibilità dei materiali della sealine al trasporto dell'anidride carbonica, analizzando non solo la presenza di difetti strutturali, plausibilmente verificatisi nella fase successiva alla dismissione, ma anche eventuali criticità legate, per esempio, ad un possibile impatto dell'idrogeno sulle caratteristiche meccaniche degli acciai.

Vi è da sottolineare, infine, che in tale valutazione, risulta necessario considerare, anche l'enorme beneficio che si ottiene da un adeguato controllo del contenuto di umidità nel gas, attraverso un trattamento di disidratazione a monte della condotta evitando la degradazione dell'infrastruttura dovuta ai processi corrosivi e di generazione di idrati.

5. Presenza di giacimenti

Infine, considerando il criterio vincolante riguardante la presenza o meno del giacimento, si può facilmente comprendere che questo sia essenziale per la fattibilità delle Opzioni 2 e 3. Entrambi le alternative prevedono, infatti, di trasformare la piattaforma dismessa in una stazione di compressione in grado di processare e stoccare rispettivamente blended di idrogeno e CO₂ nel giacimento annesso. In questi due casi, il collegamento con il pozzo è quindi fondamentale per la riconversione della piattaforma.

Tramite tale vincolo, si escludono, dunque, dall'analisi di compatibilità quelle strutture offshore che spesso sono parte di un cluster ma non sono collegate direttamente al giacimento.

Queste piattaforme, talvolta, sono infatti destinate all'installazione dei componenti necessari al trattamento dell'idrocarburo dopo la fase di estrazione che avviene su piattaforme differenti. Si specifica, tuttavia, che la presenza del giacimento è una condizione necessaria ma non sufficiente alla realizzazione effettiva delle due opzioni di riconversione che sfruttano il *reservoir* esaurito, poiché è inevitabile prevedere, nella fase successiva alla progettazione preliminare, un'analisi dettagliata della compatibilità delle nuove miscele di gas con lo specifico giacimento e uno studio di modellizzazione per identificare i parametri geofisici che lo caratterizzano.

6. Efficienza giacimento > 30%

In entrambi le opzioni, appena citate, risulta necessario verificare, infine, che venga rispettato il limite normativo [40] riguardante il valore minimo di "Efficienza del giacimento", per lo stoccaggio di gas nel sottosuolo, pari al 30 %, definito come:

$$\varepsilon = \frac{\textit{Working gas}}{\textit{Working gas} + \textit{Cushion gas}}$$

Dove:

- *Working gas*: è la quantità di gas che può essere iniettata e prelevata in funzione delle diverse modalità di funzionamento dell'impianto. Per quanto riguarda lo stoccaggio in giacimenti esauriti, il *working gas* viene individuato gradualmente attraverso un periodo di regimazione, caratterizzato da una sequenza di fasi alternate di iniezione e di estrazioni di determinate quantità di gas nel tempo, in modo da aumentare la capacità di stoccaggio del giacimento esaurito che risulta inizialmente riempito dall'acquifero [20];
- *Cushion gas*: è la quantità minima di gas che deve rimanere all'interno dello stoccaggio e che risulta indispensabile nella fase di erogazione poiché garantisce un determinata pressione che contrasta la risalita del fronte d'acqua, senza pregiudicare le caratteristiche minerarie del giacimento [20].

3. Analisi dei criteri di dettaglio: attribuzione degli indici e dei pesi

Una volta definiti i primi due aspetti di base relativi alla metodologia di analisi, riguardanti la definizione dei criteri e l'importanza attribuita a ciascuno di essi, risulta necessario per una maggiore comprensione di tale approccio sistematico, analizzare gli step successivi inerenti, non solo al procedimento utilizzato per definire gli indici di valutazione di ciascun criterio non vincolante ma soprattutto alla determinazione dei range di caratteristiche o grandezze utili alla valutazione del criterio in questione.

Infine, viene fornita una panoramica generale sulle procedure di analisi utilizzate per la definizione dei pesi da attribuire a ciascun criterio non vincolante, in funzione della macro categoria di appartenenza.

3.1. Attribuzione a ciascun criterio di un indice

Uno dei passaggi principali di un'indagine multicriterio è la quantificazione delle caratteristiche per valutare i criteri stessi. Considerato che questi fanno parte di macro-categorie differenti, per poter ottenere una valutazione complessiva delle tre alternative progettuali è essenziale, infatti, che vengano analizzati da tutti i punti di vista:

- Definizione del criterio di dettaglio;
- Unità di misura utilizzata per la sua valutazione;
- Procedura di analisi per l'attribuzione degli indici;

Come già riportato nel Paragrafo 2.2, i criteri di analisi sono stati definiti in virtù di attributi o indicatori di tipo non solo quantitativo, con unità di misura tra loro differente, ma in alcuni casi anche di tipo qualitativo. È necessario, dunque, che tali caratteristiche, su cui i decisori esaminano le alternative, vengano espresse attraverso una sola e unica scala di valutazione confrontabile e omogenea. Per uniformare gli indicatori è stata definita una corrispondenza tra i range della grandezza rappresentativa del criterio e una scala ordinale di valutazione costituita da 4 indici qualitativi espressi in lettere dell'alfabeto del tipo (A, B, C, D). Ogni criterio, dunque, definito con il proprio attributo e la propria unità di misura, viene normalizzato al fine di essere confrontato direttamente con gli altri. La quantificazione del criterio viene, infatti, convertita in una scala composta da 4 livelli, indicativi della qualità in termini di *performance* che la riconversione *green* della piattaforma in esame assume rispetto al criterio:

Tabella 4: Scala qualitativa degli indici

| | |
|----------|--------------------------------------|
| A | <i>Prestazione eccellente</i> |
| B | |
| C | |
| D | <i>Prestazione pessima</i> |

Ciascun indice è rappresentativo di un determinato livello di prestazione e viene determinato in base all'ampiezza degli intervalli in cui è stata suddivisa la grandezza.

Dunque, nel caso in cui, è stato possibile definire dei parametri quantitativi, esplicativi dei criteri di dettaglio, tali indicatori sono stati prima espressi con la propria unità di misura e poi convertiti in corrispettivi indici del tipo A-D in base al range in cui ricade la valutazione di tale grandezza per la piattaforma in esame. Nel momento in cui, la valutazione del criterio è stata necessariamente definita in maniera qualitativa, si può, invece, osservare una determinata corrispondenza tra il livello dell'indicatore esplicativo del criterio, espresso sotto forma di giudizio linguistico e l'indice associato.

Risulta necessario, inoltre, sottolineare che ciascun criterio di dettaglio è valutato in maniera assoluta, senza effettuare nessuna valutazione relativa che ponga a confronto un'alternativa con un'altra. Gli indici A-D, sono correlati, infatti, a range di riferimento circa grandezze o indicatori quantificati, prendendo come riferimento dei valori assoluti e rappresentativi di progetti di riconversione di questa tipologia e di questa scala.

È alquanto probabile, dunque, che opzioni diverse abbiano in comune lo stesso indice per determinati criteri di dettaglio, se il livello dell'indicatore non è in sostanza diverso da opzione ad opzione in confronto al livello assoluto.

Vi è da sottolineare, in aggiunta, che ogni criterio è indipendente dagli altri, poiché l'indice attribuito a una specifica caratteristica, in funzione del livello prestazionale, non influisce in nessun modo sulla valutazione degli altri criteri.

Infine, per riassumere, durante la fase di utilizzo della linea guida e in particolar modo, del tool realizzato espressamente per questo studio, la procedura di assegnazione degli indici risulta essere totalmente automatica. Infatti, per valutare il livello di adattabilità della piattaforma in esame, rispetto ad una specifica alternativa di riconversione, per ogni criterio:

- Colui che compie l'analisi, risponde ai quesiti richiesti e inserisce il valore della variabile per la specifica piattaforma;
- A seconda dell'intervallo in cui ricade la grandezza calcolata, viene restituito un indice (A-D).

Un esempio del processo appena delineato è riportato in Tabella 5, nel quale, per l'Opzione 1, considerando una quantità di sostanze tossiche in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma, pari a 334.9 kg, utilizzate principalmente nel pre-trattamento dell'acqua di mare, considerando il range in cui ricade tale grandezza compreso tra 100-1000 kg, viene assegnato come livello corrispondente l'indice C:

Tabella 5: Attribuzione degli indici

| Macro categoria | Criterio di dettaglio | Indicatore | Unità di misura | Valore Opzione 1 | Indice assegnato |
|-----------------------|--|------------|-----------------|------------------|------------------|
| Sicurezza di processo | Quantità di sostanze tossiche in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | Quantità | kg | 334.9 | C |

3.2. Definizione dei range di grandezze da attribuire a ciascun indice

La procedura di valutazione semiquantitativa dei criteri è essenziale per determinare il livello di adattabilità di ciascuna opzione. Nel momento in cui è stata definita la seguente linea guida, per ogni criterio di dettaglio, sono stati individuati degli indicatori suddivisi in intervalli e associati ai rispettivi indici.

In questa fase, inoltre, sono stati identificati, anche i dati che l'analista deve conoscere per rispondere ai quesiti relativi ai criteri non vincolanti e che, questi, in quanto utente dovrà inserire nell'interfaccia del tool. Vengono specificati, inoltre, i calcoli che sono eseguiti dal programma, sulla base dei valori di input che vengono forniti, per poter, in questo modo, attribuire l'indice.

La definizione degli indicatori caratteristici di ciascun criterio è stata sviluppata descrivendo le grandezze in una forma sintetica anche se la gran parte dei criteri possono considerarsi auto-esplicativi. Laddove possibile, per determinati criteri quantitativi sono state associate delle unità di misura mentre per altri di tipo qualitativo sono state definite delle scale strettamente correlate agli indici in base alla qualità della performance.

Nel seguente paragrafo, viene riportata, dunque, la trattazione specifica sui range di grandezze che sono state attribuite a ciascun indice, per parte delle caratteristiche di dettaglio, suddivise in macro-categorie. Per ognuno, viene inoltre, assegnato il rispettivo indicatore e l'unità di misura utilizzata per la sua valutazione.

In totale i criteri, qui presentati, sono 15 e distribuiti per ogni macro categoria di appartenenza, come segue:

Tabella 6: Elenco dei 15 criteri di dettaglio analizzati in questo elaborato

| Aspetti ambientali | |
|---|--|
| <i>Emissioni di gas e vapori in atmosfera</i> | |
| Criterio 1.1. | Quantità di emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Criterio 1.2. | Quantità di emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Criterio 1.3. | Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Criterio 1.4. | Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Aspetti di sicurezza | |
| Criterio 11 | Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze infiammabili della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) |
| Criterio 12 | Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze potenzialmente esplosive della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) |
| Criterio 13 | Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze tossiche della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) |
| Criterio 14 | Zona di sicurezza post-riconversione nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati rispetto alla configurazione pre-riconversione secondo l'art.28 del D.P.R. 886/1979 |

| Compatibilità ambientale e territoriale | |
|--|---|
| Criterio 3 | Distanza tra la resistenza meccanica all’impatto dovuto alle tempeste di grandine e la resistenza meccanica massima delle apparecchiature a bordo della piattaforma |
| Criterio 4 | Probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento sismico rilevante |
| Criterio 5 | Producibilità dell’impianto fotovoltaico |
| Attività di riconversione e decommissioning | |
| <i>Emissioni di gas e vapori in atmosfera</i> | |
| Criterio 1.1. | Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning |
| Criterio 1.2. | Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning |
| Tecnologie e Design | |
| Criterio 2 | Periodo equivalente di iniezione/erogazione nel quale il giacimento viene “riempito/svuotato” considerando la portata massima trasportabile dalla sealine |
| Criterio 5 | Differenza fra i pesi rimossi e i pesi installati rapportati alla superficie totale della piattaforma |

Nel seguente capitolo viene riportata la descrizione a titolo esemplificativo, di un criterio per ogni macro categoria analizzata, tenendo presente che la definizione dei range per gli altri criteri esaminati in questo elaborato sono riportati in allegato.

Puntualizzando, infine, che per la definizione dei range relativi ai restanti criteri di dettaglio non analizzati in questo elaborato, si rimanda al lavoro di tesi magistrale di A. Martini [28].

3.2.1. Aspetti ambientali

La macro-categoria “Aspetti ambientali”, come è stato ampiamente spiegato nel Capitolo 2, permette di valutare la significatività degli impatti sull’ambiente, correlati all’attività della piattaforma in *normal operation*.

Per tener conto dei nuovi scenari di riconversione che supportano il percorso verso la transizione energetica e la sostenibilità ambientale, con lo scopo di evidenziare l’approccio così detto “green” dell’opera che dovrebbe minimizzare gli effetti sull’ambiente, è stata definita, per la valutazione di ogni criterio, una scala qualitativa basata su un approccio di comparazione dell’indicatore ambientale tra post e pre-riconversione.

In questo, modo, si potrà valutare la *performance* dello specifico progetto di riconversione rispetto alle condizioni precedenti basate sull’estrazione di idrocarburi.

In particolare, in questo elaborato, viene analizzato il seguente aspetto:

1. Emissioni di gas e vapori in atmosfera

- **Criterio 1.1. – Quantità di emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Il criterio ha lo scopo di confrontare l’indicatore ambientale legato alla stima delle emissioni di gas climalteranti rispetto alle condizioni precedenti alla riconversione. In particolare, si fa riferimento ai rilasci in atmosfera di gas come CO₂, CH₄ o vapore acqueo,

legati ad esempio, ad attività e processi, presenti a bordo o a servizio della piattaforma, che producono fumi di scarico. L'attenzione nei confronti della riduzione delle emissioni in atmosfera dei gas responsabili dell'effetto serra, discende dalle numerose norme e accordi internazionali che disciplinano tale materia, a partire dalla ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto[41], siglato nel 1997.

Tabella 7: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.1.- "Aspetti ambientali"

| Indicatore | Unità di misura |
|--|-----------------|
| Stima qualitativa delle emissioni di gas e vapori climalteranti rispetto alle condizioni pre-riconversione | - |

Per valutare tale criterio, è stata definita la seguente scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di prestazione:

Tabella 8: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.1.- "Aspetti ambientali"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|--|
| A | Le quantità sono molto inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| B | Le quantità sono inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| C | Le quantità sono analoghe rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| D | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

In questo modo, confrontando in maniera qualitativa le stime sulle emissioni rilasciate dalla piattaforma prima della riconversione e quelle attese nelle condizioni di post-riconversione, l'analista seleziona direttamente la risposta.

3.2.2. Aspetti di sicurezza

La macro-categoria "Aspetti di sicurezza" consente di identificare i pericoli connessi ad ogni attività di processo che si svolge sulla piattaforma, individuando anche, le eventuali aree di danno sviluppatesi da rilasci incidentali di sostanze pericolose che potrebbero impattare le vicine infrastrutture presidiate, considerando, infatti, che a bordo della piattaforma in esame, viceversa, non vi sia la presenza di nessun operatore durante le normali operazioni.

Considerando la fase preliminare dei progetti di riconversione, si sottolinea, che viene esclusa dalla seguente trattazione, qualsiasi stima sulle frequenze degli scenari incidentali, poiché non sono presenti sufficienti dati come, ad esempio, la lunghezza e il diametro delle tubazioni.

Non potendo, dunque, definire una probabilità di accadimento degli scenari in esame, non si prevede nessuna stima relativa al rischio sulle persone. Ci si sofferma, infatti, esclusivamente come obiettivo nel valutare il possibile impatto in termini di aree di danno.

In particolare, in seguito, viene analizzato il seguente aspetto:

- **Criterio 11 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze infiammabili della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Il criterio ha lo scopo di analizzare tramite un'analisi di sicurezza basata su un approccio quantitativo, lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze infiammabili con conseguente incendio, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell'incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate. L'analista, infatti, in base ai propri studi sulle sostanze infiammabili, presenti all'interno del processo e sulle condizioni critiche in termini di hold-up e pressioni d'esercizio, può simulare il fenomeno incidentale, attraverso molteplici modelli o software commerciali come PHAST, calcolando, in questo modo, gli effetti dell'incendio in termini di distanze di danno relative a Jet Fire, Pool Fire e Flash Fire.

Tabella 9: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 11 - "Aspetti di sicurezza"

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Stima del possibile impatto sulle persone, in termini di aree di danno, legate al rilascio di sostanze infiammabili | - |

Pertanto, si richiede di individuare l'impatto relativo all'inventario isolabile più critico in termini quantitativi per le sostanze infiammabili, utilizzando un set di diametri di rottura in accordo con il report OGP N°434-1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** Si considera, inoltre, che le simulazioni degli scenari vengono condotte nelle categorie di vento 2F e 5D, tenendo presente come criteri di vulnerabilità per le persone, le seguenti soglie:

Tabella 10: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per gli incendi

| Scenario | Elevata letalità | Lesioni irreversibili |
|--|------------------|-----------------------|
| Irraggiamento termico stazionario (kW/m ²) | 12.5 | 5 |

Per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione. Considerando che la miglior performance sia legata al caso in cui le aree di danno relative al foro più critico non impattino su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (*bridge*).

Tabella 11: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 11 - "Aspetti di sicurezza"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|---|
| A | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) |
| B | Impatto con una radiazione di 5 kW/m ² solo sulle strutture di collegamento (se presenti) |
| C | Impatto con una radiazione di 12,5 kW/m ² solo sulle strutture di collegamento (se presenti) o con una radiazione di 5 kW/m ² sulle piattaforme limitrofe |
| D | Impatto con una radiazione di 12,5 kW/m ² sulle piattaforme limitrofe |

In questo modo, l'analista, confrontando la distanza tra le piattaforme e la massima area di danno per le rispettive radiazioni, seleziona direttamente la risposta.

3.2.3. Compatibilità ambientale e territoriale

La macro-categoria "Compatibilità ambientale e territoriale", permette di analizzare gli aspetti meteorologici e ambientali della zona in cui è collocata la piattaforma, valutando se i progetti di riconversione siano compatibili o meno con il contesto territoriale.

Nello specifico, in seguito, viene riportato il seguente criterio:

- Criterio 5 – Producibilità dell'impianto fotovoltaico

Tra i criteri che descrivono le caratteristiche climatiche e territoriali, fondamentali per la produzione o la realizzazione di un progetto, vi è la producibilità dell'impianto fotovoltaico, rilevante per l'Opzione 1. Come è noto, infatti, tale aspetto è legato al dato di radiazione solare media che è influenzato non solo dalla latitudine del luogo, ma anche dalle condizioni climatiche locali.

Nello scenario di riferimento, l'alimentazione elettrica del sistema di dissalazione è fornita da un campo fotovoltaico posizionato sul weather deck. In particolare, tale impianto di generazione è stato dimensionato in modo tale da massimizzare la quota di energia rinnovabile che alimenta l'utilizzatore, sfruttando quanto più possibile la superficie utile per la produzione, con lo scopo, anche, di ottenere un surplus energetico durante i periodi di picco di irraggiamento solare.

Pertanto, per esaminare tale criterio, è stato individuato come indicatore, la producibilità annua al m² di superficie disponibile per l'installazione dei pannelli, tenendo presente, che in questo modo tale caratteristica viene valutata svincolandola dalla dimensione della specifica piattaforma analizzata, ma tenendo conto, soprattutto, dell'aspetto climatico e territoriale, definito all'inizio di questa trattazione.

Tabella 12: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 5 - "Compatibilità ambientale e territoriale"

| Indicatore | Unità di misura |
|--|--------------------|
| Producibilità dell'impianto fotovoltaico intesa come rapporto tra l'energia elettrica producibile e la superficie dei pannelli | kWh/m ² |

Considerando che tale sistema fotovoltaico è, inoltre, collegato alla rete, si ritiene fondamentale far sì che l'energia solare sia convertita in elettrica con le minori perdite possibili, per cui per calcolare la producibilità annua dell'impianto viene utilizzata la seguente espressione **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.:**

$$E_p = G \cdot \eta_m \cdot \eta_{Bos} \cdot K$$

Dove:

- E_p : Producibilità energetica al m^2 di superficie [kWh/m^2];
- G : Radiazione solare media annua incidente sul piano inclinato ottimale [kWh/m^2];
- η_m : Efficienza di conversione del modulo fotovoltaico;
- η_{Bos} : Rendimento (BOS-Balance of System), di solito, compreso tra 70% e 86%. Rappresenta l'efficienza di tutti quei componenti a valle dei moduli che si occupano, ad esempio, della conversione, del trasporto, dell'accumulo (Inverter, quadri di manovra e protezione, servizi ausiliari, sistemi di accumulo, di interfaccia con la rete e/o le utenze ecc.);
- K : Coefficiente di riduzione per eventuali ombreggiamenti (indicativamente compreso tra 0.95 e 0.97).

Di conseguenza, per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione, considerando che la miglior *performance* sia legata al caso in cui il valore di producibilità sia il più elevato possibile, ovvero nelle condizioni ottimali sia dal punto di vista della risorsa solare che del rendimento dell'impianto. Per il caso peggiore, invece, si considera una scarsa radiazione e un sistema fotovoltaico inefficiente. Ad esempio, per quanto riguarda il valore di radiazione solare incidente sul piano inclinato ottimale, è stato fatto riferimento ai dati disponibili per ogni piattaforma nell'ambito del Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee (PiTESAI) del MASE, tramite il quale è stata effettuata un'analisi sulla possibile ottimizzazione energetica di tali infrastrutture, mediante l'uso di fonti energetiche rinnovabili. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

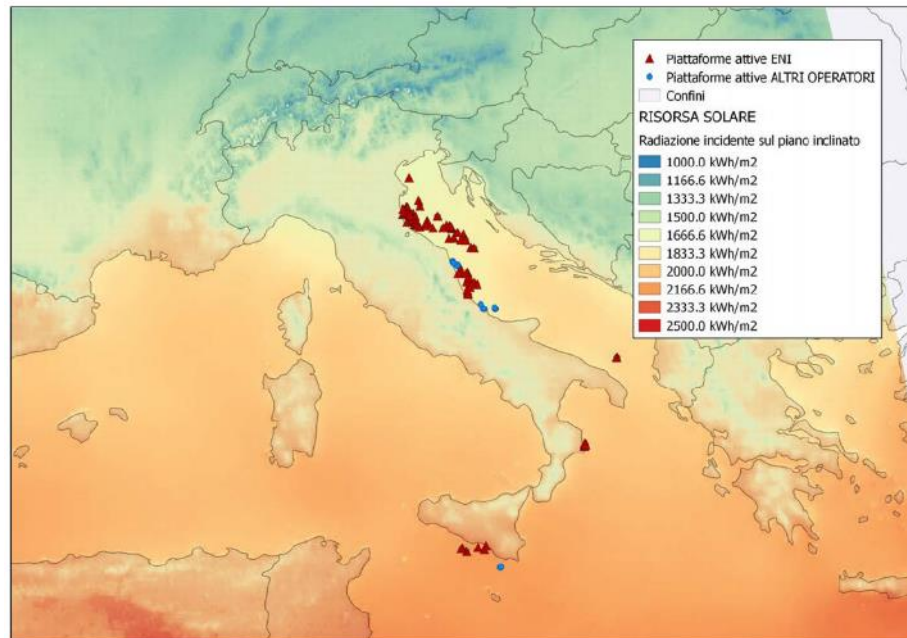


Figura 19: Mappa della radiazione solare incidente sul piano inclinato ottimale. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Si riporta, di seguito, sia il valore relativo al sito offshore più performante che quello della piattaforma con la radiazione solare più bassa:

Tabella 13: Piattaforme con valore max e min di radiazione solare incidente sul piano ottimale

| Nome piattaforma | G [kWh/m^2] |
|------------------|-------------------|
| GELA 1 | 2161 |
| ADA 2-3-4 | 1673 |

Per definire l'estremo superiore e inferiore dei range di producibilità sono stati considerati, inoltre, due contrapposte condizioni di impianto:

- Caso ottimale

- $G_{max} = 2161 \text{ kWh}/m^2$
- Pannello monocristallino [42] ($\eta_m \cong 16.5 - 22\%$)
- Componenti efficienti ($\eta_{Bos} = 86 \%$)
- Possibilità di ombreggiamento minimizzata ($K = 0.97$)

$$E_p > 300 \text{ kWh}/m^2$$

- Caso peggiore

- $G_{min} = 1673 \text{ kWh}/m^2$
- Pannello policristallino [42] ($\eta_m \cong 15 - 18\%$)
- Componenti inefficienti ($\eta_{Bos} = 70 \%$)
- Possibile presenza di ombreggiamenti ($K = 0.95$)

$$E_p < 170 \text{ kWh}/m^2$$

Per quanto concerne, invece, il livello intermedio della scala degli indici, è stato preso come riferimento il valore di energia complessivamente prodotta in un anno, già calcolato [19] per la piattaforma "tipo" GREEN1, rappresentativa del panorama italiano offshore, pari a 33 MWh che suddivisi per la superficie fotovoltaica totale di 132 m², porta ad ottenere una producibilità annua di circa 225 kWh/m².

Pertanto, riassumendo, è stata definita la seguente scala con i relativi range:

Tabella 14: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 5 - "Compatibilità ambientale e territoriale"

| Indice | Range (kWh/m^2) |
|----------|---------------------|
| A | >300 |
| B | Da 225 a 300 |
| C | Da 170 a 225 |
| D | <170 |

In conclusione, in questo modo, l'analista deve inserire nel tool i parametri noti (G, η_m, η_{BOS}, K), mentre l'applicazione calcola la producibilità annua e in base al range assegna l'indice.

3.2.4. Attività di riconversione e decommissioning

La macro-categoria "Attività di riconversione e decommissioning", permette di valutare la significatività degli impatti sull'ambiente, correlati all'intensa fase di rimozione delle attrezzature preesistenti e di riconversione dell'infrastruttura. Per la valutazione di ogni criterio, in base all'aspetto analizzato, sono state, inoltre, definite scale di indici espresse in termini quantitativi o qualitativi.

In particolare, viene analizzato il seguente aspetto:

1. Emissioni di gas e vapori in atmosfera

- **Criterio 1.1. – Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning**

Il criterio ha lo scopo di valutare tramite un'analisi ambientale, l'impatto legato alle emissioni in atmosfera di gas climalteranti come CO₂, CH₄ o vapore acqueo, correlati ad esempio, ad attività a servizio della fase di decommissioning, come la movimentazione delle imbarcazioni, che producono fumi di scarico.

Tabella 15: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.1.- "Attività di riconversione e decommissioning"

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Valutazione della significatività dell'impatto ambientale dovuto alle emissioni climalteranti nella fase di riconversione e decommissioning | - |

Per valutare tale criterio, è stata definita la seguente scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di significatività dell'impatto ambientale:

Tabella 16: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.1.- "Attività di riconversione e decommissioning"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|--|
| A | è trascurabile (L'impatto non è significativo) |
| B | è basso (L'impatto è tale da richiedere attività di monitoraggio per la sua gestione) |
| C | è di media entità (L'impatto è tale da richiedere interventi per il monitoraggio e misure di protezione e prevenzione) |
| D | è rilevante (L'impatto è tale da richiedere interventi per la sua riduzione) |

Dunque, mediante le proprie analisi basate, ad esempio, su un sistema di attribuzione di punteggi a determinati parametri, l'analista individua la magnitudo dell'impatto correlato

all'attività più significativa nella fase di decommissioning e seleziona direttamente la risposta.

3.2.5. Tecnologie e Design

La macro-categoria “Tecnologie e Design” consente di valutare le principali caratteristiche tecniche e strutturali della piattaforma, in modo da garantire l’affidabilità a lungo termine degli impianti, verificando, ad esempio, le *performance* e l’integrità dei componenti che vengono riutilizzati.

In particolare tra i criteri analizzati in questa categoria, si riporta:

- **Criterio 5 – Differenza fra i pesi rimossi e i pesi installati rapportati alla superficie totale della piattaforma**

Il criterio ha l’obiettivo di valutare tramite un’analisi comparativa tra la configurazione pre e post-riconversione, se la struttura offshore, secondo quanto definito dai nuovi progetti, è in linea con le analisi di tipo strutturale, considerando la resistenza meccanica della piattaforma su cui si opera. Uno dei punti cardine della metodologia di riconversione, è infatti, l’analisi dei carichi dei nuovi componenti da installare a bordo. Lo scopo è quello di non superare i pesi delle apparecchiature precedentemente installate sui deck, altrimenti si procede con la rimozione della componentistica pre-riconversione. Di conseguenza, per tener conto, della variazione dei carichi sulla piattaforma, si richiede all’analista di inserire come parametri di input le seguenti grandezze:

- Peso complessivo componenti rimossi nella fase di decommissioning (*t*);
- Peso complessivo componenti installati nella configurazione post-riconversione (*t*);
- Superficie complessiva della piattaforma (*m*²).

Mediante la seguente formula, il software, infatti, stima un *KPI (Key Performance Indicator)* relativo alla differenza dei carichi, normalizzato rispetto alla superficie della piattaforma:

$$KPI_{\text{carichi}} = \frac{(\text{Pesi rimossi} - \text{Pesi installati})}{\text{Superficie piattaforma}}$$

Tabella 17: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 5 – “Tecnologie e Design”

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-------------------|
| Differenza fra i pesi rimossi e i pesi installati rapportati alla superficie totale della piattaforma | kg/m ² |

Pertanto, per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione, tenendo presente, che la miglior *performance* sia legata al caso in cui il *KPI_{carichi}* è elevato, ossia, a parità di superficie, il peso rimosso dalla piattaforma è molto maggiore rispetto a quello installato. In questo modo si ha, infatti, un alleggerimento di tutta la struttura, riducendo gli sforzi lungo le travi portanti dei deck. È opportuno sottolineare, inoltre, che tale indicatore essendo compatto non tiene conto del diverso posizionamento dei carichi lungo la struttura portante della piattaforma. Si può supporre, però, considerando la strategia di parziale

dismissione adottata nei tre progetti preliminari di riferimento che vi sia in generale una transizione dei carichi maggiori verso i piani inferiori spostando il baricentro in basso e aumentando così la stabilità della struttura reticolare.

Per definire i range, riportati in Tabella 18, è stata presa, infine, come riferimento, l'analisi comparativa dei carichi effettuata nei *basic design* per la piattaforma "tipo" GREEN1, ottenendo rispettivamente come $KPI_{carichi}$ per le tre opzioni circa 50, 25 e 35 kg/m². Per cui tenendo in considerazione tali valori, sono stati definiti degli intervalli idonei a discriminare gli scenari in esame:

Tabella 18: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 5 – "Tecnologie e Design"

| Indice | Range (kg/m ²) |
|--------|----------------------------|
| A | >50 |
| B | Da 30 a 50 |
| C | Da 15 a 30 |
| D | <15 |

3.3. Stima dei pesi da attribuire a ciascun criterio

La definizione dei pesi è ritenuta una fase indispensabile del processo decisionale per individuare l'ordinamento delle opzioni e dunque per la selezione dell'alternativa migliore, poiché, di solito, pone a raffronto aspetti e punti di vista differenti.

A ciascun criterio viene assegnato, infatti, un peso che esprime l'importanza che questo assume nell'analisi rispetto agli altri, in funzione dell'utilità che tale caratteristica ha per l'esecuzione di una delle tre opzioni. Per definire un ordine di priorità tra i criteri, si ipotizza, dunque, che:

- Le macro-categorie hanno peso uguale tra loro;
- Ad ogni criterio di dettaglio viene attribuito un peso nel range tra -3 e +3.

È importante sottolineare, che in questo caso, i pesi possono assumere valori negativi se la presenza di una caratteristica ha degli effetti sfavorevoli sulla realizzazione di una delle alternative progettuali, come l'eventuale impatto sull'integrità strutturale dei componenti installati a bordo della piattaforma legato alle tempeste di grandine, che ad esempio nell'Opzione 1, potrebbe causare il danneggiamento dei pannelli fotovoltaici. In altri casi, invece, con il peso 0, si può anche ritenere che il criterio sia ininfluenza per l'implementazione di un'opzione.

Nella procedura di analisi, inoltre, il peso da attribuire a ciascun criterio è stato individuato, in generale, con l'ausilio di due diversi approcci, o attraverso una valutazione tecnica o basandosi sulla sensibilità, priorità e inclinazione che potrebbe esprimere l'opinione pubblica o le parti interessate verso specifiche tematiche. Si sottolinea, infine, che per quanto riguarda il processo di analisi dei criteri relativi agli aspetti ambientali, sicurezza e utilità opzione, il peso che è stato attribuito è il medesimo per tutte e tre le opzioni, poiché tali criteri hanno effetti equivalenti per ogni scenario di riconversione.

Come già accennato in precedenza, per la definizione dei pesi, per ogni macro-categoria sono state identificate metodologie differenti, di cui di seguito, ne viene riportato un esempio, mentre per la trattazione completa, si rimanda al lavoro di tesi magistrale di A. Martini [28].

3.3.1. Metodologia productivity-based

Per quanto concerne i criteri di dettaglio inerenti le macro-categorie:

- Compatibilità ambientale e territoriale;
- Tecnologie e design.

è stata identificata una comune metodologia di attribuzione dei pesi, considerando in che modo una determinata caratteristica, rappresentativa del criterio, incide sulla produttività delle opzioni.

Si precisa che per produttività, in senso lato, si identifica l'attitudine, da parte dell'impianto post-riconversione, nel perseguire, in maniera continuativa nel tempo, il proprio scopo principale per cui è stato progettato, preservando l'integrità strutturale delle apparecchiature e minimizzando episodi che possono compromettere l'efficienza del sistema. Per esempio, nel caso dell'Opzione 1, ci si riferisce, alla produzione di acqua potabile, in grado di soddisfare il fabbisogno idrico delle piattaforme limitrofe, considerando che l'impianto di dissalazione è alimentato da un campo

fotovoltaico, mentre per l'Opzione 2 e 3, si fa riferimento, alla capacità da parte dell'impianto di compressione di processare e stoccare, in maniera efficiente e continuativa nel tempo, i nuovi fluidi.

Nel seguito, si riporta, la tabella di riferimento per l'assegnazione del peso, con la descrizione del relativo impatto sulla produttività:

Tabella 19: Pesi secondo la metodologia productivity-based

| Peso | Impatto |
|------|--|
| +3 | Caratteristica positiva non vincolante ma significativa per la produttività dell'opzione. |
| +2 | Caratteristica rilevante che incide in modo favorevole sulla produttività dell'opzione (a breve o a lungo termine). |
| +1 | Caratteristica favorevole che incide in modo non rilevante sulla produttività dell'opzione. |
| 0 | Caratteristica ininfluenza sulla produttività dell'opzione. |
| -1 | Caratteristica sfavorevole che incide in modo non rilevante sulla produttività dell'opzione. |
| -2 | Caratteristica rilevante che incide in modo sfavorevole sulla produttività dell'opzione (a breve o a lungo termine) ma può essere gestita implementando apparecchiature più performanti. |
| -3 | Caratteristica negativa non vincolante ma significativa, per la produttività dell'opzione. |

A titolo di esempio, si evidenziano alcuni criteri per cui è stata utilizzata la metodologia appena descritta, riportando, il valore del peso per ogni opzione e in seguito la successiva valutazione circa la modalità con la quale tale caratteristica impatta sulla produttività dell'opzione.

Tabella 20: Esempio applicazione metodologia productivity-based

| Criterio | Peso Opzione 1 | Peso Opzione 2 | Peso Opzione 3 |
|--|----------------|----------------|----------------|
| Producibilità impianto fotovoltaico | 3 | 0 | 0 |
| Valore di GOIP del giacimento | 0 | 3 | 3 |
| Superficie disponibile nel <i>weather deck</i> per l'installazione di nuove apparecchiature | 3 | 1 | 1 |
| Distanza tra la velocità del vento attesa e la velocità massima del vento compatibile con le installazioni a bordo della piattaforma | -2 | -1 | -1 |

Per quanto riguarda il criterio corrispondente alla producibilità dell'impianto fotovoltaico, si può di certo assumere che tale caratteristica sia significativa per l'Opzione 1, proprio perché in fase di

progetto, il campo fotovoltaico viene opportunamente dimensionato in modo da massimizzare la quota di energia rinnovabile che alimenta il sistema di dissalazione.

Per le altre due alternative, invece, si può ritenere che tale caratteristica sia ininfluente sulla produttività poiché la completa fornitura di energia elettrica viene garantita dalla rete elettrica nazionale tramite un elettrodotto sottomarino.

Nel caso del criterio relativo al valore del GOIP (*Gas Originally In Place*) del giacimento, si può viceversa, constatare che tale aspetto sia ininfluente per l'Opzione 1, poiché questo progetto non sfrutta in alcun modo il pozzo minerario anzi ne prevede la chiusura, mentre per le Opzione 2 e 3 si può desumere che tale proprietà sia rilevante poiché è indicativa, in maniera indiretta e approssimata, del volume che il gas può occupare nel giacimento.

Inoltre, relativamente alla superficie disponibile del *weather deck*, si può evincere che questa caratteristica sia molto significativa per l'Opzione 1 poiché incide direttamente e in maniera proporzionale sulla produzione dell'impianto fotovoltaico, influenzando sul numero dei pannelli installabili. Si desume, pertanto, che tale indicatore sia favorevole anche per le altre due opzioni, sebbene pesi in modo non rilevante sulla produttività, poiché un minore ingombro facilita l'installazione e la possibilità di scelta della taglia, dei nuovi componenti post-riconversione. Basti pensare, ad esempio, che per l'Opzione 2, il *weather deck* sia riservato all'installazione del package di compressione, utile per l'iniezione del gas in giacimento.

Infine, per quanto riguarda il criterio relativo alla distanza tra la velocità del vento attesa nell'area in cui è collocata la piattaforma e la velocità massima del vento compatibile con le installazioni a bordo, si denota che tale aspetto sia per tutte le opzioni sfavorevole, dunque con l'attribuzione di un peso negativo, benché tale caratteristica incide sulla produttività delle opzioni in maniera differente. Ad esempio, nel caso dell'Opzione 1, si considera che per forti raffiche di vento i pannelli possano essere sottoposti al cosiddetto "effetto vela", causando seri problemi all'installazione, con un eventuale riduzione o blocco della producibilità dell'impianto per breve o lungo termine. Mentre nel caso delle Opzioni 2 e 3, tale criterio risulta essere meno impattante sulla produttività poiché si ritiene che i componenti installati sul *weather deck* siano più resistenti alle elevate velocità del vento e dunque meno soggetti a danni strutturali.

4. Implementazione del “Metodo di associazione indice/peso” nel tool

A valle del processo di attribuzione degli indici e dei pesi per ogni criterio, risulta necessario identificare il relativo metodo di correlazione su cui si basa la procedura dell'Analisi multi-criterio. Senza questo step logico, infatti, le due fasi, illustrate nel capitolo precedente, rimarrebbero divise, non raggiungendo, in questo modo, l'obiettivo dell'analisi, ovvero l'individuazione del livello di adattabilità delle tre opzioni di riconversione rispetto alla piattaforma in esame.

Una volta identificata la tecnica di associazione indice/peso, risulta, fondamentale, infine, adattare il suddetto modello al processo di informatizzazione della metodologia, attraverso la fase di sviluppo del tool.

4.1. L'analisi multicriterio decisionale

L'analisi multicriterio (AMC) consiste in un approccio sistematico per classificare le alternative progettuali rispetto a diversi criteri decisionali, considerando, soprattutto, l'importanza relativa di ciascuno di essi, rispetto alle diverse opzioni. Tale metodo è uno strumento utilizzato nel momento in cui è necessario effettuare delle valutazioni o selezionare l'opzione migliore tra quelle disponibili e che sono caratterizzate, spesso, da attributi in conflitto **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** Questo approccio è inoltre riconosciuto dall'ordinamento italiano, nel quale come previsto dal D.P.R. del 21 Dicembre 1999 n.554 al Capo II-Sezione 1, articolo 15 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.,** che disciplina la materia dei lavori pubblici:

“Qualora siano possibili più soluzioni progettuali, la scelta deve avvenire mediante l'impiego di una metodologia di valutazione qualitativa e quantitativa, multicriteri o multiobiettivi, tale da permettere di dedurre una graduatoria di priorità tra le soluzioni progettuali possibili.”

L'AMC è, a tal proposito, uno strumento utilizzato durante il processo decisionale, in grado di tenere conto di diversi aspetti che definiscono un problema. Tramite questo approccio, dunque, si cerca di individuare la soluzione di ottimale compromesso che meglio si adatta all'obiettivo dell'analisi. Proprio per questo motivo, è spesso utilizzata nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale, per analizzare diverse alternative basandosi su molti criteri di analisi, ognuno definito con una specifica unità di misura e tenendo conto non solo della sostenibilità ambientale delle diverse alternative progettuali ma anche in rapporto agli aspetti di fattibilità tecnica.

Uno dei vantaggi dell'analisi multicriterio consiste, proprio, nel considerare il fatto che sia costituita da un insieme di tecniche e dunque in funzione della struttura del problema e degli elementi che possono influire sul processo decisionale, si può individuare il metodo di analisi più appropriato.

4.1.1. Elementi di un'analisi multicriterio

Gli elementi fondamentali che costituiscono un modello di analisi multicriterio sono, in sostanza, i seguenti **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.:**

- I *decisori*, ovvero gli *stakeholders* che sono coinvolti nel processo di valutazione delle tre alternative progettuali e che in base alla linea guida, definita in questo lavoro di tesi, possono usufruire di un ulteriore strumento che può supportarli dal punto di vista tecnico;
- *Identificazione dell'obiettivo*, ovvero lo scopo da raggiungere dopo che il processo decisionale è stato ultimato. Per esempio, nel caso in questione, si considera come obiettivo finale del processo di valutazione, la selezione dell'alternativa progettuale migliore dal punto di vista della compatibilità tecnico-ambientale rispetto alle caratteristiche della piattaforma analizzata;
- *Identificazione delle alternative/opzioni progettuali*. Una volta definiti gli obiettivi, si individuano quelle che sono le ipotesi progettuali su cui verrà effettuata la valutazione e che contribuiranno a raggiungere l'obiettivo stesso. Ciascuna opzione, dovrebbe essere inoltre, definita nel modo più completo possibile, in modo tale da individuare in maniera soddisfacente i relativi criteri di valutazione. Nel caso in esame, tali alternative sono tre e sono rappresentate dai *basic design*, descritti nel sottoparagrafo 1.3.1 :
 - Opzione 1 - Progetto di base per installare a bordo della piattaforma un impianto fotovoltaico (PV) da utilizzare per alimentare un sistema di dissalazione dell'acqua di mare;
 - Opzione 2 - Progetto di base per installare un impianto a bordo della piattaforma per riutilizzare il giacimento esaurito come stoccaggio temporaneo di una miscela di CH_4+H_2 ;
 - Opzione 3 - Progetto di base per l'utilizzo del giacimento esaurito come stoccaggio di CO_2 ;
- *Identificazione dei criteri di valutazione*, ovvero delle caratteristiche/attributi che permettono di confrontare le diverse opzioni e che possono essere misurati, al fine di valutare anche in senso qualitativo, attraverso degli indici, quanto ci si aspetta che una particolare opzione sia adattabile in relazione al criterio. La loro definizione avviene attraverso un'indagine preliminare che può essere realizzata anche attraverso l'impiego di strumenti tecnici come *check-list*, in modo da definire quali caratteristiche possono essere considerate significative e quali possono essere, invece, trascurate. Infine, tali criteri, per essere utilizzati nella valutazione, occorre che siano esaustivi e non ridondanti **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**
- *Stima dei pesi da attribuire ad ogni criterio*: ovvero a ciascuna caratteristica identificata e valutata precedentemente viene definito un ordine di priorità che esprime l'importanza che questa assume nel processo decisionale;
- *Valutazione delle opzioni in funzione dei criteri*: dopo aver valutato i criteri e pesato quest'ultimi, attraverso l'identificazione di un metodo che associa gli indici ai pesi, lo strumento decisionale può essere, finalmente, applicato per definire una classifica delle alternative progettuali;
- *Identificazione dell'opzione migliore*: ovvero dopo che il processo di analisi è stato ultimato si identifica la soluzione più soddisfacente, raggiungendo, in questo modo, l'obiettivo dell'analisi.

Lo schema generale di un'analisi multicriterio può essere rappresentato attraverso un cosiddetto "diagramma ad albero" come quello raffigurato in Figura 20. Tale processo può essere, infatti, definito da tre livelli gerarchici:

- *Livello superiore*: rappresentato dall'obiettivo dell'analisi decisionale;
- *Livello intermedio*: comprende i diversi criteri di valutazione;
- *Livello inferiore*: costituito dalle opzioni che sono oggetto di valutazione.

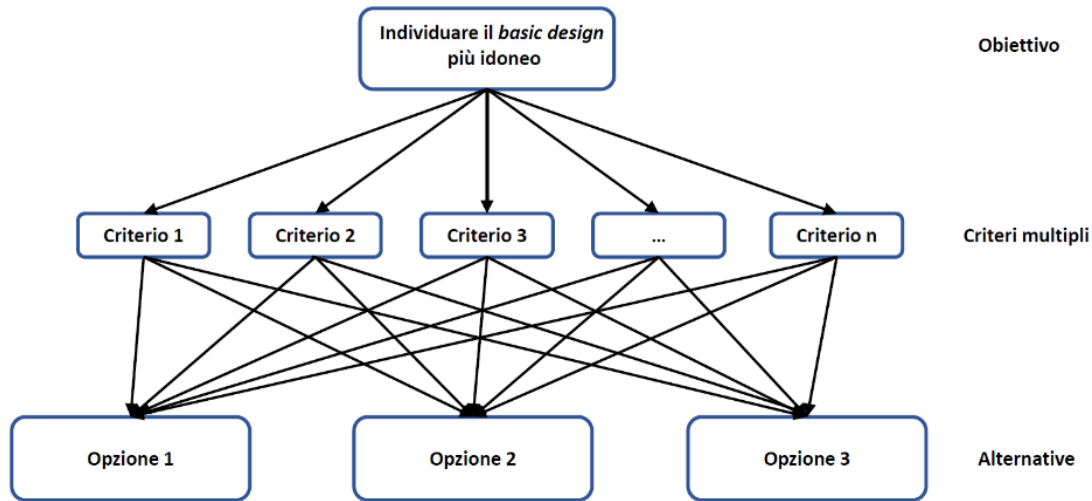


Figura 20: Diagramma ad albero rappresentativo del processo AMC

Come si può osservare dalla rappresentazione in figura, l'output del processo decisionale dipende da tutti i criteri, in particolar modo, è influenzato fortemente dalla modalità con cui viene attribuita l'importanza a ciascuno di essi.

4.1.2. Vantaggi e svantaggi dell'analisi multicriterio

Nell'implementazione del processo AMC, vi è bisogno, di considerare non solo quelli che sono i vantaggi del modello ma anche i suoi limiti che possono essere riassunti nei seguenti punti **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

- *Svantaggi*
 - È un metodo che ha bisogno di molti dati provenienti da diversi settori disciplinari, per cui in alcuni casi è difficile reperire tali informazioni;
 - È basato su un'attribuzione dei pesi che nella maggior parte dei casi è parzialmente soggettiva, condizionando in questo modo l'output.
- *Vantaggi*
 - La valutazione che viene effettuata è trasparente poiché rende disponibili i dati trattati;
 - Permette l'inserimento, nel processo di valutazione, sia di criteri quantitativi che di criteri qualitativi;
 - Libertà nell'utilizzo del metodo di valutazione più appropriato.

In conclusione, i metodi AMC offrono un approccio altamente metodologico e sistematico fortemente adatto allo sviluppo di tool computerizzati, come previsto dal seguente lavoro di tesi, in grado, appunto, di essere utilizzati come strumento diretto di supporto alle decisioni.

L'analisi multi-criterio (AMC) o anche chiamata (in inglese, *Multi-Criteria Decision Making-MCDM*), comprende diverse procedure per interpretare e trattare problemi di natura differente, basati su criteri decisionali. In funzione, infatti, della finalità preposta e del tipo di ambito in cui è analizzato il problema, si opera la scelta del metodo più idoneo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Nel caso in questione, per esempio, effettuando un'analisi dei metodi disponibili in letteratura **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, si è concentrata l'attenzione su problemi decisionali di tipo *discreto*, ovvero costituiti da un numero finito di alternative, individuando tra le tecniche che sfruttano informazioni di tipo *cardinale*, il modello di aggregazione della somma pesata (*Weighted Sum Method-WSM*).

Si è giunti, dunque, all'elaborazione di una procedura di correlazione indice/peso ricavando informazioni da approcci già presenti in letteratura (quali il *WSM* e il metodo Simos) utilizzati all'interno di un processo logico creato ad hoc, per il particolare problema di valutazione.

4.2. Metodo della somma pesata

Il metodo della somma pesata o *Weighted Sum Method (WSM)*, è verosimilmente uno dei metodi decisionali più ampiamente utilizzati, poiché basato su un processo semplice di combinazione lineare, che viene utilizzato in diversi settori scientifici. Tale modello, infatti, sfrutta la proprietà additiva per determinare la migliore soluzione di compromesso tra quelle disponibili. In questo modo, permette di aggregare in un unico valore gli indici di valutazione dei criteri, con i relativi pesi e di determinare le prestazioni di ciascuna opzione.

L'idea su cui si basa tale tecnica è, infatti, quella dell'*utilità additiva*, ovvero, di considerare che il valore finale associato a ciascuna alternativa sia data dalla somma delle proprie *performance*, pesate opportunamente, rispetto a tutti i criteri **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** Ciò permette, dunque, di individuare la migliore soluzione, che esprime, appunto, il miglior risultato globale rispetto agli obiettivi prescelti.

L'aggregazione delle prestazioni, fornisce, inoltre, la possibilità di compensare parzialmente, in base alla definizione dei pesi, le basse *performance* che si ottengono in alcuni criteri con valori elevati conseguiti in altri.

Il livello di adattabilità della piattaforma per ogni alternativa progettuale, viene, dunque, in questa fase, concretizzato e convertito in un insieme di punteggi, che rappresentano singolarmente il valore che l'alternativa i -esima assume rispetto al criterio j -esimo, andando a costituire gli elementi di una matrice denominata *matrice di valutazione* **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

La maggior parte dei metodi *MCDM*, possono infatti, esprimere il problema decisionale, tramite una matrice di ordine $n \times m$ (con $n = 3$ pari al numero delle alternative e $m = 60$ pari al numero dei criteri non vincolanti), il cui elemento generico PC_{ij} indica il punteggio attribuito in termini di prestazioni alla generica opzione A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) rispetto al criterio C_j ($j = 1, 2, \dots, m$).

A ciascuno di quest'ultimi viene, invece, associata un'importanza relativa definita tramite il peso w_j ($j = 1, 2, \dots, m$).

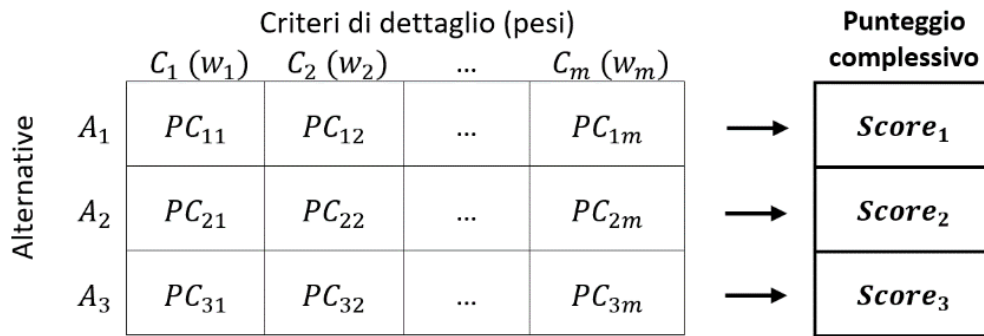


Figura 21: Matrice di valutazione

Per cui stimati i pesi e definiti (con l'ausilio di strumenti che verranno descritti più avanti) i punteggi relativi agli indici, l'output da associare a ciascuna opzione è determinato attraverso la seguente formula **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:

$$Score_i = \sum_k W_k \cdot \sum_j PC_{j|k} \cdot w_{j|k}$$

Dove:

- $Score_i$ = livello di adattabilità della piattaforma in esame rispetto all'alternativa i -esima;
- W_k = peso attribuito alla k -esima macro-categoria;
- $PC_{j|k}$ = punteggio attribuito al j -esimo criterio facente parte della k -esima macro-categoria;
- $w_{j|k}$ = peso attribuito al j -esimo criterio facente parte della k -esima macro-categoria;

In questo modo, mediante metodiche di aggregazione ponderata, basate su formule matematiche, le *performance* di ogni opzione, rispetto ai criteri analizzati, vengono ricondotte in "Score", consentendo di ricavare una classifica delle alternative progettuali.

4.3. Implementazione della metodologia nel tool

Per poter sviluppare un software in grado di supportare il processo decisionale, è necessario implementare la metodologia appena descritta, riguardante l'analisi multicriterio, all'interno della fase di progettazione dell'applicativo informatico. In particolar modo, risulta indispensabile, adattare gli indici e i pesi, definiti nel capitolo precedente, ai parametri richiesti nel modello lineare della somma pesata.

4.3.1. Codifica degli indici di valutazione

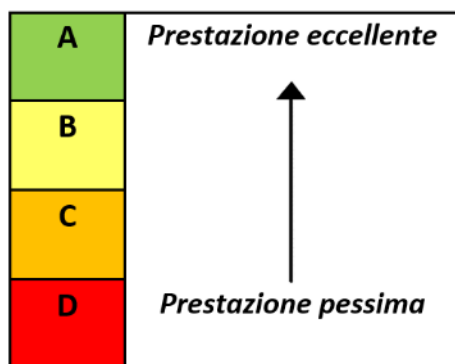
La prima questione da affrontare, è relativa, per appunto, alla modifica che deve essere effettuata per convertire gli indici in relativi punteggi ($PC_{j|k}$) da attribuire ad ogni criterio. Per raggiungere tale scopo, è opportuno, dunque, trasformare una caratteristica categorica ordinale (A, B, C, D) in un formato applicabile per l'algoritmo del tool, ovvero, in una variabile numerica discreta (Es. 1, 2, 3, 4).

Risulta fondamentale, d'altronde, far sì che la scala di valutazione composta da 4 livelli, indicativi della prestazione della singola opzione rispetto al generico criterio, rimanga la medesima, associando a quest'ultima, non più delle lettere ma dei numeri interi. La scala numerata, infatti,

facilita lo svolgimento dell'analisi, codificando la valutazione qualitativa degli indici in una stima quantitativa che rappresenta il punteggio attribuito al j -esimo criterio.

Per poter procedere con tale conversione, vi è bisogno però di considerare anche il peso che viene attribuito alla singola caratteristica, individuando se questa assume un valore positivo o negativo, ovvero se il criterio è di beneficio o di costo. Osservando, infatti, i livelli prestazionali identificati dalla scala di valutazione, sembra evidente, che per raggiungere, a parità di peso positivo, la prestazione eccellente, l'indice A debba corrispondere al punteggio più elevato, ovvero 4, viceversa nel caso di caratteristiche negative, per definire il livello prestazionale "migliore", dunque meno sfavorevole, l'indice A deve essere codificato con il valore più basso, ossia 1. Allo stesso modo, così facendo, si procede in maniera graduale per la quantificazione degli altri indici.

Valutazione qualitativa degli indici



Valutazione quantitativa degli indici

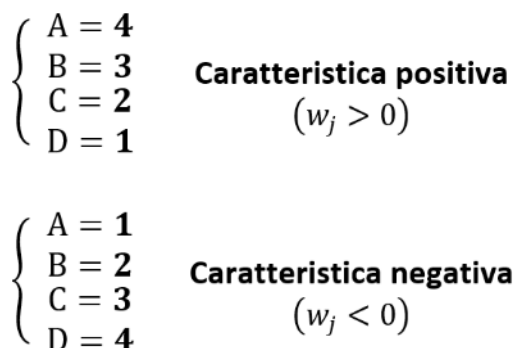


Figura 22: Codifica degli indici

4.3.2. Normalizzazione dei pesi

In secondo luogo, per applicare il modello della somma pesata, risulta necessario, come accennato in precedenza, effettuare un'ulteriore conversione anche per quanto riguarda i coefficienti di ponderazione, ossia i pesi, che sono stati individuati considerando un range di riferimento compreso tra -3 e +3. Nel momento in cui, infatti, questi vengono inseriti all'interno della formula matematica vi è bisogno che siano normalizzati nel nuovo intervallo compreso tra -1 e +1.

Come è stato possibile osservare nella fase di attribuzione dei pesi, determinare l'importanza che ogni criterio assume rispetto agli altri, è un compito abbastanza difficile. In generale, però per assegnare un valore normalizzato a quest'ultimi, in letteratura sono presenti diversi metodi, tra i quali, in questo elaborato, si riporta la procedura proposta da J.Simos (1990), ampiamente utilizzata in diversi campi scientifici e nota anche come "Metodo delle carte".

Partendo, infatti, dall'ordine di priorità, stabilito nel capitolo precedente, si definisce una gerarchia sui criteri di valutazione, utilizzando una procedura basata su "carte da gioco".

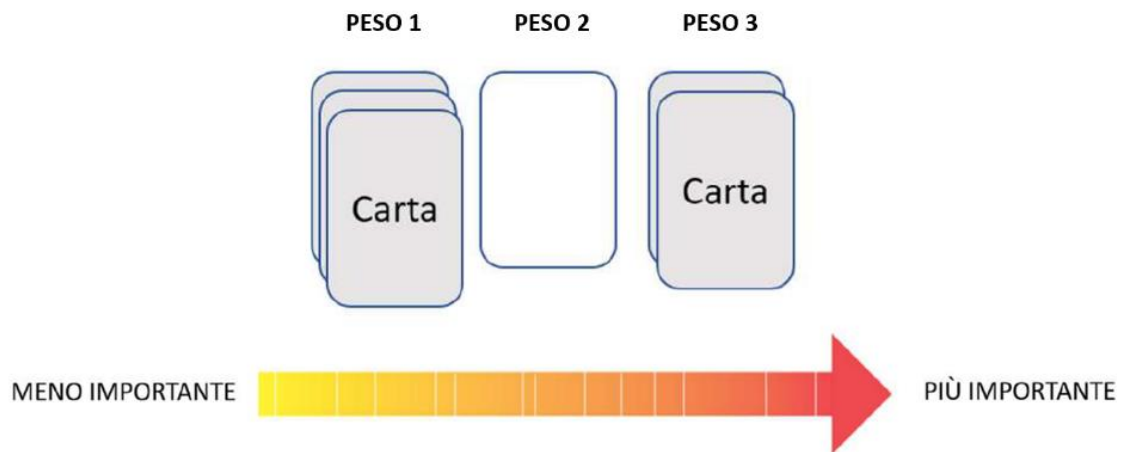


Figura 23: Schema Metodo di Simos **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata..

Ad ogni criterio viene, infatti, associata una carta, ottenendo così un mazzo di m carte con scritto su ognuna il relativo peso non normalizzato e *blank cards*. Per prima cosa, si ordinano, le carte (“criteri”) in base all’importanza espressa dal relativo peso non normalizzato, in ordine crescente, dalla meno importante alla più importante. Se due o più carte hanno la stessa importanza si crea un sottoinsieme, impilandole una sopra all’altra. In questo modo, si ottiene un primo ordinamento completo dei criteri, in base al peso non normalizzato, con un numero di ranghi pari ai pesi. Per tener conto della differenza di priorità tra i criteri, nel caso in cui, in corrispondenza di un rango non è presente nessun criterio, si inserisce una carta bianca tra quelle ordinate in precedenza **Errore**. **L'origine riferimento non è stata trovata..**

Sulla base di questo ordinamento viene calcolato il peso normalizzato, considerando il seguente algoritmo [43]:

- Ogni criterio e ogni carta bianca, in base alla disposizione definita in precedenza, ottengono un punteggio corrispondente alla posizione della carta in graduatoria, dalla meno qualificata (Posizione 1) alla più qualificata (Ultima posizione).
- Viene determinato il punteggio medio di ogni rango, dividendo la somma dei punteggi o posizioni del rango per il numero totale dei criteri, che appartengono ad esso.
- Infine, si calcola il peso normalizzato di ogni criterio, dividendo il punteggio medio di ogni rango per la somma totale dei punteggi di tutti i criteri (senza considerare le *blank cards*).

Di seguito, si riporta un esempio relativo all’applicazione del metodo appena definito, nel processo di normalizzazione dei criteri positivi:

Tabella 21: Esempio applicazione Metodo di Simos ai criteri positivi dell’Opzione 2

| Rank/Peso | Sottoinsieme numero criteri | | | Numero di carte | Posizioni/Punteggio | | | Punteggio medio | Peso normalizzato |
|-----------|-----------------------------|----|----|-----------------|---------------------|----|---|-----------------|-------------------|
| 1 | 3 | 9 | | 2 | 1 | 2 | | 1,5 | 0,023 |
| 2 | 6 | 10 | 11 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 0,061 |
| 3 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 8 | | 6 | 0,129 |
| | | | | Somma | 11 | 66 | | | |

Dunque, tale procedura permette di dare maggior importanza ai criteri con peso elevato, considerando che la differenza di peso tra sottoinsiemi successivi è influenzata dal numero di criteri

che appartengono allo stesso sottoinsieme e che hanno dunque il medesimo coefficiente di ponderazione.

Infine, il processo di normalizzazione, appena analizzato, è stato adattato al caso in esame, considerando che i pesi iniziali possano assumere anche valori negativi, suddividendo la procedura in due diversi step:

- Normalizzazione dei pesi per i criteri positivi ($w_j > 0$);
- Normalizzazione dei pesi per i criteri negativi ($w_j < 0$);

Per meglio dire, nel caso di caratteristiche di beneficio, i pesi definiti nella metodologia sono stati tutti normalizzati in modo tale da avere come somma vettoriale 1.

Tabella 22: Vettore pesi positivi (Opzione 2)

| Numero criterio | Pesi non normalizzati | Pesi normalizzati |
|-----------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 3 | 0,129 |
| 2 | 3 | 0,129 |
| 3 | 1 | 0,023 |
| 4 | 3 | 0,129 |
| 5 | 3 | 0,129 |
| 6 | 2 | 0,061 |
| 7 | 3 | 0,129 |
| 8 | 3 | 0,129 |
| 9 | 1 | 0,023 |
| 10 | 2 | 0,061 |
| 11 | 2 | 0,061 |
| | Somma | 1 |

È importante sottolineare, che in questo caso, i pesi con valore pari a 0, essendo attribuiti a criteri ininfluenti per l'implementazione di un'opzione, non sono stati presi in esame nella normalizzazione. Nel caso dei criteri di costo, invece, i pesi sono stati tutti normalizzati in modo da ottenere come somma -1. Precisando che tale risultato, lo si può raggiungere soltanto se si effettua una piccola variazione al metodo di Simos, ovvero assegnando punteggi non più positivi ma al contrario negativi. Di seguito, si riporta un esempio dei risultati ottenuti dalla normalizzazione, con i vettori dei pesi per ogni macro-categoria, mentre per la trattazione completa del metodo e delle sue diverse applicazioni al caso studio, si rimanda al lavoro di tesi magistrale di A. Martini[28].

Tabella 23: Vettori dei pesi normalizzati per ogni macro-categoria (Opzione 2)

| Numero criterio | Aspetti ambientali | Sicurezza | Compatibilità ambientale e territoriale | Utilità opzione | Riconversione e decommissioning | Tecnologie e design |
|-----------------|--------------------|-----------|---|-----------------|---------------------------------|---------------------|
| 1 | -0,035 | -0,020 | -0,005 | -0,035 | -0,035 | 0,061 |
| 2 | -0,020 | -0,020 | -0,005 | 0,129 | -0,035 | 0,129 |
| 3 | -0,020 | -0,020 | -0,020 | | -0,020 | 0,129 |
| 4 | -0,020 | -0,020 | -0,035 | | -0,035 | 0,023 |
| 5 | -0,035 | -0,020 | 0 | | 0,129 | 0,061 |
| 6 | -0,035 | -0,020 | 0,129 | | -0,005 | 0,061 |
| 7 | -0,035 | -0,020 | 0,129 | | -0,020 | |

| Numero criterio | Aspetti ambientali | Sicurezza | Compatibilità ambientale e territoriale | Utilità opzione | Riconversione e decommissioning | Tecnologie e design |
|-----------------|--------------------|-----------|---|-----------------|---------------------------------|---------------------|
| 8 | -0,020 | -0,020 | 0,023 | | -0,020 | |
| 9 | -0,005 | -0,020 | | | -0,005 | |
| 10 | -0,005 | -0,020 | | | -0,035 | |
| 11 | -0,005 | -0,035 | | | | |
| 12 | -0,020 | -0,035 | | | | |
| 13 | -0,020 | -0,035 | | | | |
| 14 | -0,020 | -0,005 | | | | |
| 15 | -0,005 | | | | | |
| 16 | -0,020 | | | | | |
| 17 | -0,005 | | | | | |
| 18 | -0,005 | | | | | |
| 19 | -0,020 | | | | | |
| 20 | -0,035 | | | | | |

A valle dagli esiti derivanti dall'applicazione del metodo di Simos, si può osservare che in media, i pesi positivi, presi singolarmente, contribuiscono alle performance in maggior misura rispetto ai pesi negativi. Questo risultato è ottenuto poiché la normalizzazione dei criteri avviene in maniera separata, in funzione del segno del relativo peso, per cui una maggiore numerosità delle caratteristiche di costo permette di distribuire la somma -1, su più criteri, ottenendo un valor medio, in questo caso, quattro volte inferiore rispetto alla media dei positivi.

Infine, per applicare tale normalizzazione e far sì che due criteri con lo stesso peso originario ma appartenenti a macro-categorie differenti, siano comparabili, è necessario che dal punto di vista tecnico, il peso W_k attribuito alla k-esima macro-categoria sia imposto pari a 1.

Come si vedrà, nel successivo capitolo, i vettori dei pesi normalizzati, appena individuati, saranno implementati nel tool, come impostazioni di default.

5. Sviluppo del tool

In questo lavoro di tesi, tra gli obiettivi, come è stato già ribadito, vi è proprio la creazione di uno strumento informatico provvisto di interfaccia grafica per la valutazione di diverse alternative circa la riconversione di piattaforme offshore in dismissione.

Il seguente capitolo ripercorre, dunque, i passaggi fondamentali di realizzazione del tool, in grado di rendere automatico il processo di analisi descritto nei precedenti capitoli. In secondo luogo, descrive la logica di funzionamento che è stata applicata, rappresentando graficamente i passaggi che l'algoritmo deve eseguire per calcolare l'output finale, ossia, il livello di adattabilità della piattaforma per ogni alternativa progettuale.

Una volta ultimato il processo di definizione della metodologia dal punto di vista teorico e adattato i parametri del modello al processo di informatizzazione, risulta, infatti, necessario, descrivere le fasi di elaborazione del software, in modo da verificare, successivamente, le sue funzionalità attraverso dei casi applicativi.

5.1. Specifiche del tool

Risulta opportuno, prima di procedere nella descrizione delle fasi che hanno portato allo sviluppo del tool, definire le specifiche caratteristiche che lo strumento di supporto deve avere per applicare in maniera idonea la metodologia definita in precedenza.

È necessario che tale software vada a soddisfare alcune esigenze di natura tecnica in modo tale da ottenere un ottimo mezzo per aiutare il processo decisionale. Di seguito si riportano alcuni requisiti generali:

- Il software deve esaminare una piattaforma alla volta, con l'obiettivo di estrarre da una rilevante quantità di dati inseriti dall'utente, informazioni utili per definire il livello di adattabilità della struttura analizzata rispetto alle tre opzioni di riconversione;
- Il tool deve poter essere applicato per verificare l'adattabilità anche di una o due opzioni, non necessariamente per analizzare tutte e tre le alternative, le quali potrebbero già comunque essere in parte scartate dalla valutazione attraverso i criteri vincolanti;

- I pesi definiti durante la fase metodologica devono essere implementati nel tool come impostazioni di default;
- Il software deve rendere automatico il processo di attribuzione degli indici per ogni criterio, in funzione delle risposte fornite dall'utente;
- Lo strumento informatico deve rendere semplice la compilazione dei campi di dati richiesti attraverso una serie di finestre di dialogo e interfaccia grafiche;
- Il tool deve calcolare l'output in forma aggregata, definendo un punteggio per ogni opzione e calcolando la rispettiva percentuale di adattabilità, riportando anche valutazioni di dettaglio sul contributo di ogni macro categoria;
- Il software deve essere flessibile in modo tale da poter lavorare anche con dati incompleti e fornire un livello di incertezza sul punteggio ottenuto da ogni opzione.

5.2. Elaborazione e logica di funzionamento del tool

Prima di esaminare la logica su cui si basa l'applicazione è bene sottolineare le principali ipotesi che sono state fatte, descrivendo, in linea generale, quali sono le sue funzioni.

Innanzitutto, lo sviluppo del tool nasce dalla necessità di avere uno strumento in grado di supportare il processo di *decision-making* che contraddistingue la fase preliminare di studio di fattibilità tecnico-ambientale dei progetti esaminati. Il software permette, infatti, di rispondere ai quesiti relativi ai criteri analizzati nel Capitolo 3, sotto forma di questionario, attraverso una successione di finestre di dialogo, più volte richiamate tramite immagini all'interno della seguente trattazione. L'utente, in questo modo, può interagire in maniera semplice con il programma, selezionando direttamente la risposta, se fornita, oppure inserendo manualmente i dati richiesti per le successive elaborazioni del tool.

L'applicazione è stata sviluppata utilizzando il linguaggio di programmazione MATLAB, nell'omonimo ambiente di sviluppo e analisi dei dati, sfruttando le caratteristiche peculiari di tale software, ossia la possibilità di scrivere dei programmi (*Script*) ma anche di integrare interfacce e output grafici.

In questo lavoro, è stato, dunque, messo a punto, un algoritmo generale in grado di interagire con diverse *GUI (Interfaccia grafica utente)*, create tramite il tool di sviluppo, *App Designer*, integrato in MATLAB. Per progettare ogni singola finestra grafica è stato necessario, infatti, individuare non solo i componenti di visualizzazione ma anche programmare il loro comportamento.

È stato costruito, inoltre, un database mediante un foglio di calcolo Excel, che interagisce con l'applicativo, in modo da organizzare i parametri di default in forma matriciale. I vettori dei pesi normalizzati, per esempio, in questo modo, possono essere inseriti in MATLAB ad ogni esecuzione del programma, calcolando così l'output finale.

Per quanto concerne, lo sviluppo del software, si possono, invece, considerare i seguenti step:

- Individuazione dei formati relativi ai dati in input;
- Programmazione del codice relativo allo script generale;
- Sviluppo delle finestre grafiche sotto forma di *GUI*;
- Creazione del database;
- Implementazione del modello multicriterio;

- Test funzionali di validazione.

Nella figura seguente viene riportata la logica di funzionamento che è stata applicata, individuando gli input e gli output del tool:

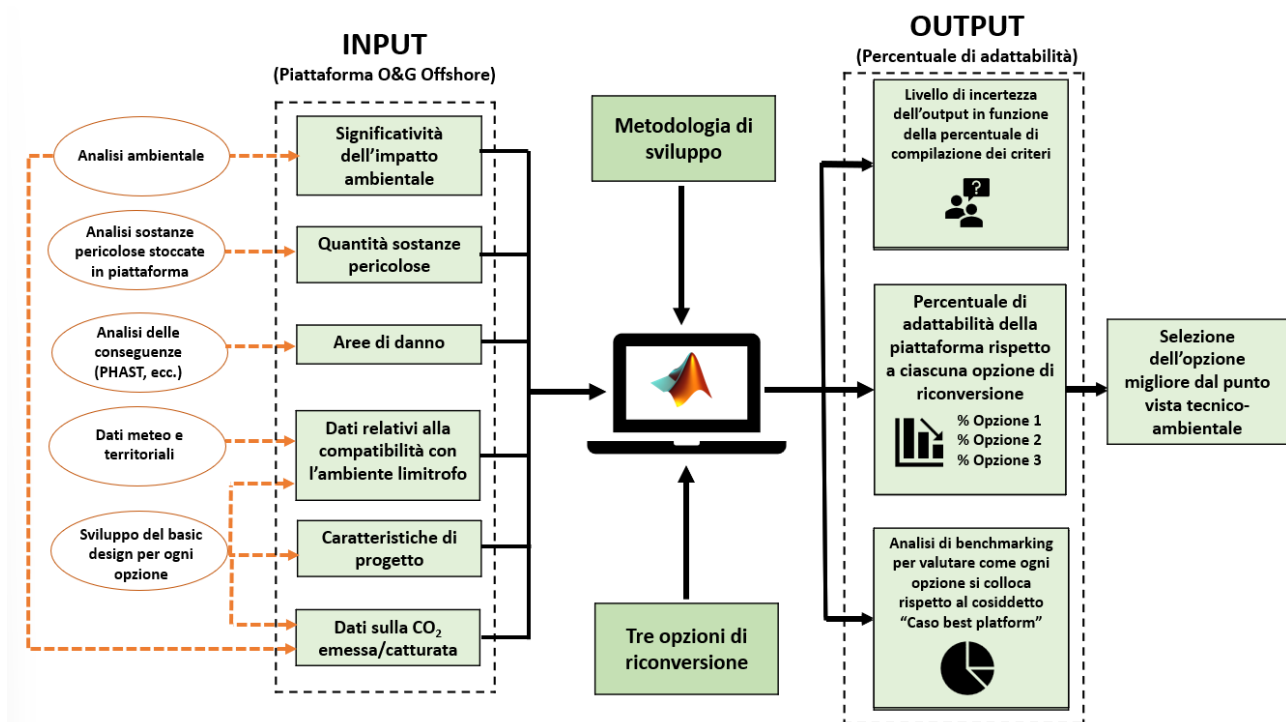


Figura 24: Logica di funzionamento del tool

In questo caso, come si può osservare dallo schema concettuale, il software sviluppato in ambiente MATLAB, richiede di ricevere molteplici dati in input relativi alla specifica piattaforma O&G offshore.

È necessario tener presente, che l'utente debba compilare i campi richiesti inserendo dati e informazioni basate su diverse analisi inerenti alla fattibilità tecnico-ambientale delle tre alternative rispetto alla struttura in esame. Ad esempio, nel caso dei criteri riguardanti gli aspetti ambientali, sia in *normal operation* che durante la fase di riconversione, risulta indispensabile fornire una risposta ai quesiti, solo dopo aver effettuato un'analisi ambientale basata sulla valutazione della loro significatività. Nel caso, invece, degli aspetti di sicurezza, per individuare i quantitativi di prodotti pericolosi stoccati a bordo della piattaforma è necessario analizzare i diversi processi coinvolti negli impianti, individuando la tipologia di sostanza con la relativa classificazione e lo stato fisico a cui si trova. Successivamente il software richiede anche l'estensione delle aree di danno sviluppatesi da rilasci incidentali, per cui è doveroso applicare uno degli step fondamentali

dell'analisi delle conseguenze, ossia la simulazione del fenomeno incidentale che può essere effettuata, a discrezione dell'analista, in diversi modi attraverso molteplici modelli, con software commerciali a disposizione, come PHAST.

Nel caso dei dati richiesti dal tool, inerenti alla compatibilità ambientale dell'opzione rispetto alle caratteristiche meteorologiche e territoriali dell'area in cui si trova l'infrastruttura, risulta inevitabile che tali informazioni debbano, invece, essere ricavate attraverso non solo analisi meteo e studi di giacimento ma anche tramite la determinazione delle caratteristiche di impianto, definite in fase di *basic design*. Inoltre, si richiede, che l'utente effettui sulla base delle informazioni relative ai diversi progetti, una stima della quantità di CO₂ evitata o catturata attraverso il nuovo impianto.

In seguito, dunque, il tool, avendo ricevuto in input tutte le informazioni relative alle tre opzioni implementate sulla specifica piattaforma, processa i dati andando ad assegnare ad ogni criterio un indice, sulla base della metodologia di analisi che è stata già implementata con i suoi parametri all'interno dell'applicativo.

Il software, inoltre, mediante il modello *WSM*, calcola l'output sotto forma di percentuale di adattabilità rispetto a ciascuna alternativa, andando a fornire informazioni utili per supportare i decisori dal punto di vista tecnico anche attraverso un confronto con il caso studio relativo alla piattaforma ideale.

L'obiettivo principale del progetto, relativo alla realizzazione del tool è, infatti, quello di ottenere un vero e proprio *DSS (Decision Support System)*, basato sui concetti dell'analisi multicriterio. Il programma sviluppato sarà, infatti, in grado di definire, in futuro, per qualsiasi piattaforma presente in Italia, se è compatibile o meno con i progetti proposti e per quale di questi, il livello di adattabilità è maggiore.

Tale applicazione, oltre ad essere quanto più possibile automatizzata e flessibile, permette di ridurre in maniera notevole i tempi necessari per effettuare la valutazione basata sulla metodologia definita nella linea guida, permettendo all'analista o decisore, in quanto utente, di interagire direttamente con tale strumento.

Lo strumento di supporto è stato programmato, infine, in maniera tale da determinare in funzione della percentuale di compilazione di ogni opzione un determinato livello di incertezza, che verrà in seguito analizzato.

5.3. Algoritmo eseguito dal software

Nel seguito della trattazione, verrà rappresentato graficamente, attraverso diversi passaggi, l'algoritmo che deve essere eseguito dal programma per raggiungere l'output finale. In particolare, attraverso dei diagrammi di flusso, si riporteranno, in maniera schematica le operazioni che sono svolte dal tool, con lo scopo di valutare tutti gli scenari in esame.

Verrà esposta, inoltre, la logica ingegneristica che vi è dietro il codice sviluppato, seguendo step by step la procedura di analisi che è stata teorizzata nei precedenti capitoli e su cui si basa il seguente applicativo. La struttura dell'algoritmo risulta essere, inoltre, la stessa per tutte e tre i contesti analizzati, mentre le valutazioni che vengono effettuate dal tool variano a seconda dell'opzione presa in esame.

A seguire viene riportato, ad esempio, un diagramma a blocchi che identifica, in modo schematico e ad un livello globale, non solo le diverse fasi essenziali con il quale il software elabora e compie le operazioni ma anche i passaggi che sono eseguiti dall'utente quando interagisce con il tool.

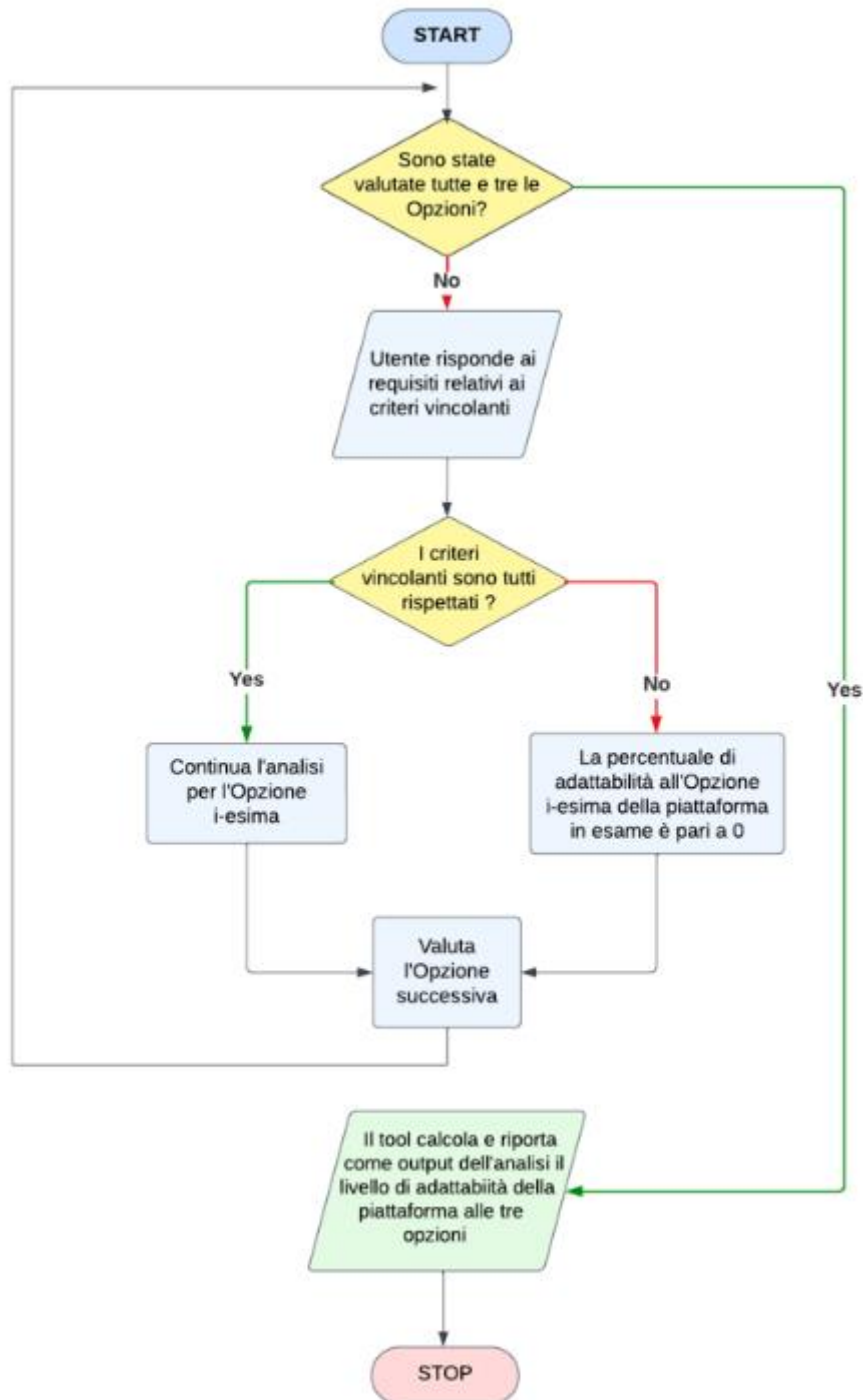


Figura 25: Diagramma di flusso generale del tool

L'applicativo software è progettato, con l'intento di far sì che l'output per ciascuna alternativa sia calcolato e comunicato all'utente solo dopo aver ultimato tutta la procedura di analisi, per cui

l'algoritmo procede nella valutazione iterativa di ogni scenario fino a quando tutte le opzioni non siano state completamente esaminate.

Considerando la metodologia definita nelle linee guida di riconversione, risulta essenziale, proseguire tenendo presente la scala di priorità che è stata attribuita ad ogni criterio di dettaglio.

Infatti, come si può osservare in Figura 25, tramite il diagramma di flusso generale relativo all'algoritmo implementato nel tool, si è ritenuto essenziale considerare come primo step della procedura di analisi proprio la compilazione della lista dei requisiti ritenuti vincolanti, per ogni opzione, tenendo presente che l'utente può interfacciarsi con tale applicazione, inserendo direttamente le informazioni richiesti da quest'ultima.

Come è stato già definito nel Capitolo 2, per criteri vincolanti, si fa riferimento a quegli aspetti tecnici che si dimostrano essere di primaria importanza nella fattibilità di ciascun scenario e che se non soddisfatti, rendono impossibile la realizzazione di quel determinato progetto di riconversione sulla piattaforma in esame. Per tener conto di ciò, se anche solo uno dei criteri vincolanti non fosse rispettato, il tool provvede direttamente ad escludere le alternative ritenute non adatte alla specifica struttura offshore. L'output dell'analisi, ovvero, la percentuale di adattabilità della piattaforma rispetto ad un'opzione viene, infatti, azzerata, in modo tale da eliminare direttamente tale alternativa dal processo decisionale, interrompendo in questo modo, l'analisi di quell'opzione e procedendo direttamente nella valutazione della successiva.

Di seguito, si riporta a titolo di esempio, la finestra grafica riguardante i requisiti richiesti dal tool per i criteri vincolanti nell'Opzione 1, precisando che questi prevedono una sola risposta tra due modalità del tipo SI/NO:

Criteri vincolanti: Opzione 1

Tecnologie e Design

1. La superficie emersa della piattaforma in esame è > 270 m² SI NO

2. Presenza di cluster di piattaforme SI NO

CONFERMA

Figura 26: Finestra grafica relativa ai criteri vincolanti (Opzione 1)

Entrando nel programma vero e proprio e seguendo le operazioni dettagliate svolte dal software, si può osservare che, secondo quanto riportato in Tabella 2, alcuni criteri risultano vincolanti per più alternative progettuali, per cui, ad esempio, nel caso della soglia riguardante la superficie minima della piattaforma, se non è ottemperata, il tool restituisce a schermo direttamente una percentuale di adattabilità pari allo 0% per tutte le alternative progettuali.

In caso contrario, se tutti i criteri vincolanti sono rispettati, a questo punto, il tool procede con l'analisi effettiva dell'opzione in esame, compilando le richieste relative ai criteri non vincolanti, ovvero, quei parametri che non impediscono la fattibilità o meno di un progetto ma permettono di valutare con la loro specifica importanza, l'output finale.

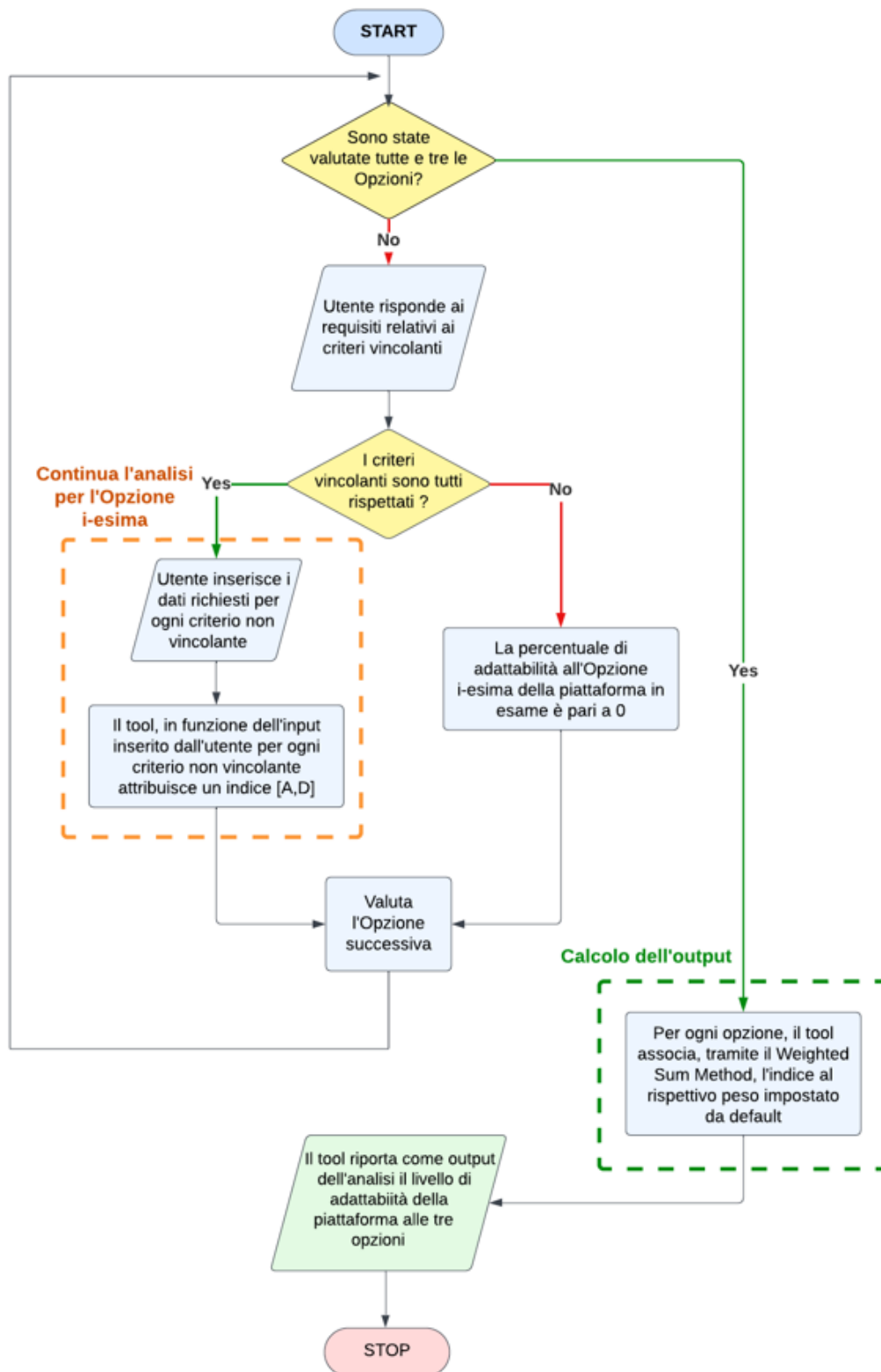


Figura 27: Dettaglio del diagramma di flusso circa l'analisi dei criteri non vincolanti

Il secondo step, dopo la valutazione dei criteri non vincolanti, è appunto, l'analisi dei criteri di dettaglio. Il tool richiede la compilazione di una lista di quesiti, sotto forma di questionario, mediante un serie di finestre di dialogo, in funzione delle macro-categorie definite nella fase metodologica. L'utente inserisce, infatti, i dati che sono richiesti dal programma, ottenuti attraverso

le proprie analisi, compilando i diversi campi o selezionando direttamente, nel caso di quesiti a scelta multipla, la relativa risposta.

In funzione degli input inseriti, il tool attribuisce in maniera automatica l'indice al criterio non vincolante, considerando i range di grandezze che sono stati impostati da default dallo sviluppatore del software, stabiliti in fase di definizione della linea guida. L'utente che interagisce con il tool non può modificare, quindi, l'associazione tra gli intervalli di una data caratteristica e il corrispondente parametro di valutazione.

In particolare, all'interno dell'algoritmo, come già illustrato nel Capitolo 4, ad ogni range viene associato una variabile di tipo numerica che definisce il punteggio attribuito allo specifico criterio, in funzione del valore positivo o negativo che viene assunto dal corrispondente peso.

Ad esempio nel caso di seguito riportato, per il criterio relativo alla producibilità dell'impianto fotovoltaico, la finestra grafica prevede l'inserimento dei seguenti parametri, utili al calcolo dell'omonima caratteristica.

The screenshot shows a software interface with the following content:

- Compatibilità ambientale e territoriale**
- 5. Analisi Producibilità impianto fotovoltaico**
- 5.1. Radiazione solare media annua incidente sul piano inclinato ottimale: kWh/m² 1735
- 5.2. Efficienza di conversione del modulo fotovoltaico: % 19.34
- 5.3. Rendimento BOS-Balance of System: % 70
- 5.4. Coefficiente di riduzione per eventuali ombreggiamenti [0.95 - 0.97]: [-] 0.97

At the bottom, there is a red button labeled **CONFERMA** and a note: *Nota: Inserire punto come separatore decimale*.

Figura 28: Esempio di finestra grafica per inserimento dati di input (GREEN 1)

Dopo che l'utente ha compilato i relativi campi e dato conferma all'applicativo, il tool elabora, dunque, le informazioni andando a determinare in quale range ricade il valore calcolato. Per fare questo, nell'algoritmo, come si può osservare nel seguente *flow chart*, vengono definite delle istruzioni, chiamate strutture di controllo condizionali, che se verificate eseguono il relativo pezzo di codice, altrimenti proseguono il flusso del programma fino a quando una delle condizioni non viene verificata, assegnando il relativo indice.

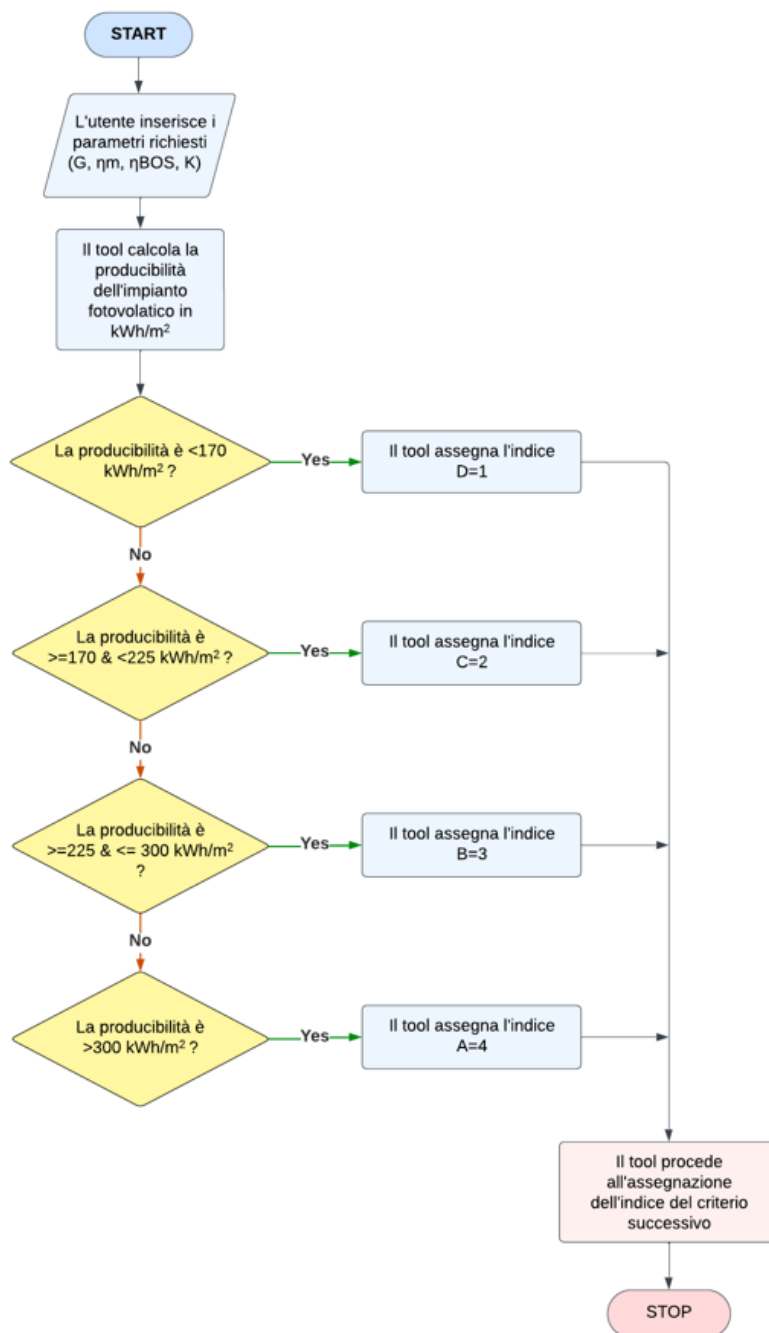


Figura 29: Esempio diagramma di flusso per l'assegnazione dell'indice al criterio

Nel caso applicativo in questione (*GREEN 1*), per esempio, al valore di producibilità calcolato dal tool, è stato attribuito il seguente indice:

Tabella 24: Esempio assegnazione dell'indice da parte del tool (*GREEN 1*)

| Producibilità dell'impianto fotovoltaico [kWh/m ²] | Indice assegnato |
|--|------------------|
| 227.84 | B = 3 |

Tale procedura viene, dunque, ripetuta per ogni opzione, per tutti i criteri non vincolanti, in quanto a seconda dello scenario di riconversione, le stesse caratteristiche possono avere indici differenti.

Ogni qualvolta che viene assegnato un indice, il relativo punteggio viene posizionato come elemento numerico all'interno del vettore corrispondente alla propria macro-categoria di appartenenza.

Conclusa la valutazione per tutte le opzioni, per ottenere i tre risultati finali, risulta necessario che per ogni alternativa e per ogni criterio non vincolante, tramite il modello del *WSM*, il programma vada a correlare il punteggio assegnato con il corrispettivo peso normalizzato e impostato da default. Il vettore relativo agli indici "numerici" di ogni macro-categoria, viene, infatti, moltiplicato per l'equivalente vettore dei pesi normalizzati, presente nel database. In questo modo, il tool, calcola l'output in forma aggregata, individuando il livello di performance di ogni opzione.

In particolare, il software determina il livello di adattabilità della piattaforma per ogni alternativa progettuale sotto forma di score, fornito appunto dalla combinazione lineare dei pesi e degli indici di performance, confrontando gli scenari anche attraverso la definizione di una percentuale di adattabilità che tiene conto del punteggio delle tre opzioni in esame. Attraverso un'analisi di dettaglio dei risultati, per ciascuna alternativa, viene individuato, inoltre, il "peso" con il quale ogni macro-categoria contribuisce alla determinazione del punteggio. Si deve tener presente, infine che il software è programmato in modo da individuare in funzione della percentuale di compilazione dei criteri, un determinato range di incertezza associato al calcolo dello score complessivo.

Infine, in allegato, per una maggiore comprensione viene riportato un breve manuale d'uso relativo al tool.

6. Applicazione del tool al caso studio: GREEN 1

Nel seguente capitolo, il tool per la valutazione delle opzioni di riconversione, è stato validato attraverso un'analisi completa dei dati relativi alla piattaforma "tipo" GREEN1, rappresentativa del panorama italiano e per la quale si dispone di documentazione tecnica.

Al fine di testarne l'utilizzo ed esprimere le sue potenzialità, tale strumento è stato applicato su un impianto offshore, avendo gran parte dei dati di input relativi agli aspetti tecnici a disposizione, poiché presenti all'interno dei *basic design* citati nel Capitolo 1. Con lo scopo di testare l'intera compilazione del software, per le tre opzioni in esame, sono state effettuate anche delle ipotesi, soprattutto su alcune informazioni relative agli aspetti ambientali, tenendo presente la fase preliminare dei progetti di riconversione.

Conclusa, dunque, l'elaborazione del software, in seguito si riportano i dati inseriti come input nel tool per effettuare tale applicazione pratica.

6.1. Compilazione requisiti vincolanti

Considerando gli step richiesti dal tool, nella sua compilazione, l'utente si ritrova, come già riportato nel capitolo precedente, a rispondere, prima di tutto, alla lista di criteri ritenuti vincolanti per ogni opzione. In questo caso applicativo, poiché l'obiettivo del test è quello di riportare un primo risultato sul corretto funzionamento del tool e sulla metodologia definita a livello teorico, si ipotizza che GREEN 1 rispetti effettivamente tali criteri.

Tenendo presente i progetti preliminari, si dimostra, infatti, che la piattaforma in questione rispetti pienamente gli aspetti essenziali per la fattibilità di ciascun scenario.

Pertanto, il tool non escludendo nessuna alternativa, procede con l'analisi di ogni singola opzione, andando, infine, a riportare l'output per la piattaforma in esame.

6.2. Dati di input per i criteri non vincolanti

Dopo la valutazione dei criteri vincolanti, l'utente procede, a questo punto, con la compilazione dei criteri di dettaglio per ogni opzione. Il tool richiede, dunque, di inserire, dopo le opportune analisi, i dati di input per rispondere ai relativi quesiti, compilando i diversi campi presenti nell'interfacce grafiche.

Le informazioni richieste, sono, inoltre, suddivise in base alle macro-categorie definite nella fase metodologica, per cui, di seguito, in maniera analoga a quanto è stato fatto nella compilazione del tool, si riporteranno i dati inseriti per il caso applicativo GREEN 1.

- **Aspetti ambientali**

Per effettuare una valutazione degli aspetti ambientali, in *normal operation*, basata su una comparazione tra la configurazione post e pre-riconversione, vengono implementati due diversi approcci di analisi.

In funzione, infatti, della tipologia di criterio analizzato, qualitativo o quantitativo, si considerano le seguenti procedure di valutazione:

- *Criterio qualitativo*

Per fornire una risposta qualitativa ai quesiti, in assenza di dati specifici, si procede, tenendo presente come riferimento l'analisi ambientale effettuata in ognuno dei *basic design* [19][20][21], per la piattaforma GREEN 1. La significatività dell'impatto legato ad ogni aspetto, espressa in punteggi, nello scenario post-riconversione $Score_{post}$, viene, infatti, comparata con un valore conservativo di baseline pre-riconversione, assunto, indicativamente, pari a $Score_{pre} = 10$, ovvero all'impatto ambientale con effetti di media entità.

Pertanto, per ogni aspetto si procede nell'individuare l'attività che ha il punteggio maggiore per l'analisi ambientale, in post-riconversione, ottenendo così lo scostamento sul valore di *baseline*:

$$\Delta score = \max (Score_{post}) - Score_{pre}$$

Confrontando, infine, tale differenza con la seguente scala di classificazione si può direttamente selezionare la risposta:

Tabella 25: Scala di riferimento per l'individuazione della risposta dei criteri qualitativi

| $\Delta score$ | Descrizione |
|-------------------------|--|
| ≤ -3 | L'indicatore è molto inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| $-3 < \Delta score < 0$ | L'indicatore è inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| 0 | L'indicatore è analogo rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| ≥ 1 | L'indicatore è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

Esempio:

Aspetto ambientale: Produzione di rumore e vibrazioni

Tabella 26: Esempio di applicazione della procedura di definizione della risposta qualitativa

| Opzione | Attività rilevante | Punteggio dall'analisi ambientale $\max (Score_{post})$ | $\Delta score$ | Descrizione |
|---------|--|--|----------------|-------------------|
| 1 | Movimentazione gru e parti in movimento del package di dissalazione | 7 | -3 | È molto inferiore |
| 2 | Parti in movimento dei turbocompressori per la compressione della miscela | 8 | -2 | È inferiore |
| 3 | Parti in movimento dell'elettrocompressore per la compressione del flusso di CO ₂ | 8 | -2 | È inferiore |

- Criterio quantitativo

Per quanto riguarda i criteri quantitativi, tenendo presente la fase preliminare dei progetti, non avendo informazioni sulla configurazione post-riconversione, è necessario che siano effettuate delle

ipotesi il più possibile realistiche. Ad esempio, nel caso dei criteri relativi alle emissioni di liquidi in mare che non sono presenti nella fase di pre-riconversione, con chiaro riferimento allo scarico della salamoia per l'Opzione 1, viene richiesto dal tool di inserire, per ciascun criterio, i seguenti dati, individuati tramite opportune supposizioni:

- **Criterio 3.1.– Variazione del pH rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Tale criterio valuta il possibile effetto sul pH del mare causato dallo scarico di liquidi prodotti dall' impianto, installato a bordo della piattaforma.

In particolare, nel caso in esame, si considerano i seguenti input:

- Per il livello del pH medio delle acque del Mar Adriatico, è stato individuato un valore pari a 8.55 [44] che si ipotizza rimanere tale anche nella configurazione post-riconversione per l'Opzione 2 e 3, in assenza di particolari fluidi sversati in mare.
- Per stimare, invece, il livello di pH atteso nell'acqua di mare, entro un raggio di 50 metri dallo scarico della piattaforma, nelle condizioni di post-riconversione per l'Opzione 1, è stato preso, indicativamente, come riferimento uno studio relativo alla diluizione in mare della salamoia [45], considerando, inoltre, che tale parametro è complesso da stimare e dipende da diversi fattori, tra cui, il tipo di processo di dissalazione e le sostanze usate durante il pre-trattamento. Pertanto, considerando in maniera approssimativa un valore medio nella zona di mescolamento inferiore di circa 0.2 rispetto al valore di riferimento per la zona di interesse, si può stimare un pH pari a 8.35, legato principalmente ai vari metalli e composti azotati contenuti nel flusso di scarico.

- **Criterio 3.2. – Incremento percentuale di salinità dell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico (zona di mescolamento) rispetto alla concentrazione salina media nell'area di interesse**

L'elevata salinità della salamoia rilasciata in mare, da parte dell'impianto relativo all'Opzione 1, è considerata potenzialmente dannosa per la flora e la fauna marina, proprio per questo motivo, viene normata dal punto di vista legislativo attraverso il Decreto del 14 aprile 2023, n.39, (Art.10) [46].

Con riferimento agli scarichi degli impianti di desalinizzazione viene imposto, infatti, come valore limite, entro un raggio di 50 metri dallo scarico (zona di mescolamento), un incremento percentuale di salinità pari a $\Delta Sal_{max} < 5\%$.

Di conseguenza, tale criterio, tenendo conto della soglia appena citata, ha come obiettivo la il calcolo della grandezza ΔSal_{max} , richiedendo i seguenti input, determinati, nel caso in esame, per la piattaforma GREEN1:

- Livello di salinità medio dell'acqua di mare nell'area di interesse, ad esempio, per il Mar Adriatico pari a circa 30.13 psu [44], valore costante anche nella configurazione post-riconversione per l'Opzione 2 e 3, in assenza di particolari fluidi sversati in mare;

- Livello di salinità atteso nell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico della piattaforma nelle condizioni di post-riconversione, molto complesso da stimare, poiché influenzato fortemente dalle caratteristiche chimico-fisiche della salamoia in relazione a quelle del corpo recipiente e soprattutto dal regime delle correnti. Dunque, per questo motivo, la stima indicativa del valore di salinità è stata ipotizzata pari al limite normativo più restrittivo in vigore tra le nazioni [47], corrispondente ad un incremento di 1 g/L (0.98 psu) ottenendo così, un valore pari a 31.11 psu.

In seguito, dunque, sulla base delle valutazioni, appena illustrate, si riportano i dati inseriti nel tool per il caso applicativo nei tre scenari in esame:

Tabella 27: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Aspetti ambientali"

| Criterio | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1. Emissioni di gas e vapori in atmosfera | | | |
| 1.1. Quantità di emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 1.2. Quantità di emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 1.3. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 1.4. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 2. Emissioni di liquidi in mare | | | |
| 2.1. Quantità di liquidi inquinanti rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 2.2. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 2.3. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 3. Emissione di liquidi in mare non presenti nella fase di pre-riconversione | | | |
| 3.1. Variazione del pH rispetto alle condizioni di pre-riconversione | 8.55 pH 8.35 pH | 8.55 pH 8.55 pH | 8.55 pH 8.55 pH |
| 3.2. Incremento percentuale di salinità dell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico (zona di mescolamento) rispetto alla concentrazione salina media nell'area di interesse | 30.13 psu 31.11 psu | 30.13 psu 30.13 psu | 30.13 psu 30.13 psu |
| 4. Produzione di rumore e vibrazioni | | | |
| 4.1. Quantità di rumore e vibrazioni prodotta rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 4.2. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |
| 4.3. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili ai rumori e alle vibrazioni prodotte rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |

| Critério | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| 5. Produzione di calore | | | |
| 5.1. Quantità di fluidi caldi rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 5.2. Quantità di fluidi freddi rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 5.3. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 5.4. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili ai fluidi caldi/ freddi rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 6. Inquinamento luminoso | | | |
| 6.1. Quantità di luce artificiale prodotta annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 6.2. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 6.3. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili alla luce artificiale prodotta rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È molto inferiore | È molto inferiore |
| 7. Consumo di energie e risorse | | | |
| 7.1. Quantità di energia primaria consumata rispetto alle condizioni di pre-riconversione | È molto inferiore | È inferiore | È inferiore |

Per ogni aspetto ambientale identificato precedentemente, si riporta, in breve, un confronto tra le attività pre e post-riconversione che causano un determinato effetto sull'ambiente:

- Emissioni di gas e vapori in atmosfera:** le emissioni correlate alla movimentazione della gru e delle imbarcazioni a servizio della piattaforma sono in comune, non solo tra gli scenari in esame ma anche con la precedente attività di estrazione di idrocarburi, la quale però registra le maggiori emissioni causate, soprattutto, dall'attività del Diesel generator package, essenziale per la produzione di energia elettrica a bordo della piattaforma.

Tra le opzioni in esame, invece, nel caso di GREEN 1, l'attività di stoccaggio della miscela CH₄+H₂, risulta lo scenario, in termini di emissioni, più simile alla configurazione pre-riconversione poiché viene previsto l'utilizzo, non solo dei turbogas che trascinano i compressori ma anche di un riscaldatore pre-disidratazione e di un rigeneratore TEG, alimentati a gas. Nell'Opzione 3 rispetto a quanto riportato dall'analisi ambientale, si stima un impatto maggiore correlato al consumo di energia elettrica acquistata dalla rete per alimentare gli elettro compressori, mentre l'Opzione 1 risulta lo scenario con la minor impronta di carbonio, poiché alimentato quasi completamente da fonti rinnovabili;
- Emissioni di liquidi in mare:** la configurazione pre-riconversione a cui si attribuisce un impatto maggiore, presenta continue emissioni legate allo sversamento delle acque trasportate in superficie durante l'attività estrattiva nonché dei liquidi prodotti nelle fasi di manutenzione. In questi sversamenti vengono comprese, inoltre, anche le acque utilizzate negli scambiatori di calore e quelle sanitarie dovuto alla presenza di eventuale personale a bordo.

Per quanto concerne, invece, i tre scenari di riconversione si ipotizza un rilascio molto inferiore di liquidi inquinanti, legati prevalentemente, ai drenaggi o al rilascio dell'acqua di raffreddamento dei compressori;

- **Produzione di rumore e vibrazioni:** l'aspetto più impattante nella configurazione pre-riconversione è legato alla movimentazione del gas e all'attività di estrazione. Per quanto riguarda, invece, l'Opzione 2 e 3 si considera, soprattutto, il rumore prodotto dalle parti in movimento, rispettivamente dei turbocompressori e degli elettrocompressori mentre per l'Opzione 1 si prevede un impatto molto inferiore legato alla movimentazione della gru;
- **Produzione di calore:** la configurazione post-riconversione non presenta attività che possano portare ad impatti di questo tipo mentre nel caso pre-riconversione si ha il rilascio di acqua di mare a temperatura superiore alla media a causa degli scambiatori utili al raffreddamento del gas e per il diesel generator package;
- **Inquinamento luminoso:** le luci di segnalazione della piattaforma sono accese continuamente in entrambe le configurazioni ma si presuppone negli scenari post-riconversione l'assenza di inquinamento luminoso correlato alla presenza di personale di bordo, considerando che la piattaforma non sia presidiata;
- **Consumo di energia:** dalla comparazione tra pre e post-riconversione, risulta che l'Opzione 1 sia lo scenario con il minor consumo energetico tenendo presente, inoltre, che l'impianto di dissalazione massimizza l'autoconsumo con il sistema fotovoltaico, mentre le altre due alternative oltre ad avere consumi maggiori per lo stoccaggio dei fluidi in giacimento, sono alimentati principalmente dalla rete elettrica o sfruttano, come nel caso dell'opzione 2, parte della miscela per alimentare il package di compressione e gli ausiliari.
L'impianto nella configurazione pre-riconversione, infine, non solo è più energivoro ma utilizza esclusivamente fonti fossili.

- **Aspetti di sicurezza**

Tenendo presente che i primi criteri di sicurezza sono correlati all'identificazione dei pericoli connessi all'attività dell'impianto, si riporta, di seguito, una breve analisi sui quantitativi di prodotti pericolosi stoccati a bordo della piattaforma GREEN 1, per tutte e tre le opzioni in esame, specificandone, sia lo stato fisico che la tipologia di sostanza.

Tabella 28: Analisi sostanze pericolose stoccate in piattaforma

| Opzione | Sostanza | Tossica | Pericolosa per l'ambiente | Infiammabile | Corrosiva | Esplosiva | Fase | Quantità (kg) |
|---------|--------------------------------|---------|---------------------------|---------------|-----------|-----------|------|---------------|
| | | | | LFL%v-HFL%v | | | | |
| 1 | NaClO | / | SI | / | SI | / | L | 103 |
| 1 | H ₂ SO ₄ | SI | / | / | SI | / | L | 84.4 |
| 1 | FeCl ₃ | / | / | / | SI | / | L | 337.5 |
| 1 | MDC704I | / | / | / | SI | / | L | 61 |
| 1 | MPT104 | / | / | / | / | / | L | 24.98 |
| 1 | NaHSO ₃ | / | / | / | SI | / | L | 210.79 |
| 1 | NaOH | / | / | / | SI | / | L | 33 |
| 1 | Gasolio | SI | SI | SI (0.6-7) | / | / | L | 250.5 |

| Opzione | Sostanza | Tossica | Pericolosa per l'ambiente | Infiammabile | Corrosiva | Esplosiva | Fase | Quantità (kg) |
|---------|---|---------|---------------------------|----------------|-----------|-----------|------|---------------|
| | | | | LFL%v-HFL%v | | | | |
| 2 | C ₂ H ₆ O ₂ | SI | / | / | / | / | L | 11490 |
| 2 | C ₆ H ₁₄ O ₄ | / | / | / | / | / | L | Non stoccato |
| 2 | CH ₄ +H ₂ (buffer) | / | / | SI (4,8 -15,7) | / | SI | G | 129.45 |
| 2 | Gasolio | SI | SI | SI (0.6-7) | / | / | L | 250.5 |
| 3 | CO ₂ (buffer) | SI | / | / | / | / | G | 10546 |
| 3 | Gasolio | SI | SI | SI (0.6-7) | / | / | L | 250.5 |

Per quanto concerne l'Opzione 1, le principali sostanze chimiche che sono presenti nell'impianto sono utilizzate, soprattutto, nel pre-trattamento dell'acqua di mare e nel post-trattamento del permeato. La gran parte di queste, risultano essere sostanze allo stato liquido corrosive per i metalli che possono, inoltre, in alcuni casi provocare lesioni cutanee con vapori che irritano l'apparato respiratorio. Pertanto, tutti gli stoccaggi sono localizzati all'interno del container di dissalazione che è arieggiato ed è, inoltre, costituito da un bacino di contenimento per ogni serbatoio.

Nello scenario relativo all'Opzione 2, gli stoccaggi presenti sulla piattaforma, sono utilizzati, invece, per il processo di trattamento del gas estratto dal giacimento. In particolar modo, le soluzioni di glicole monoetilico (MEG - C₂H₆O₂) e trietilenico (TEG - C₆H₁₄O₄) sono iniettate con l'obiettivo di eliminare qualsiasi traccia di acqua presente nel flusso, che dovrà essere inviato onshore. Si sottolinea, inoltre, che per il TEG, non è previsto uno stoccaggio a bordo, poiché è rigenerato continuamente da un impianto dedicato, per cui non si considera, nella seguente trattazione, nessun quantitativo ad esso associato.

Si tiene presente, inoltre, sia del tank di gasolio utilizzato per azionare la gru, che del buffer di fuel gas che svolge la funzione di serbatoio di start-up/back-up per alimentare gli utilizzatori come la caldaia per il riscaldamento del gas in ingresso alla colonna di disidratazione e il rigeneratore del TEG.

Infine, per l'Opzione 3, si considerano, soprattutto i buffer di stoccaggio di CO₂, installati sulla piattaforma per svolgere principalmente due funzioni, ovvero sia quello di serbatoio di accumulo che di organo di smorzamento delle fluttuazioni di pressione. Si specifica, infine, che anche se la CO₂, non è ufficialmente classificata come sostanza tossica dal GHS e dal CLP, in questo caso, si fa riferimento all' ECHA (European Chemical Agency) per la quale l'anidride carbonica è classificata come "Nocivo se inalato" (H332) e "Potenzialmente irritante per le vie respiratorie" (H335), tenendo conto del principale rischio legato al suo rilascio, ovvero la diretta diminuzione di O₂ in ambiente e asfissia.

In seguito, dunque, sulla base dell'analisi appena illustrata, si riportano i dati inseriti nel tool per il caso applicativo, nei tre scenari in esame:

Tabella 29: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Sostanze pericolose"

| Criterio | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|------------------|------------------|------------------|
| 1. Quantità di sostanze infiammabili in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 250.5 | 250.5 | 250.5 |
| 2. Quantità di sostanze infiammabili in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 129.45 | 0 |
| 3. Quantità di sostanze potenzialmente esplosive in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 0 | 0 |
| 4. Quantità di sostanze potenzialmente esplosive in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 129.45 | 0 |
| 5. Quantità di sostanze tossiche in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 334.9 | 11740.5 | 250.5 |
| 6. Quantità di sostanze tossiche in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 0 | 10546 |
| 7. Quantità di sostanze corrosive in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 829.69 | 0 | 0 |
| 8. Quantità di sostanze corrosive in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 0 | 0 |
| 9. Quantità di sostanze pericolose per l'ambiente in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 353.5 | 250.5 | 250.5 |
| 10. Quantità di sostanze pericolose per l'ambiente in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma (kg) | 0 | 0 | 0 |

Osservando i dati presenti in Tabella 29, in base a come sono stati definiti i criteri sulle sostanze pericolose, si può supporre, in linea preliminare una peggiore *performance*, da parte dei progetti 2 e 3 relativi ai processi di trattamento delle miscele di gas iniettate in giacimento. Sebbene, infatti, l'Opzione 1 riporta un elenco di sostanze più numeroso, si ritrova ad avere principalmente composti chimici in fase liquida, tossici o pericolosi per l'ambiente. Mentre nelle altre due opzioni si riscontra la presenza di sostanze sia in fase liquida che di miscele in fase gassosa, inoltre, anche infiammabili e potenzialmente esplosive.

Per quanto riguarda, invece, i criteri relativi all'estensione delle aree di danno, risulta doveroso applicare uno degli step fondamentali dell'analisi delle conseguenze, ossia la simulazione del fenomeno incidentale che può essere effettuata, a discrezione dell'analista, in diversi modi attraverso molteplici modelli con software commerciali a disposizione, come PHAST. In particolare, tenendo conto della tipologia di impianto, in ciascuno dei tre scenari, viene analizzata la possibilità che aree di danno sviluppatesi da rilasci incidentali di sostanze pericolose, presenti all'interno del processo, impattino piattaforme limitrofe presidiate.

Si presuppone, infatti, che l'impianto post-riconversione operi autonomamente senza la presenza continuativa del personale di bordo. La presenza di operatori è prevista, infatti, solo durante le ispezioni periodiche dei componenti e durante i periodi di manutenzione. Pertanto, ipotizzando che tale struttura faccia parte, come la maggioranza delle piattaforme italiane, di un cluster di infrastrutture offshore collegate tramite dei *bridge*, viene valutato il possibile impatto in termini di

danno sul personale eventualmente presente sia sulle piattaforme limitrofe presidiate che sulle strutture ad esse connesse. Inoltre, considerando la fase preliminare dei progetti di riconversione, si sottolinea, che viene esclusa dalla seguente trattazione, qualsiasi richiesta di stima sulle frequenze degli scenari incidentali, poiché non sono presenti sufficienti dati.

- **Criterio 11 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze infiammabili della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Viene approfondito tramite un approccio quantitativo lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze infiammabili con conseguente incendio, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell'incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate.

L'obiettivo del seguente studio, consiste, dunque, nella stima delle distanze massime raggiunte dalle radiazioni termiche dannose per la salute umana, ovvero, 12.5 kW/m² (Elevata letalità) e 5 kW/m² (Lesioni irreversibili).

Considerando i fluidi infiammabili presenti nel processo, in tutti e tre le alternative e tenendo presente le condizioni operative particolarmente critiche in termini di hold-up e pressione, si ritiene necessario approfondire quantitativamente lo scenario incidentale correlato al rilascio della miscela CH₄ e H₂ nel caso dell'Opzione 2.

Per cui, per l'Opzione 1 e 3 si ritiene che non ci sia nessun impatto su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (bridge), legato a rilasci di sostanze infiammabili, anche perché l'eventuale rilascio di gasolio stoccato a bordo, dalle simulazioni effettuate, genera un Pool Fire con area di danno nelle condizioni più gravose (foro da 150 mm e condizioni di vento 5D) pari a 13.18 m per la radiazione da 5 kW/m² e 9.5 m per la radiazione da 12.5 kW/m², quindi all'interno del confine dell'impianto.

Per il rilascio della miscela CH₄ e H₂, l'analisi è, invece, stata condotta considerando l'inventario isolabile più critico in termini non solo di pressione ma anche quantitativi della miscela potenzialmente rilasciata, ovvero il separatore di testa pozzo D2-S-001 e il demister D2-D-001, utilizzando il set di diametri di rottura, riportato in Tabella 30.

Tabella 30: Diametri di rottura rappresentativi

| Classi del foro | Diametro | Intervalli dei diametri di rottura report OGP N°434-1 [42] |
|-----------------|----------------|--|
| Small | 6.35 mm (1/4") | 1 - < 10 mm |
| Medium | 22 mm | 10 - < 50 mm |
| Large | 70 mm | 50 - < 150 mm |
| Full Bore | 150 mm | >150 mm |

In particolare, essendo l'inventario isolabile di riferimento di tipo gas, lo scenario incidentale atteso sarà, in caso di rilascio e innesco immediato, di tipo Jet Fire, mentre nel caso di innesco ritardato, di tipo Flash Fire.

Le simulazioni degli scenari vengono condotte, inoltre, ipotizzando un rilascio ad un'altezza di 1 m sopra il livello del deck con classi di stabilità atmosferica pari a 2F e 5D.

Tabella 31: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento

| Pressione gas [barg] | Temperatura gas [°C] | LFL [ppm] | Massa [kg] |
|----------------------|----------------------|-----------|------------|
| 129 | 27 | 49000 | 584.16 |

Di seguito, in maniera riassuntiva si riportano le distanze raggiunte dalle soglie di interesse per la condizione meteorologica più gravosa e per il foro di rilascio da 150 mm, nel caso di Jet Fire:

Tabella 32: Distanze raggiunte dalle soglie di vulnerabilità di interesse per il foro da 150 mm

| Irraggiamento termico stazionario (kW/m ²) | Condizioni meteo | Portata massima di rilascio [kg/s] | Distanza JF [m] |
|--|------------------|------------------------------------|-----------------|
| 12.5 | 5D | 356.6 | 216.6 |
| 5 | 5D | 356.6 | 283.5 |

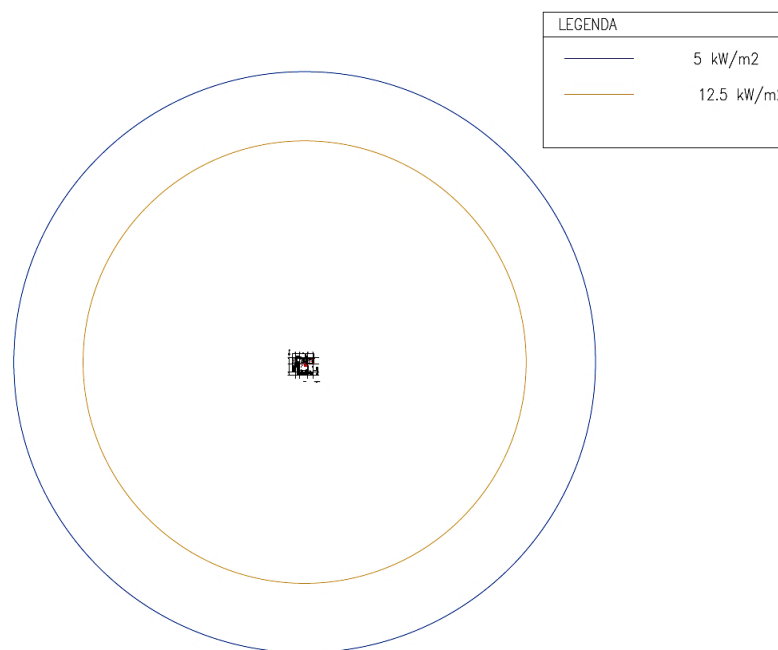


Figura 30: Aree di danno JF foro 150 mm, condizione meteo 5D

Nel caso del Flash Fire si considera, infine, che il raggio dell'area di elevata letalità sia pari, invece, a 284.3 m.

Pertanto, considerando che tali aree di danno fuoriescono dai confini del cellar deck e che la distanza tra le piattaforme è pari di solito a 100 m, per l'Opzione 2 si può considerare che vi sia un impatto con una radiazione di 12.5 kW/m² direttamente sulle piattaforme limitrofe.

In seguito, dunque, sulla base dell'analisi appena illustrata, si riportano le risposte fornite al seguente criterio, nel caso della piattaforma GREEN 1, per tutti e tre gli scenari in esame:

Tabella 33: Input Criterio 11 - "Aspetti di sicurezza" (GREEN 1)

| Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|--|--|
| Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) | Impatto con una radiazione di 12.5 kW/m ² sulle piattaforme limitrofe | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) |

- **Criterio 12 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze potenzialmente esplosive della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Tramite un'analisi quantitativa, viene analizzato, lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze potenzialmente esplosive, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell'incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate.

Considerando i fluidi potenzialmente esplosivi presenti nel processo in tutti e tre le alternative e tenendo presente le condizioni operative particolarmente critiche in termini di hold-up e pressione, si ritiene necessario approfondire quantitativamente lo scenario incidentale correlato al rilascio della miscela CH₄ e H₂ nel caso dell'Opzione 2.

Per l'Opzione 1 e 3, invece, si ritiene che non ci sia nessun impatto su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (bridge), legato a rilasci di sostanze potenzialmente esplosive.

L'obiettivo del seguente studio, consiste, dunque, nella stima delle distanze massime raggiunte dal picco di sovrappressione causato dallo scenario di innesco ritardato della nube infiammabile che raggiunge un'area congestionata dell'impianto, identificata come Potential Explosion Sites (PES), provocando un Vapor Cloud Explosion (VCE). Si considerano, dunque, come soglie di vulnerabilità per le persone 0.3 bar (Elevata letalità) e 0.07 bar (Lesioni irreversibili).

Tale analisi è stata condotta considerando l'inventario isolabile più critico in termini non solo di pressione ma anche quantitativi della miscela potenzialmente rilasciata, ovvero il separatore di testa pozzo D2-S-001 e il demister D2-D-001, utilizzando il set di diametri di rottura, riportato in Tabella 30.

Le simulazioni degli scenari vengono condotte, inoltre, ipotizzando un rilascio ad un'altezza di 1 m sopra il livello del deck con classi di stabilità atmosferica pari a 2F e 5D.

Tabella 34: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento

| Pressione gas [barg] | Temperatura gas [°C] | LFL [ppm] | Massa [kg] |
|----------------------|----------------------|-----------|------------|
| 129 | 27 | 49000 | 584.16 |

Per calcolare le conseguenze dell'esplosione si presume che i volumi di PES siano riempiti con una miscela infiammabile in condizioni stechiometriche. Si ritiene che solo il 50% sia volume libero, assumendo le seguenti frazioni di riempimento, in funzione della dimensione della perdita:

- Small (6,35 mm): viene considerato solo il flash fire;
- Medium (22 mm): 5% del volume libero riempito;
- Large (70 mm): 50% del volume libero riempito;
- Full bore (150 mm): 100% del volume libero riempito.

Di seguito, in maniera riassuntiva si riportano le distanze raggiunte dalle soglie di interesse per la condizione meteorologica più gravosa e per il foro di rilascio da 150 mm:

Figura 31: Distanze raggiunte dalle soglie di vulnerabilità di interesse per il foro da 150 mm

| Picco di sovrappressione (bar) | Condizioni meteo | Distanza [m] |
|--------------------------------|------------------|--------------|
| 0.3 | 5D/2F | 12.96 |
| 0.07 | 5D/2F | 52.06 |

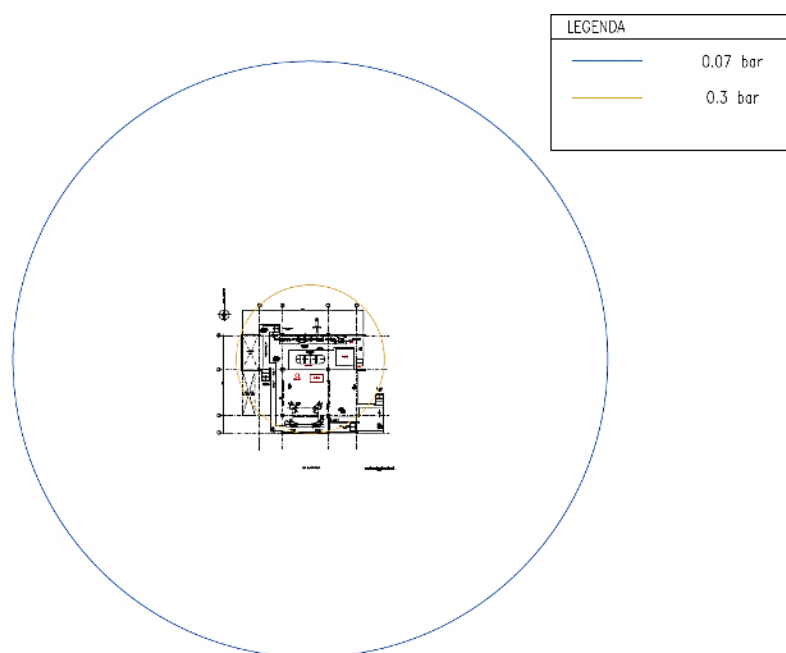


Figura 32: Aree di danno VCE foro 150 mm, condizione meteo 5D/2F

Pertanto considerando che l'area di danno per la soglia relativa alle lesioni irreversibile, fuoriesce completamente dai confini del cellar deck e che la distanza tra le piattaforme è pari di solito a 100 m, per l'Opzione 2 si può considerare che vi sia un impatto con una sovrappressione pari a 0.07 bar solo sulle strutture di collegamento (se presenti).

In seguito, dunque, sulla base dell'analisi appena illustrata, si riportano le risposte fornite al seguente criterio, nel caso della piattaforma GREEN 1, per tutti e tre gli scenari in esame:

Tabella 35: Input Criterio 12 - "Aspetti di sicurezza" (GREEN 1)

| Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|--|--|
| Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) | Impatto con una sovrappressione pari a 0.07 bar solo sulle strutture di collegamento (se presenti) | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) |

- **Criterio 13 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze tossiche della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Attraverso l'analisi quantitativa, viene analizzato, lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze tossiche, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell'incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate.

Considerando i fluidi tossici presenti nel processo in tutti e tre le alternative e tenendo presente le condizioni operative particolarmente critiche in termini di hold-up e pressione, si ritiene essenziale approfondire quantitativamente lo scenario incidentale correlato al rilascio di anidride carbonica nel caso dell'Opzione 3.

Per l'Opzione 1 e 2 si ritiene, invece, che non ci sia nessun impatto su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (bridge), legato a rilasci di sostanze tossiche.

Un rilascio e dispersione di CO₂ può, infatti, portare alla formazione di una nube pericolosa per gli operatori, causando asfissia e ipossia. L'obiettivo del seguente studio, consiste, dunque, nella stima delle distanze massime raggiunte dalle concentrazioni potenzialmente dannose per la salute umana ovvero IDLH (*Immediately Dangerous to Life and Health*) pari 40000 ppm e LC50 (*Lethal concentration 50%*) pari a 100000 ppm [48].

Tale analisi è stata condotta considerando l'inventario isolabile più critico in termini non solo di pressione ma anche quantitativi di anidride carbonica potenzialmente rilasciata, ovvero il buffer di stoccaggio D1-T-001A, utilizzando il set di diametri di rottura, riportato in Tabella 30. Le simulazioni degli scenari vengono condotte, inoltre, ipotizzando un rilascio ad un'altezza di 1 m sopra il livello del deck con classi di stabilità atmosferica pari a 2F e 5D.

Tabella 36: Condizioni operative sezione isolabile di riferimento

| Pressione gas [barg] | Temperatura gas [°C] | Massa [kg] |
|----------------------|----------------------|------------|
| 30 | 20 | 3833.01 |

Di seguito, in maniera riassuntiva si riportano le distanze raggiunte dalle soglie tossiche di interesse (LC50 e IDLH) per la condizione meteorologica più gravosa e per il foro di rilascio da 150 mm:

Tabella 37: Distanze raggiunte dalle soglie tossiche di interesse per il foro da 150 mm

| Concentrazione | Condizioni meteo | Portata massima di rilascio [kg/s] | Distanza raggiunta dalla soglia di tossicità [m] |
|----------------|------------------|------------------------------------|--|
| LC50 | 5D | 150.07 | 60.48 |
| IDLH | 5D | 150.07 | 170.26 |

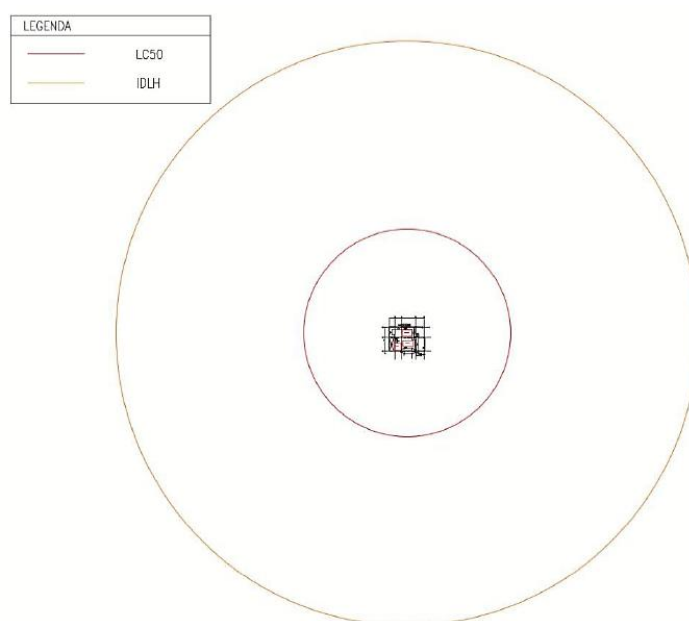


Figura 33: Aree di danno dispersione foro 150 mm, condizione meteo 5D

In questo modo, considerando che entrambi le aree di danno fuoriescono dai confini del lower deck e che la distanza tra le piattaforme è pari di solito a 100 m, per l'Opzione 3 si può considerare che vi sia l'impatto con una nube tossica con concentrazione pari a LC50 solo sulle strutture di collegamento (se presenti) e con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH sulle piattaforme limitrofe.

In seguito, dunque, sulla base dell'analisi appena illustrata, si riportano le risposte fornite al seguente criterio, nel caso della piattaforma GREEN 1, per tutti e tre gli scenari in esame:

Tabella 38: Input Criterio 13 - "Aspetti di sicurezza" (GREEN 1)

| Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|--|--|
| Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari a LC50 solo sulle strutture di collegamento (se presenti) e con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH sulle piattaforme limitrofe |

- **Criterio 14 – Zona di sicurezza post-riconversione nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati rispetto alla configurazione pre-riconversione secondo l'art.28 del D.P.R. 886/1979**

Per la piattaforma GREEN 1, nella configurazione pre-riconversione, la zona di sicurezza nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati, viene ipotizzata pari al limite massimo previsto dall'art.28 del D.P.R. 886/1979 [49], ossia 500 metri, mentre viste le aree di danno calcolate precedentemente, si presuppone che l'estensione della zona di sicurezza per la navigazione venga ridotta o rimanga la stessa.

Pertanto, si riportano le risposte fornite al seguente criterio, nel caso della piattaforma GREEN 1, per tutti e tre gli scenari in esame:

Tabella 39: Input Criterio 14 - "Aspetti di sicurezza" (GREEN 1)

| Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|--|--|
| La zona di sicurezza è inferiore o analoga alla configurazione pre-riconversione | La zona di sicurezza è inferiore o analoga alla configurazione pre-riconversione | La zona di sicurezza è inferiore o analoga alla configurazione pre-riconversione |

- **Compatibilità ambientale e territoriale**

Nel caso dei dati richiesti dal tool sugli aspetti meteorologici e territoriali della zona in cui è collocata la piattaforma, risulta necessario, come, già evidenziato nel Capitolo 5, ricavare tali informazioni, attraverso non solo delle analisi sul meteo ma anche tramite lo studio delle caratteristiche di impianto e giacimento, definite nei *basic design* per la piattaforma GREEN 1.

Nello specifico, in seguito, vengono riportati per ciascun criterio quantitativo, i valori di input che sono stati inseriti per rispondere ai quesiti:

- **Criterio 1 – Distanza tra la velocità del vento attesa e la velocità massima del vento compatibile con le installazioni a bordo della piattaforma**

Tale criterio valuta il possibile effetto, sull'integrità dell'asset, da parte delle condizioni climatiche attese nella località in cui è collocata la piattaforma GREEN1.

In particolare, nel caso in questione, poiché il tool richiede all'utente di inserire la velocità del vento statisticamente attesa nel sito di riferimento, è stato individuato come valore di input un'intensità pari a 21.6 km/h (circa 12 nodi), corrispondente al limite superiore dell'intervallo di velocità che si presenta con frequenza maggiore nell'area dell'Adriatico centro-settentrionale [50].

Tabella 40: Input Criterio 1 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Velocità del vento statisticamente attesa nell'area in cui è collocata la piattaforma (km/h) | 21.6 | 21.6 | 21.6 |

- **Criterio 2 – Differenza tra il carico dovuto alle precipitazioni nevose medie annue e il carico massimo compatibile con le apparecchiature a bordo della piattaforma**

In questo criterio, per valutare la resistenza strutturale dei diversi dispositivi o apparecchiature installate a bordo della piattaforma, maggiormente sollecitati da un sovraccarico da neve, viene inserito come input sia il carico atteso al suolo dovuto alle precipitazioni nevose nella zona in esame, secondo i valori caratteristici riportati nel D.M. del 17 gennaio 2018 [51], che il carico massimo compatibile con le apparecchiature installate nei tre scenari.

In particolare, per quanto riguarda il valore di riferimento, secondo la norma, si considera per la Zona 1-Mediterranea, in cui è collocata GREEN 1, un carico pari a 1,50 kN/m².

Per i componenti installati sul *weather deck*, si fa riferimento, invece:

- Per l'Opzione 1, al valore di carico massima da scheda tecnica per i pannelli fotovoltaici, pari a 5920 Pa [52];
- Per l'Opzione 2 e 3 considerando la presenza di pochi componenti che potrebbero essere soggetti ad un'effettiva sollecitazione strutturale dovuto al carico da neve, si presuppone, in assenza di dati reali, che entrambi gli scenari si collocano nel livello di miglior performance con un valore di resistenza cautelativamente pari a 3 volte il valore definito per i pannelli. Valore indicativo, poiché utile ai fine del test per l'intera compilazione del software, tenendo presente, inoltre, il peso trascurabile assegnato a tale criterio per i due scenari in esame.

Si specifica, in linea generale, che in assenza di dati a disposizione, l'utente si può avvalere, comunque della possibilità di non inserire l'informazione richiesta se non disponibile per i soli criteri in cui è prevista l'inserimento numerico, come verrà specificato in dettaglio nel Capitolo 7.

Tabella 41: Input Criterio 2 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Carico massimo dovuto alle precipitazioni nevose compatibile con le apparecchiature a bordo della piattaforma (Pa) | 5920 | 15000 | 15000 |
| Carico atteso dovuto alle precipitazioni nevose (kN/m ²) | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

- **Criterio 3 – Distanza tra la resistenza meccanica all'impatto dovuto alle tempeste di grandine e la resistenza meccanica massima delle apparecchiature a bordo della piattaforma**

Tale criterio valuta il possibile effetto sull'integrità strutturale dei componenti installati a bordo della piattaforma, considerando l'eventuale impatto legato alle tempeste di grandine.

Il tool richiede di inserire non solo la dimensione e la velocità statistica più frequente della grandine nella zona in esame ma anche gli analoghi valori di diametro e velocità a cui il componente più sollecitato resiste secondo scheda tecnica.

In particolar modo, nel caso della piattaforma GREEN 1, dal punto di vista meteorologico si ipotizza un valore medio delle dimensioni del chicco di grandine pari ad 1 cm [53], con una velocità di circa 15 m/s.

Per i componenti installati sul weather deck, si fa riferimento, invece:

- Per l'Opzione 1, al valore di resistenza meccanica per la grandine, da scheda tecnica per i pannelli fotovoltaici, pari 25 mm - 23 m/s [52];
- Per l'Opzione 2 e 3 considerando la presenza della Technical Room, si ipotizza che l'azione della grandine potrebbe riportare danni a determinate coperture metalliche, per cui si suppone come valore di resistenza 50 mm-30.8 m/s, come riportato da cataloghi in ambito edilizio [54].

Tabella 42: Input Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Resistenza meccanica delle apparecchiature | Diametro (mm) | 25 | 50 | 50 |
| | Velocità (m/s) | 23 | 30.8 | 30.8 |
| Diametro e velocità media della grandine attesa durante le tempeste nella zona in esame | Diametro (mm) | 10 | 10 | 10 |
| | Velocità (m/s) | 15 | 15 | 15 |

- **Criterio 4 – Probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento sismico rilevante**

In Figura 40, si può osservare che l'area in cui è collocata GREEN 1 è caratterizzata da un'accelerazione massima del suolo compresa tra 0.050 g e 0.150 g. Per cui, in base alla classificazione prevista dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 [55] riportata in Tabella 76, si seleziona la seguente zona sismica:

Tabella 43: Input Criterio 4 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Zona di rischio sismico | Zona 3 | Zona 3 | Zona 3 |

- **Criterio 5 – Producibilità impianto fotovoltaico**

Per calcolare la producibilità annua dell'impianto fotovoltaico installato a bordo della piattaforma per l'Opzione 1, sono stati inseriti i seguenti dati di input richiesti dal tool:

- La radiazione solare media annua incidente sul piano inclinato ottimale G [kWh/m^2] è stata calcolata tenendo conto del valore medio relativo alle piattaforme situate nel Mar Adriatico ben rappresentate da GREEN1 [19] con un angolo di tilt ottimale pari a

34°, tenendo presenti i dati disponibili per ogni piattaforma nell'ambito del PiTESAI
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.;

- L'efficienza di conversione del modulo fotovoltaico η_m è stata individuata da scheda tecnica [52];
- Il rendimento (BOS-Balance of System) η_{Bos} è stato definito in maniera cautelativa pari al valore inferiore del range in cui, di solito, è compreso;
- Il coefficiente di riduzione per eventuali ombreggiamenti è stato individuato, infine, tenendo presente il posizionamento dei pannelli e della gru a riposo, secondo quanto definito in fase di progettazione preliminare.

Tabella 44: Input Criterio 5 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 |
|-------------------|--------------|
| $G [kWh/m^2]$ | 1735 |
| $\eta_m [\%]$ | 19.34 |
| $\eta_{Bos} [\%]$ | 70 |
| $K [-]$ | 0.97 |

• **Criterio 6 – Valore di GOIP del giacimento**

Tale criterio risulta, come i successivi appartenenti a questa macro-categoria, rilevante, esclusivamente per l'Opzione 2 e 3, poiché correlato allo studio del giacimento esausto, per cui tenendo conto delle ipotesi effettuate in fase di *basic design* [20][21], si considera il seguente valore di riferimento di (*Gas Originally In Place*), relativo al dato della piattaforma Porto Corsini, di dimensioni compatibili con GREEN 1 e localizzata nella stessa area operativa:

Tabella 45: Input Criterio 6 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 2 | Opzione 3 |
|-------------------------------------|------------|------------|
| Valore del GOIP (MSm ³) | 600 | 600 |

• **Criterio 7 – Valore efficienza giacimento**

Per calcolare l'efficienza di stoccaggio del giacimento si fa riferimento allo studio effettuato da G.Rech [20], relativo alla regimazione del reservoir per la miscela di gas metano con idrogeno, tenendo presente, che tale approccio può essere esteso anche per lo stoccaggio di CO₂, considerando che il volume sia definito in condizioni standard e non dunque alla pressione e temperatura del giacimento, ipotizzando, inoltre, che prima di stoccare direttamente la CO₂, venga, anche in questo caso, definito un periodo di regimazione, in modo da aumentare la capacità di stoccaggio del giacimento esaurito.

In particolar modo, in questo caso, i dati richiesti dal tool, sono stati individuati considerando sia il valore di *Cushion gas* che di *Working gas* a valle della regimazione:

Tabella 46: Input Criterio 7 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---------------------------------|---------------|---------------|
| Cushion gas (MSm ³) | 161.67 | 161.67 |
| Working gas (MSm ³) | 135.04 | 135.04 |

- **Criterio 8 – Profondità pozzo**

La profondità del pozzo, che risulta fondamentale come forzante per la determinazione della temperatura e pressione del gas immagazzinato, è stata determinata considerando le analisi effettuate per alcuni campi idrocarburi italiani, individuando, il seguente valore di riferimento:

Tabella 47: Input Criterio 8 - "Compatibilità ambientale e territoriale" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 2 | Opzione 3 |
|----------------------|-----------|-----------|
| Profondità pozzo (m) | 2000 | 2000 |

- **Utilità opzione**

Per quanto concerne i dati richiesti dal tool, per determinare quanto le tre opzioni di riconversione siano in linea con gli attuali obiettivi in termini di sostenibilità ambientale, è stata effettuata, sulla base delle informazioni relative ai *basic design*, una stima sulle quantità di CO₂ evitata o catturata attraverso i nuovi impianti.

In particolare, in seguito, vengono riportati per ciascun criterio, i valori di input che sono stati inseriti per rispondere ai due quesiti in esame:

- **Criterio 1 – Quantità di CO₂ emessa annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Per determinare la riduzione dell'impronta di carbonio relativa alle tre alternative progettuali, che dovrebbero contribuire in maniera sostanziale alla transizione energetica in atto, viene richiesto di inserire, in base alle proprie stime, la quantità di CO₂ che è emesse in entrambe le configurazioni post e pre-riconversione.

In particolare, per quanto concerne l'Opzione 1, si considerano, soprattutto, le emissioni, legate alle seguenti attività:

- Movimentazione della gru durante la manutenzione tramite l'utilizzo di un motore diesel, con consumo annuo di gasolio pari al volume del rispettivo serbatoio di 400 l, per cui è possibile stimare circa 1 t/anno di CO₂ (considerando un fattore emissivo di 2.6 kg CO₂/litro di diesel [56]);
- Movimentazione delle imbarcazioni a servizio della piattaforma durante la fase di manutenzione, con un'emissione di circa 100 t/anno di CO₂, ipotizzando che esse debbano percorrere circa 50 km per ogni attività manutentiva (andata e ritorno dal porto più vicino) e considerando un fattore di emissione per le navi da supporto offshore approssimativamente pari a 165 kg CO₂/km [57];
- Consumo di energia elettrica acquistata dalla rete per permettere all'impianto di dissalazione di operare in continuo, nei periodi in cui l'energia da fotovoltaico non risulta disponibile o sufficiente, pari a circa 5 MWh/anno con un impatto in termini di emissioni di circa 1.5 t/anno di CO₂ (considerando un fattore emissivo di 300 g/kWh [58]).

Per l'Opzione 2, si considerano, invece, le emissioni, legate alle seguenti attività:

- Movimentazione della gru e delle imbarcazioni a servizio della piattaforma;
- Alimentazione dei turbogas che trascinano i compressori per lo stoccaggio in giacimento, durante la fase di iniezione (6 mesi), con un consumo massimo di miscela (CH₄+H₂) pari a 340 kg/h. Per cui considerando un fattore emissivo di 2.75 kg di CO₂/kg di CH₄ [59] si stimano circa 3700 t di CO₂/anno. (Si ricorda che l'utilizzo della miscela garantisce una produzione di CO₂ del 10% inferiore alla combustione di gas naturale);
- Alimentazione del riscaldatore pre-disidratazione e del rigeneratore TEG, durante la fase di erogazione (6 mesi) con consumo di miscela pari rispettivamente a 38 kg/h e 4 kg/h, a cui corrispondono nel complesso circa 460 t di CO₂/anno.

Infine, per l'Opzione 3, si considerano le emissioni, legate alle seguenti attività:

- Movimentazione della gru e delle imbarcazioni a servizio della piattaforma;
- Consumo di energia elettrica acquistata dalla rete per alimentare due package di elettro compressori (1 MW) utili a comprimere e stoccare l'anidride carbonica, con un impatto in termini di emissioni pari a 2600 t di CO₂/anno.

Nel caso, invece, pre-riconversione, oltre alle emissioni dovute alla movimentazione della gru e delle imbarcazioni, si registra, un maggiore impatto legato all'attività del Diesel generator package, necessario alla produzione di energia elettrica a bordo della piattaforma, per cui per stimare l'ordine di grandezza delle emissioni di CO₂, in assenza di dati e stime per le piattaforme collocate in Italia, è stato fatto riferimento ai dati definiti dall'inventario BOEM GOADS sulle piattaforme a basso fondale nel Golfo del Messico [60], per il quale si considerano all'incirca 1000 kg CO₂/h, corrispondenti a circa 9000 t di CO₂/anno.

Tabella 48: Input Criterio 1 - "Utilità opzione" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Quantità di CO ₂ emessa annualmente nella configurazione pre-riconversione (t/anno) | 9000 | 9000 | 9000 |
| Quantità di CO ₂ emessa annualmente nella configurazione post-riconversione (t/anno) | 100 | 4300 | 2700 |

- **Criterio 2 – Quantità di CO₂ catturata annualmente**

Per tener in conto dell'importanza di tecnologie in grado non solo di ridurre le emissioni di CO₂ ma di rendere negative tali emissioni, si favorisce, tramite questo criterio, l'attività di rimozione e immagazzinamento dell'anidride carbonica. Si tiene presente, infatti, che l'Opzione 3, sfrutta il giacimento esaurito, per stoccare una massa di CO₂ pari a 2.61 milioni di tonnellate in 5 anni, stimando in questo modo, circa 520 kt di anidride carbonica catturata annualmente, equivalente alle emissioni di un impianto di produzione di energia elettrica di taglia pari a 275 MW [21].

Tabella 49: Input Criterio 2 - "Utilità opzione" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Quantità di CO ₂ catturata annualmente nella configurazione post-riconversione (kt/anno) | 0 | 0 | 520 |

- **Attività di riconversione e decommissioning**

Per quanto concerne la valutazione sulla significatività dell'impatto ambientale dovuto alle diverse operazioni, svolte durante la fase di decommissioning, nel caso applicativo, vengono presi in considerazione due diverse procedimenti per determinare la risposta.

In base alla tipologia di quesito, qualitativo o quantitativo, vengono, infatti, impiegate le seguenti analisi:

- *Criterio qualitativo*

Per individuare l'impatto che identifica ogni criterio, si procede, tenendo presente, come riferimento l'analisi ambientale effettuata in ognuno dei *basic design* [19][20][21], la quale ha, come obiettivo, la determinazione degli aspetti legati all'attività produttiva della piattaforma GREEN 1.

Considerando la valutazione della significatività dell'impatto, basata su un sistema di attribuzione di punteggi, per ogni aspetto ambientale si procede nell'individuare l'attività che ha un maggiore effetto sull'ambiente, andando a confrontare il corrispondente punteggio con la seguente scala di classificazione:

Tabella 50: Significatività degli aspetti ambientali

| | Significatività | Descrizione |
|------------|-----------------|--|
| <5 | Trascurabile | L'impatto non è significativo |
| Da 5 a 7 | Basso | L'impatto è tale da richiedere attività di monitoraggio per la sua gestione |
| Da 8 a 11 | Medio | L'impatto è tale da richiedere interventi per il monitoraggio e misure di protezione e prevenzione |
| Da 12 a 15 | Alto | L'impatto è tale da richiedere interventi per la sua riduzione |

In questo modo, dunque, per ogni criterio si può procedere all'individuazione della magnitudo dell'impatto durante la fase di decommissioning, selezionando direttamente la risposta.

- *Criterio quantitativo*

Per quanto riguarda i criteri che richiedono l'inserimento di dati quantitativi, è fondamentale, considerare che, tenendo presente la fase preliminare dei progetti di riconversione, non avendo informazioni esatte sulla specifica fase di decommissioning, siano state effettuate delle ipotesi il più possibile realistiche. Ad esempio, nel caso della quantità di rifiuti prodotti, si stima che questi siano prevalentemente costituiti dalla componentistica pre-riconversione in disuso che viene smantellata, per cui come riportato anche in letteratura [61], ciò consiste in gran parte in materiale ferroso. Nel caso invece, della percentuale di rifiuti recuperabili, facendo riferimento ai dati ISPRA relativi al

riutilizzo di rifiuti da demolizione [63] si suppone, per tutte e tre le ipotesi, che i rottami ferrosi siano riciclabili per il 90%.

Infine, per la stima della quantità attesa di energia primaria, consumata durante le operazioni di riconversione e decommissioning, si fa riferimento ad un manuale sviluppato per la valutazione ambientale dei progetti di completo smantellamento dell'infrastrutture offshore [61]. Per cui i valori individuati, nel caso in esame, in assenza di dati reali, per il parziale decommissioning e per la successiva riconversione, sono come prevedibile, sovrastimati e soggetti ad incertezza.

Le operazioni marittime risultano, in generale, l'attività con maggiore intensità energetica, poiché si prevede l'utilizzo di combustibile per la movimentazione delle imbarcazioni e l'impiego di apparecchiature elettriche energivore. Il consumo energetico relativo allo smaltimento dei rifiuti a terra ed eventuale riciclo, risulta invece, tipicamente ridotto rispetto alle altre operazioni.

Per cui tenendo conto, della seguente tabella per la valutazione del consumo di energia primaria, durante le operazioni di decommissioning:

| | Impact category | | | | |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| | None/ insignificant | Small negative | Moderate negative | Large negative | Very large negative |
| Energy (million GJ) | <0.1 | 0.1-1 | 1-3 | 3-6 | >6 |

Figura 34: Guida per la valutazione dell'impatto relativo al consumo di energia primaria [61]

Si ipotizza per tutti i tre scenari di riconversione, un impatto relativo al consumo di energia non elevato, poiché si fa riferimento ad una attività circoscritta nel tempo di rimozione parziale delle strutture stesse e installazione di nuove apparecchiature, per cui in maniera qualitativa, in assenza di dati reali o storici, si ipotizza un impatto "Small negative" di 0.5 milioni di GJ.

In seguito, dunque, sulla base delle valutazioni, appena illustrate, si riportano i dati inseriti nel tool per il caso applicativo nei tre scenari in esame:

Tabella 51: Dati di input inseriti per GREEN 1 - Criteri "Attività di riconversione e decommissioning"

| Criterion | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Emissioni di gas e vapori in atmosfera | | | |
| 1.1. Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Basso | Basso | Basso |
| 1.2. Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Basso | Basso | Basso |
| 2. Emissioni di liquidi in mare | | | |
| 2.1. Impatto dovuto ai liquidi inquinanti rilasciati in mare durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Basso | Basso | Basso |
| 3. Produzione di rifiuti | | | |
| 3.1. Quantità di rifiuti prodotta per m ² di superficie durante le operazioni di riconversione e decommissioning | 213.22 t 2200 m ² | 134.75 t 2200 m ² | 122.15 t 2200 m ² |
| 3.2. Percentuale di rifiuti recuperabili prodotti durante le operazioni di riconversione e decommissioning (%) | 90 | 90 | 90 |

| Criterio | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| 4. Produzione di rumore e vibrazioni | | | |
| 4.1. Impatto dovuto alla produzione di rumore e vibrazioni durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Basso | Basso | Basso |
| 5. Produzione di calore | | | |
| 5.1. Impatto dovuto al rilascio di fluidi caldi in mare durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Trascurabile | Trascurabile | Trascurabile |
| 5.2. Impatto dovuto al rilascio di fluidi freddi in mare durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Trascurabile | Trascurabile | Trascurabile |
| 6. Inquinamento luminoso | | | |
| 6.1. Impatto dovuto alla produzione di luce artificiale durante le operazioni di riconversione e decommissioning | Basso | Basso | Basso |
| 7. Consumo di energie e risorse | | | |
| 7.1. Quantità di energia primaria consumata durante le operazioni di riconversione e decommissioning (milioni di GJ) | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

Relativamente a tutte e tre le opzioni, si può affermare che dall'analisi ambientale che è stata condotta nella fase preliminare, risulta che, durante il decommissioning, le attività svolte sulla piattaforma non presentano aspetti ambientali dalla significatività elevata che richiedono immediati interventi mitigativi, inoltre, per tutti le alternative progettuali si può osservare che l'impatto è il medesimo poiché le attività svolte durante questa fase sono simili.

In particolare, per quanto riguarda, sia le emissioni di gas climalteranti e inquinanti che la produzione di rumore, classificate con un basso impatto, si fa riferimento, ad esempio, alla movimentazione della gru tramite un motore diesel e delle imbarcazioni a servizio della piattaforma che stazionano in prossimità di quest'ultima.

Nel caso, invece, del basso impatto legato alle emissioni di liquidi in mare, in tutti e tre gli scenari, si considera come significativo, il rilascio di acqua a temperatura superiore alla media, utilizzata per il raffreddamento dei motori delle imbarcazioni. Per quanto concerne, infine, l'inquinamento luminoso, si sottolinea che le luci di segnalazione sono accese continuamente in tutti e tre i progetti, mentre nel caso della produzione di calore, si constata l'assenza di fluidi caldi/freddi.

- **Tecnologie e Design**

Nel caso dei dati richiesti dal tool sulle principali caratteristiche tecnologiche e strutturali della piattaforma e delle infrastrutture ad essa connesse, risulta essenziale ricavare i dati attraverso un'analisi approfondita dei 3 *basic design* per la piattaforma GREEN 1.

Nello specifico, in seguito, vengono riportati per ciascun criterio, i valori di input che sono stati inseriti per rispondere al quesito:

- **Criterio 1 – Presenza del cavo elettrico funzionante**

Per quanto riguarda la piattaforma in esame, si presuppone che il fabbisogno di energia elettrica sia soddisfatto per tutte e tre le alternative, tramite la presenza di un cavo sottomarino collegato alla rete elettrica nazionale. Anche nel caso dell'Opzione 1, sebbene il package di dissalazione è alimentata dal campo fotovoltaico, si considera, infatti, di sfruttare il vantaggio correlato alla configurazione di tipo *grid connected*, ossia, con la possibilità di utilizzare la rete come sistema di accumulo.

Pertanto, in ottica green, eventuali generatori elettrici, precedentemente presenti a bordo, nella configurazione pre-riconversione, sono rimossi.

Tabella 52: Input Criterio 1 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Presenza del cavo elettrico funzionante | Presente | Presente | Presente |

- **Criterio 2 - Periodo equivalente di iniezione/erogazione nel quale il giacimento viene "riempito/svuotato" considerando la portata massima trasportabile dalla *sealine***

Per tale criterio, definito nel Capitolo 3, con riferimento alle alternative che sfruttano il giacimento, sono stati inseriti i seguenti dati:

- Il valore di *Working gas* ($M\text{Sm}^3$) a valle della regimazione, che tiene conto del volume di gas in condizioni standard che può essere iniettato o prelevato dal giacimento, uguale per entrambi gli scenari e già inserito come input nel Criterio 7 - "Compatibilità ambientale e territoriale";
- La portata massima trasportata dalla *sealine* ($\text{Sm}^3/\text{giorno}$) secondo quanto definito nel *basic design*, tenendo conto dell'ipotesi assunta da G.Rech [20], ossia del 115% rispetto alla portata media, considerando, in assenza di dati, in maniera cautelativa tale valore in condizioni standard anche come riferimento per la CO_2 , poiché la densità del metano è inferiore a quella dell'anidride carbonica che arriva in piattaforma.

Tabella 53: Input Criterio 2 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|
| Portata massima trasportata dalla <i>sealine</i> ($\text{Sm}^3/\text{giorno}$) | 862750 | 862750 |

- **Criterio 3 – Distanza fra la pressione di design e la pressione massima di esercizio della sealine nelle condizioni di post-riconversione**

In questo criterio, viene richiesto da parte del tool, di inserire i seguenti dati, ottenuti attraverso l'analisi dei progetti preliminari relativi all'Opzione 2 e 3:

- Il valore di pressione di design per la sealine esistente, in base ai dati tecnici;
- La pressione massima di esercizio della sealine (bar) relativa alle due alternative, considerando il primo mese di erogazione del gas per l'Opzione 2 e la pressione di arrivo in piattaforma per la CO₂ nel caso dell'Opzione 3.

Tabella 54: Input Criterio 3 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|
| Pressione di design sealine (bar) | 200 | 200 |
| Pressione massima di esercizio della sealine (bar) | 78.13 | 30 |

- **Criterio 4 - Superficie disponibile nel weather deck per l'installazione di nuove apparecchiature**

Per valutare la superficie disponibile del weather deck, il tool necessita dell'inserimento non solo della superficie complessiva del deck ma anche dell'indice di ingombro post-riconversione relativo all'installazione dei componenti, per cui a partire dai progetti preliminari per ogni opzione sono stati individuati i seguenti parametri:

Tabella 55: Input Criterio 4 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Superficie totale del weather deck (m ²) | 440 | 440 | 440 |
| Indice di ingombro weather deck post-riconversione (%) | 45 | 41 | 43 |

- **Criterio 5 - Differenza fra i pesi rimossi e i pesi installati rapportati alla superficie totale della piattaforma**

Per quanto concerne, l'analisi strutturale di comparazione tra la configurazione pre e post-riconversione, come già riportato nel Capitolo 3, si tiene conto, della variazione dei carichi sulla piattaforma attraverso l'introduzione delle seguenti grandezze:

- Peso complessivo componenti rimossi nella fase di decommissioning (t) considerando la somma dei carichi di ogni deck;
- Peso complessivo componenti installati nella configurazione post-riconversione (t) relativo al totale dei pesi di ogni deck;
- Superficie complessiva della piattaforma (m²), già inserita come input nel Criterio 3.1.- "Attività di riconversione e decommissioning".

Tabella 56: Input Criterio 5 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Peso complessivo componenti rimossi (t) | 213.22 | 134.75 | 122.15 |
| Peso complessivo componenti installati (t) | 117.67 | 82.2 | 51.74 |

Dai dati inseriti, si nota, inoltre che l'Opzione 1 sia quella non solo con la maggior quantità di pesi rimossi ma anche con il peso dei componenti installati più elevato.

Nello specifico, viene prevista una rimozione completa dei componenti relativi al Cellar Deck, Lower Deck e del Boat Landing, mentre nelle altre due alternative progettuali, per questi piani si riscontra, dopo un'accurata bonifica e messa in sicurezza, un riutilizzo della componentistica per nuovi scopi. Ad esempio, per l'Opzione 2, il test separator, che aveva nella precedente configurazione il compito di separare acqua, gas e olio e di verificare la composizione della portata in uscita dalle teste pozzo, in fase di conversione, viene riutilizzato come separatore di testa pozzo, acqua - gas, come nell'Opzione 3, in ottica, di una futura estrazione della CO₂, per il trattamento del fluido estratto.

Sul lower deck, infine, per l'Opzione 1 è prevista l'installazione del componente con maggior ingombro e peso, ossia il serbatoio di acqua potabile, con ben 76 t, a pieno carico.

- **Criterio 6 – Rapporto tra gli indici di ingombro post e pre-riconversione**

Per tener conto dell'impatto delle nuove installazioni sulla resistenza strutturale della piattaforma, considerando l'analisi comparativa tra le caratteristiche dei componenti necessari per i nuovi scenari di riconversione e le caratteristiche degli *equipments* utilizzati nella precedente configurazione, il tool richiede di determinare i seguenti parametri, basati sulla definizione dell'indice di ingombro, ossia del rapporto percentuale tra la superficie occupata dai componenti e la superficie del deck di riferimento:

- Valore medio degli indici di ingombro dei componenti pre-riconversione (%), considerando il valore intermedio dei singoli deck;
- Valore medio degli indici di ingombro dei componenti post-riconversione (%), considerando ancora la media dei singoli deck.

Tabella 57: Input Criterio 6 - "Tecnologie e Design" (GREEN 1)

| Input richiesto | Opzione 1 | Opzione 2 | Opzione 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Valore medio degli indici di ingombro dei componenti pre-riconversione (%) | 37 | 37 | 37 |
| Valore medio degli indici di ingombro dei componenti post-riconversione (%) | 28.4 | 27.4 | 27.2 |

Secondo i dati inseriti, si riscontra, nel complesso per tutti e tre gli scenari, un impatto non elevato sulla superficie dei deck, sebbene, come già osservato, nel precedente criterio, si rileva un maggior ingombro dei nuovi componenti nel caso dell'Opzione 1. In particolare, si evidenzia che il weather deck è il piano più critico dal momento che la superficie utile dei pannelli fotovoltaici deve essere massimizzata per la produzione di energia rinnovabile.

7. Valutazione dei risultati forniti dal tool

Il seguente capitolo riporta i risultati ottenuti, dopo aver ultimato il processo di valutazione delle tre alternative, per la piattaforma GREEN 1, utilizzata come caso applicativo. In particolare, il processo di testing del tool, ha permesso di verificare non solo le sue funzionalità ma anche di validare la procedura di analisi multicriterio che è stata definita in maniera teorica e successivamente implementata all'interno del software.

Dai risultati ottenuti, si può, infatti, constatare che quest'ultimo può configurarsi come un vero e proprio strumento di supporto alle decisioni, poiché automatizza il processo di valutazione descritto nei precedenti capitoli, andando a calcolare l'output finale, rappresentando graficamente, informazioni facilmente interpretabili.

Le ipotesi iniziali effettuate sulla metodologia e le aspettative riscontrate durante il lavoro svolto insieme alla collega A.Martini [28], si possono decisamente considerare soddisfatte dai risultati e dalle possibilità di sviluppo che tale strumento si pensa possa avere in futuro.

7.1. Stima dell'output

Per stimare l'output principale dell'analisi, ossia il livello di adattabilità della piattaforma per ogni alternativa progettuale, come già riportato nel Capitolo 5, risulta necessario che per ogni opzione, il tool, vada a calcolare in forma aggregata un punteggio, come combinazione lineare dei pesi normalizzati e degli indici di *performance*, corrispondente ad ogni criterio, secondo il metodo della somma pesata (WSM):

$$Score_i = \sum_k W_k \cdot \sum_j PC_{j|k} \cdot w_{j|k}$$

Il punteggio o *Score*, viene, infatti, individuato per ogni alternativa e rappresenta l'adattabilità della piattaforma presa in input dal tool, rispetto all' i-esima opzione di riconversione, considerando che ogni valore calcolato è indicativo della somma pesata delle prestazioni dell'alternativa rispetto ai criteri definiti nella metodologia di analisi.

Tale procedura di calcolo permette, dunque, in ogni scenario, di restituire un indicatore globale in grado di individuare, in maniera semplice, la migliore soluzione rispetto a quelle disponibili e in relazione ai requisiti tecnico-ambientali su cui si basa la valutazione.

A titolo di esempio, nella Figura 35, si riportano i risultati grafici ottenuti, riguardanti il caso applicativo GREEN 1, considerando i dati inseriti nel tool e riportati nel Capitolo 6.

Si puntualizza, inoltre, che con lo scopo di collaudare l'intera compilazione del software, su una piattaforma per la quale si dispongono già di dati relativi ai progetti preliminari di riconversione, sono state, comunque, effettuate delle ipotesi su informazioni non disponibili e che possono sicuramente essere validate o modificate, in futuro, mediante analisi di dettaglio che esulano dallo scopo di questa tesi.

Si tiene presente, infine, come verrà descritto nei successivi passaggi, che il tool prevede, che l'utente possa anche non avere una completa disponibilità dei dati, fornendo, comunque, uno *Score* che può essere considerato affidabile entro un determinato range di incertezza.

Tuttavia, come primo risultato si riportano i punteggi ottenuti nel caso applicativo, tenendo presente una percentuale di compilazione e inserimento dei dati nel software pari al 100 % per ogni alternativa.

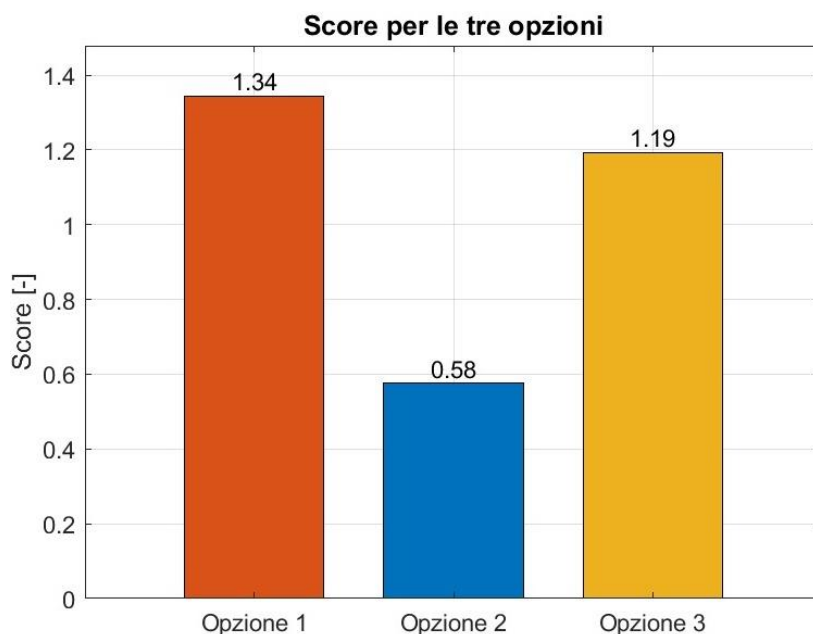


Figura 35: Istogramma relativo al punteggio per ogni singola opzione (GREEN 1)

Tabella 58: Score per ogni alternativa percentuale con compilazione del tool pari al 100% (GREEN 1)

| Alternativa progettuale | % Compilazione del tool | Score [-] |
|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Opzione 1 | 100 % | 1.34 |
| Opzione 2 | 100 % | 0.58 |
| Opzione 3 | 100 % | 1.19 |

A valle del percorso di valutazione, si può osservare che tramite il processo di assegnazione del punteggio, è stata individuata una classifica, con al primo posto l'Opzione 1, corrispondente all'installazione a bordo della piattaforma di un impianto di produzione di energia fotovoltaica, utilizzato per alimentare il sistema di dissalazione dell'acqua di mare.

Si può notare, inoltre, che tra gli *score* assegnati alle diverse alternative, lo scenario vincente si distacca dal secondo, per meno di due decimi di punto, mentre vi è una distanza rilevante con l'Opzione 2, di circa 0.76. Per cui, sulla base degli esiti ottenuti, si può certamente affermare che il progetto di riutilizzo del giacimento esaurito come stoccaggio per la miscela CH_4+H_2 , è quello meno adatto al caso specifico della piattaforma GREEN 1.

Per avere una visione completa dei risultati ottenuti, considerando di confrontare esclusivamente le tre opzioni in esame, calcolato lo score per ciascuna alternativa, si definisce una percentuale di adattabilità della piattaforma rispetto a ogni scenario di riconversione, tenendo presente il rapporto tra il punteggio $Score_i$ ottenuto dall'opzione i -esima, rispetto alla sommatoria dei tre risultati visti precedentemente:

$$\%_{opzione_i} = \frac{Score_i}{\sum_{i=1}^3 Score_i} \cdot 100$$

Pertanto, nella seguente figura, viene riportato un grafico a torta che mostra come i tre punteggi si rapportano tra di loro in maniera percentuale:

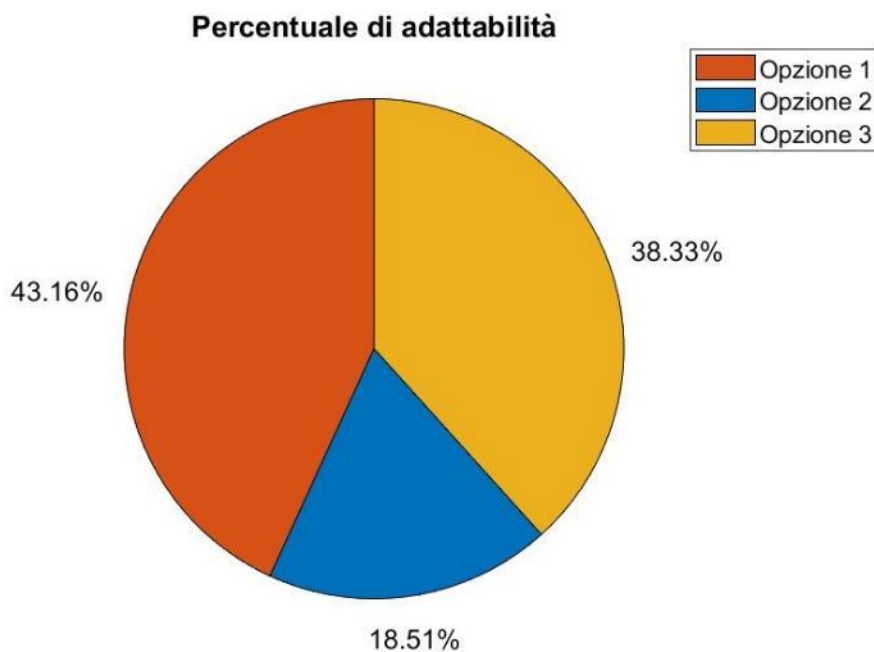


Figura 36: Diagramma a torta della percentuale di adattabilità per ogni opzione (GREEN 1)

Analizzando, il grafico in questione, si può confermare che l'alternativa di riconversione più soddisfacente, in termini di *performance* rispetto alle *competitor*, è indubbiamente l'Opzione 1, che raggiunge circa il 43% di adattabilità, attestandosi, quindi, come la soluzione progettuale più adatta alla specifica piattaforma offshore.

Per cui escludendo, indubbiamente, l'Opzione 2, da qualsiasi processo decisionale, poiché meno performante dal punto di vista tecnico-ambientale, rispetto alle caratteristiche della piattaforma analizzata, fermandosi al 18.51 %, risulta necessario analizzare nel dettaglio quali aspetti individuati nella fase metodologica della linea guida, contribuiscono all'effettiva determinazione della classifica in questione.

In particolare, è indispensabile comprendere per quale motivo l'Opzione 1 e 3 hanno tra loro un distacco in termini di punteggio molto inferiore rispetto all'ultimo scenario, che risulta fortemente penalizzato.

7.2. Discussione dei risultati ottenuti dall'analisi

Ogni macro-categoria contribuisce in maniera differente nella determinazione del punteggio delle tre opzioni analizzate. In particolare, per ciascuna alternativa in esame, vengono di seguito, individuati i punti di forza in cui il contributo in termini di performance è elevato, identificando allo stesso tempo, le macro-categorie in cui invece la prestazione dell'opzione i-esima è pessima poiché concorre con una somma pesata negativa, a ridurre lo score complessivo.

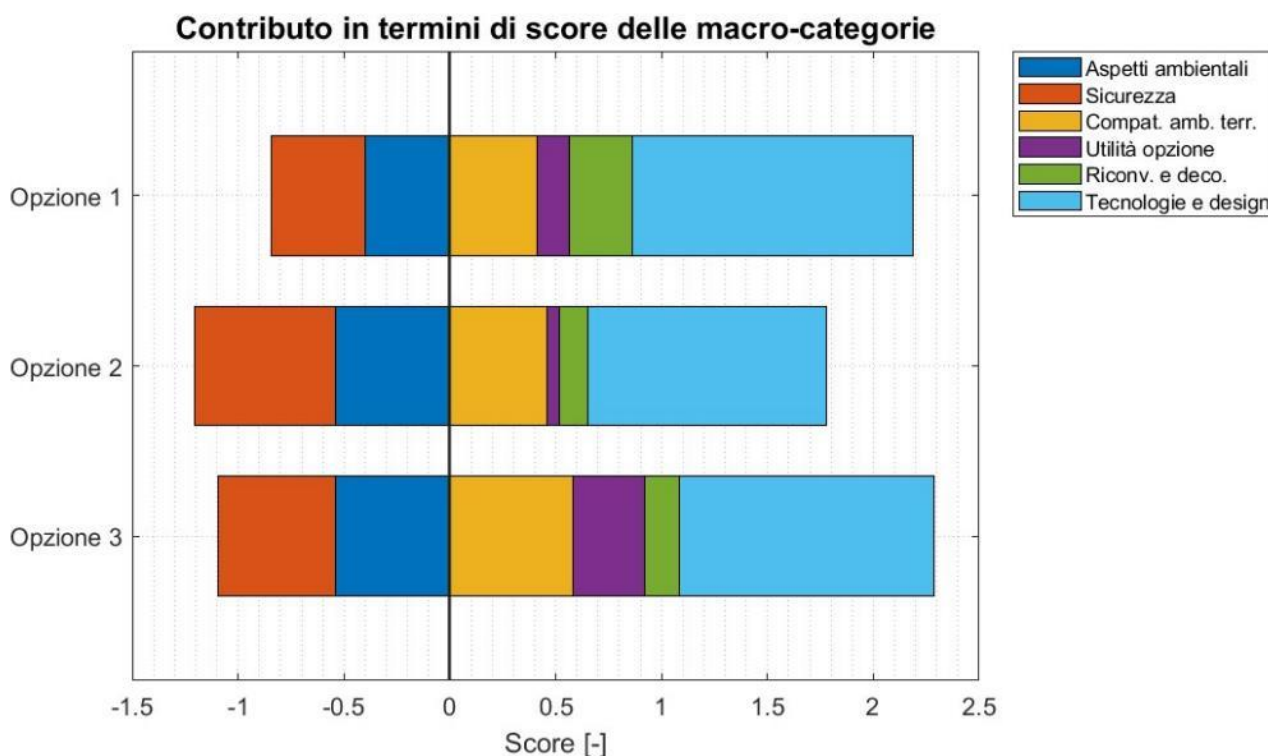


Figura 37: Contributo in termini di score per ogni macro-categoria (GREEN 1)

In Figura 37, si possono, infatti, analizzare tutte e sei le macro-categorie definite nei precedenti capitoli, individuando quale di queste sfavoriscono, con il loro rispettivo score, uno scenario rispetto ad un altro e quali invece consentano, ad esempio, per l'Opzione 1 di ottenere il punteggio più elevato.

Si osserva, inoltre, che se si considerassero in maniera separata alcuni aspetti (Ambientali, Sicurezza, ecc...), si avrebbero classifiche differenti, per questo la graduatoria finale risulta essere una sintesi complessiva di ogni gruppo di criterio, con ciascuno il proprio punteggio pesato, frutto della metodologia definita nell'analisi.

Di seguito, dunque, vengono riassunti, per ogni scenario, non solo le buone prestazioni nelle macro-categorie di beneficio ma anche i propri limiti negli aspetti che richiedono un costo:

- **Opzione 1:** con riferimento all'impatto ambientale in *normal operation* rispetto alla configurazione pre-riconversione che assume un peso negativo per ogni criterio analizzato, è opportuno sottolineare, come già osservato nel Capitolo 6, che l'Opzione 1 è quella con la minore impronta di carbonio rispetto agli altri scenari. Nel progetto preliminare, si prevede, infatti, che il consumo energetico dell'impianto sia quasi completamente soddisfatto da fonti

rinnovabili, con una minimizzazione di emissioni dirette di gas inquinanti o climalteranti, per cui se per le altre due opzioni si può osservare un punteggio negativo più elevato correlato ad esempio, allo scarico di turbogas per alimentare gli ausiliari o l'impiego di elettrocompressori, nello scenario relativo all'impianto di dissalazione, il costo pagato in termini ambientali è inferiore rispetto agli altri di circa il 25%. Si può osservare, inoltre, che l'Opzione 1 è l'alternativa progettuale che paga un prezzo inferiore anche in termini di sicurezza rispetto allo stoccaggio di CO₂ o della miscela CH₄+H₂, poiché non processa direttamente sostanze pericolose ma si limita a stoccare, per il pre-trattamento dell'acqua di mare, composti chimici che risultano nella maggior parte dei casi corrosivi o irritanti per l'apparato respiratorio. Inoltre, sia dal punto di vista degli aspetti legati all'attività di riconversione che per le caratteristiche tecnologiche riguardanti, soprattutto, il peso delle apparecchiature rimosse, che riduce gli sforzi sulle travi portanti, si può osservare un piccolo vantaggio rispetto alle altre opzioni. Al contrario, invece, tale scenario, per quanto riguarda gli aspetti di compatibilità, si può constatare che sia svantaggiato solo a causa della minore resistenza strutturale dei componenti installati a bordo della piattaforma, che potrebbero in alcuni casi, in presenza di eventi meteorologici come le tempeste di grandine, subire danni con perdita di parte della produzione;

- **Opzione 2:** per quanto concerne i criteri di sicurezza, tenendo presente i pericoli connessi all'attività dell'impianto, si può dedurre come dimostrato nel grafico in Figura 37, che l'Opzione 2 si presenta come lo scenario più critico, a causa della presenza di una maggior quantità di sostanze infiammabili e potenzialmente esplosive come la miscela CH₄+H₂, che in caso di rilascio, possono generare aree di danno che raggiungono le piattaforme limitrofe presidiate. Pertanto, in questo caso, si può desumere che proprio tale aspetto penalizza insieme al maggior impatto ambientale, lo scenario di riutilizzo temporaneo del giacimento esaurito. Tale progetto risulta avere, invece, per gli aspetti di compatibilità un maggior punteggio legato non tanto alle migliori caratteristiche strutturali delle apparecchiature installate a bordo della piattaforma ma soprattutto per i parametri di stoccaggio relativi al giacimento esausto, considerando, infine, le discrete performance, ottenute anche per gli aspetti tecnologici della *sealine* e per l'analisi dei carichi sulla piattaforma;
- **Opzione 3:** tra gli scenari di riconversione, l'Opzione 3, relativa allo stoccaggio della CO₂, risulta naturalmente quella più in linea con gli attuali obiettivi in termini di sostenibilità ambientale considerando le emissioni catturate annualmente, anche se allo stesso tempo per stoccare tale gas, rispetto all'Opzione 1, genera un impatto ambientale leggermente più elevato, legato all'attività di compressione. Si sottolinea, inoltre, che tale scenario è sfavorito anche in termini di sicurezza, a causa della tossicità del fluido in questione. Al contrario, invece, risulta avere discrete performance per quanto riguarda, non solo l'ottima resistenza delle apparecchiature installate a bordo della piattaforma, compatibili con gli eventi atmosferici ma anche per gli aspetti tecnologici e strutturali correlati sia alla riduzione degli ingombri prevista per le nuove installazioni che per i parametri relativi alla *sealine* e allo stoccaggio in giacimento.

7.3. Analisi di Benchmarking

Per comprendere meglio come la piattaforma GREEN 1 è potenzialmente adatta ad essere riconvertita, in funzione dei tre progetti esaminati, si riporta, di seguito, un'analisi comparativa, per ogni opzione, tra le prestazioni ottenute in termini di *Score* per il caso in esame e la piattaforma "ideale" più performante.

L'obiettivo dell'analisi di benchmarking, è proprio quello di analizzare come quest'ultima si colloca rispetto al cosiddetto "*Caso best platform*", rappresentativo delle migliori *performance* che un'infrastruttura offshore può ottenere sulla base dell'analisi multicriterio per quella determinata alternativa progettuale.

Per effettuare la comparazione vi è bisogno, dunque, di avere un *KPI (Key Performance Indicator)* che identifica le prestazioni e permette il confronto con un valore di riferimento. Pertanto, per ogni opzione è stato individuato il seguente rapporto percentuale:

$$\%_{benchmarking} = \frac{Score_i}{Score_{Best_i}} \cdot 100$$

Dove:

- $Score_i$ = è il punteggio ottenuto dalla piattaforma in esame (GREEN 1) rispetto all'opzione i-esima;
- $Score_{Best_i}$ = è il punteggio che otterrebbe la piattaforma con il livello prestazionale migliore rispetto all'opzione i-esima.

Per ottenere tale valore di riferimento, si individua la piattaforma virtuale ideale, considerando per ciascun criterio, definito nella metodologia, il miglior punteggio che tale alternativa potrebbe offrire. In particolare, il massimo livello prestazionale corrisponde, nel caso di un criterio di beneficio ($w_j > 0$) al punteggio più elevato ovvero 4, mentre nel caso di un criterio di costo ($w_j < 0$), al punteggio meno sfavorevole, ossia a 1.

Di seguito, dunque, vengono riportati i risultati ottenuti per ogni alternativa di riconversione implementata per la piattaforma GREEN 1:

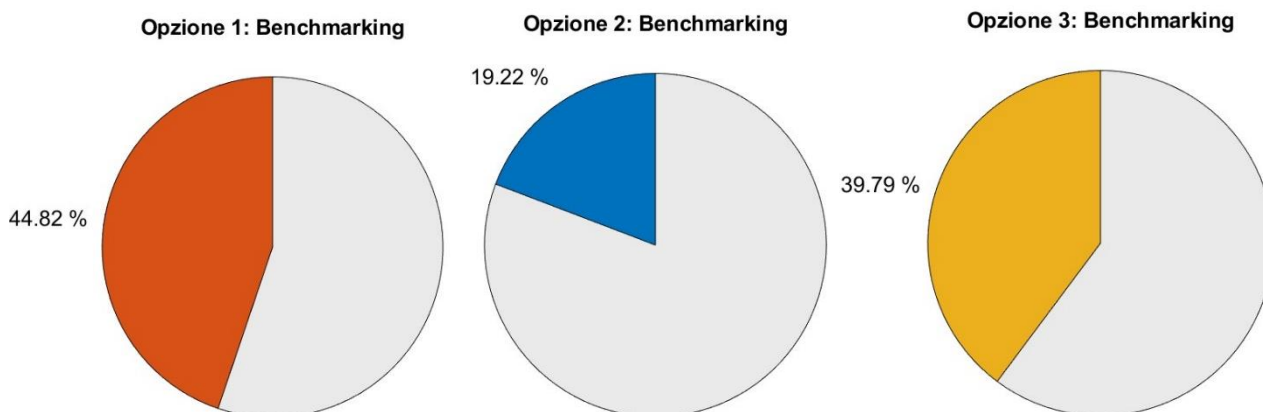


Figura 38: Risultati analisi di benchmarking (GREEN 1)

Come si può osservare in Figura 38, anche nel caso dell'analisi di comparazione con il caso "best", l'Opzione 1 emerge essere lo scenario migliore tra quelli analizzati con un valore pari circa al 45%.

Ovviamente, tale risultato, se da una parte conferma le migliori performance rispetto ai progetti competitor, affermandosi come la soluzione progettuale più adatta per la specifica piattaforma, dall'altra sottolinea che tali prestazioni non siano eccellenti rispetto all'implementazione su un possibile panorama di piattaforme che potrebbero essere potenzialmente più compatibili ad ospitare tale impianto.

La piattaforma GREEN 1, infatti, è frutto di un "caso studio" e rappresenta la "tipica" infrastruttura offshore presente in Italia, per cui è stata individuata, tenendo conto di quelle che sono le caratteristiche medie ma di riferimento per parte delle strutture presenti nel Mar Adriatico, considerando, ad esempio, una superficie del weather deck non molto estesa, che vincola la taglia dell'installazione di nuove apparecchiature o una radiazione solare incidente, fondamentale per la producibilità dell'impianto fotovoltaico, non molto elevata, se paragonata ad altre piattaforme poste più a Sud.

Per le altre due opzioni, si può, inoltre, constatare che i parametri di giacimento siano, talvolta, anche al di sotto della media, se si considera, ad esempio, il valore di profondità del pozzo relativo al campo idrocarburico, sopra i 2000 m per il 50 % dei giacimenti offshore presenti in Italia o il volume del giacimento di dimensioni discrete rispetto a piattaforme di dimensioni comparabili con il caso in esame.

Pertanto, considerando i parametri dimensionali e ambientali di GREEN 1 appena citati, rappresentativi delle condizioni medie di una distribuzione di valori reali nel panorama offshore italiano, si comprende il motivo per cui la performance di tale piattaforma, nel caso dell'opzione migliore, sia collocata proprio a metà rispetto al punteggio massimo che si potrebbe ottenere nel caso ideale.

7.4. Livello di incertezza

Come già accennato nel Capitolo 6, in assenza di informazioni quantitative che non sono a disposizione dell'utente, ma che vengono richieste dal tool, per compilare i quesiti relativi ai criteri quantitativi, si può, comunque, usufruire della possibilità di non inserire il dato numerico, poiché il software è programmato con lo scopo di individuare, per ogni opzione, in funzione della percentuale di compilazione dei criteri, un determinato range di incertezza associato al calcolo del punteggio complessivo.

Nel caso in questione dunque, non si fa riferimento a nessun modo alla qualità dei dati misurati, ovvero all'accuratezza dei parametri quantitativi inseriti nel tool, poiché tale operazione esula dallo scopo di questo elaborato, per cui la verifica sull'attendibilità del dato viene lasciata all'utente.

Di conseguenza, anche se lo strumento informatico richiede, a chi usufruisce del tool, di inserire il maggior numero di informazioni possibili per determinare il progetto di riconversione che meglio si adatta alla piattaforma in esame, si tiene presente, comunque, di un certo grado di indisponibilità

dei dati numerici, fornendo uno *Score* per ogni alternativa, che può essere considerato affidabile entro un determinato intervallo.

Per rappresentare tale range di incertezza relativo al risultato finale, sono state individuate delle *barre di errore* che rappresentano il limite inferiore e superiore, entro il quale il punteggio di ogni opzione è ritenuto ammissibile.

In particolare, per definire il valore dell'*Upper Bound*, è stato fatto riferimento al "*Caso best platform*", considerando di attribuire a ciascuna caratteristica quantitativa, per cui l'utente non ha compilato il relativo campo numerico, il miglior punteggio, tenendo presente, che il massimo livello prestazionale nel caso di un criterio con peso positivo corrisponde al valore 4 mentre per i criteri negativi al punteggio 1. In questo modo, infatti, si individua il massimo risultato in termini di *Score* che tale opzione può assumere, nel caso in cui il tool sia compilato al 100%.

Al contrario invece, per determinare il *Lower Bound*, è stato definito uno scenario virtuale relativo al "*Caso worst platform*", basato sull'individuazione delle peggiori prestazioni dell'alternativa in esame rispetto a ciascun criterio senza un input numerico, attribuendo, in questo modo, nel caso di un criterio di beneficio ($w_j > 0$) il minimo punteggio ovvero 1, mentre nel caso di un criterio di costo ($w_j < 0$), il livello più sfavorevole, ossia 4. In tal modo, si determina, infatti, il minimo *Score* che tale opzione può ottenere nel caso in cui il tool sia interamente compilato.

Di seguito si riportano, inoltre, le formule utilizzate per determinare il range di incertezza correlato al punteggio complessivo di ogni opzione, tenendo presente che ciascun limite è definito sommando/sottraendo allo score, ottenuto per quella specifica percentuale di compilazione, la somma pesata dei punteggi, attribuiti di default al criterio j-esimo, al quale in mancanza di dati, non è stata fornita una risposta:

$$Upper\ Bound = Score_i + \left| \sum_j PC_j \cdot w_j \right| \quad \begin{array}{l} \text{CASO} \\ \text{BEST PLATFORM} \end{array} \quad \begin{cases} se\ w_j > 0 \rightarrow PC_j = 4 \\ se\ w_j < 0 \rightarrow PC_j = 1 \end{cases}$$

$$Lower\ Bound = Score_i - \left| \sum_j PC_j \cdot w_j \right| \quad \begin{array}{l} \text{CASO} \\ \text{WORST PLATFORM} \end{array} \quad \begin{cases} se\ w_j > 0 \rightarrow PC_j = 1 \\ se\ w_j < 0 \rightarrow PC_j = 4 \end{cases}$$

Dove:

- $Score_i$ = è lo score ottenuto dalla piattaforma in esame rispetto all'opzione i-esima;
- PC_j = è il punteggio attribuito di default al criterio (quantitativo) di dettaglio j-esimo a cui l'utente, in mancanza di dati, non ha fornito una risposta;
- w_j = peso del criterio (quantitativo) di dettaglio j-esimo a cui l'utente non ha fornito una risposta.

Dunque, per ogni alternativa, in funzione della percentuale di compilazione dei criteri, si riporta per il caso applicativo GREEN 1, un esempio di incertezza legata al calcolo dello score:

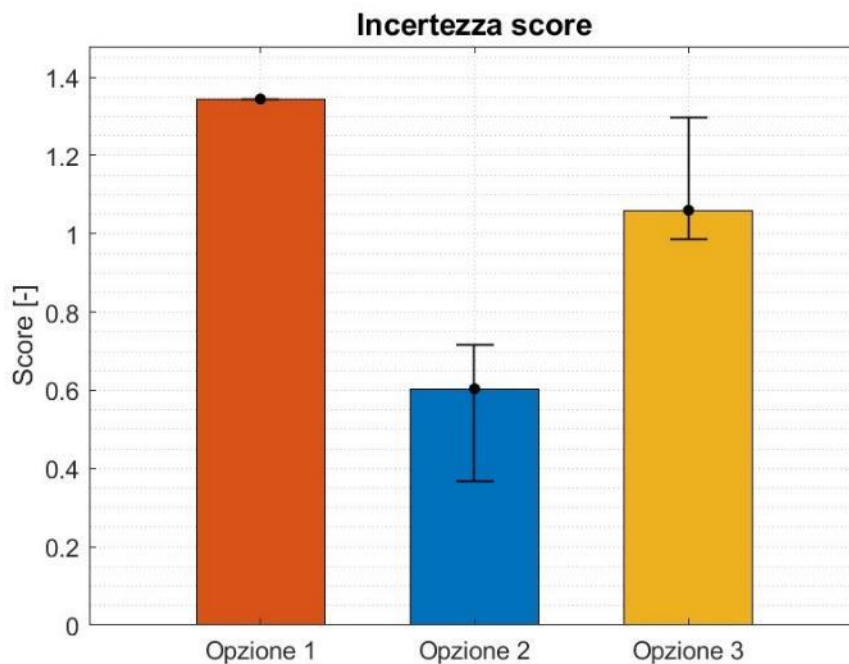


Figura 39: Esempio applicativo di error bar correlato all'incertezza dello score (GREEN 1)

Tabella 59: intervallo di incertezza associato alla percentuale di compilazione del tool (GREEN 1)

| Alternativa progettuale | % Compilazione del tool | Score [-] | Intervallo di incertezza <i>Lower Bound < Score < Upper Bound</i> |
|-------------------------|-------------------------|-----------|--|
| Opzione 1 | 100 % | 1.34 | / |
| Opzione 2 | 93.22 % | 0.60 | 0.37 < Score < 0.72 |
| Opzione 3 | 96.61 % | 1.06 | 0.99 < Score < 1.30 |

In Figura 39, si possono, infine, analizzare i risultati in termini di incertezza ottenuti, effettuando un test, con alcuni dati numerici che intenzionalmente non sono stati inseriti all'interno del tool, ipotizzando che le informazioni a riguardo, non fossero disponibili per l'utente.

Si può, infatti, osservare che, ad esempio, rispetto all'Opzione 1, per la quale è stata fornita la risposta a tutti i criteri, per le altre due alternative, considerando una percentuale di compilazione inferiore al 100 %, il punteggio potrebbe comunque oscillare all'interno di un range che soprattutto nel terzo scenario, si avvicinerebbe allo Score ottenuto dall'opzione vincente, senza superarlo.

Allo stesso modo, si può constatare che l'Opzione 2, ad esempio, ritenuta la meno adatta per la piattaforma GREEN 1, rimane tale, con il suo intervallo di incertezza, anche nel caso "best", poiché non riuscirebbe in nessun caso a superare l'opzione relativa allo stoccaggio di CO₂.

8. Conclusioni

L'analisi riportata all'interno del presente elaborato ha consentito di giungere a conclusioni di rilevante interesse riguardanti non solo la fattibilità tecnico-ambientale della riconversione di piattaforme offshore ma soprattutto sull'adattabilità delle tre opzioni progettuali rispetto alla specifica infrastruttura presa in esame. Si evidenzia, infatti, che gli scenari di riutilizzo garantirebbero, in linea con gli obiettivi della transizione energetica, delle valide alternative più o meno vantaggiose per restituire una nuova vita alla struttura altrimenti dismessa.

Alla luce della realizzazione della linea guida e del tool di supporto, è possibile affermare che gli obiettivi che sono stati posti all'inizio del lavoro sono pienamente raggiunti con risultati soddisfacenti.

Lo strumento informatico si è dimostrato essere un ottimo mezzo per aiutare il processo decisionale condotto dagli stakeholders coinvolti nella scelta del progetto di riutilizzo delle infrastrutture offshore, evidenziando attraverso una facile interpretazione grafica, quale alternativa rappresenti, in termini di valutazione delle performance di natura ambientale, tecnica e di sicurezza, la soluzione più adatta per lo specifico caso studio, tenendo presente anche la produttività dell'impianto.

In particolare, per determinare l'output dell'analisi, ovvero il livello di adattabilità per le tre opzioni di riconversione in funzione della piattaforma, è stato realizzato un software con l'obiettivo di estrarre da una rilevante quantità di dati inseriti dall'utente, informazioni utili per supportare tutti coloro che devono prendere decisioni strategiche, cercando di rendere facile non solo il suo utilizzo ma di ottenere in poco tempo risultati di chiara interpretazione, accessibili anche per agli utenti non esperti. Questo approccio garantisce, paradossalmente infatti, non solo un'analisi migliore dei dati con ad esempio indicatori globali di prestazione o comparazioni dirette delle alternative in modo da semplificare e velocizzare qualsiasi processo decisionale ma anche di approfondire e motivare le soluzioni progettuali con una specifica indagine sui punti di forza e di debolezza in funzione della piattaforma analizzata.

Tale strumento risulta, inoltre, essere particolarmente interessante poiché è stato definito in modo tale da ricevere in input dati relativi alle piattaforme presenti nel panorama offshore italiano in condizioni adatte alla riconversione secondo quanto già riportato al sottoparagrafo 2.1.1.. Pertanto anche se in tale elaborato vengono riportati i risultati ottenuti per il caso applicativo della piattaforma tipo, utilizzata per il processo di testing del tool, ottenendo come migliore soluzione l'Opzione 1 che risulta meno penalizzata in termini di impatto ambientale e di sicurezza, si tiene presente che tale studio è applicabile in linea generale per ogni piattaforma italiana offshore che in futuro rispetterà i vincoli e le condizioni già prescritte, ottenendo in questo modo, un'indicazione sullo scenario di riconversione migliore.

In particolare, per il caso applicativo della piattaforma GREEN 1, il risultato ottenuto è in linea con le aspettative, poiché l'Opzione 1, che risulta la migliore alternativa rispetto alle sue competitor genera dal punto di vista ambientale un minor impatto legato soprattutto al rilascio in ambiente di poche quantità di inquinanti. Ad eccezione della salamoia come scarto del processo di dissalazione, tale scenario risulta, infatti, avere un'importante riduzione delle emissioni di gas climalteranti rispetto alla configurazione pre-riconversione poiché il suo consumo energetico è soddisfatto da

fonti rinnovabili. Tale l'alternativa progettuale, non processando sostanze pericolose ha inoltre rispetto agli scenari che trattano gas, un vantaggio in termini di sicurezza. Nonostante ciò, si può notare, dai risultati ottenuti, che l'Opzione 3 relativa allo stoccaggio di CO₂, si distacca dal primo scenario per meno di due decimi di punto, considerando le ottime performance in termini di sostenibilità ambientale e di riduzione degli sforzi sulla struttura. Non si esclude che tale progetto, sia appunto una buona opzione di riconversione per la piattaforma in esame, se si considera, infatti che il peso attribuito ad alcuni criteri di dettaglio potrebbe essere tarato diversamente. Ad esempio nel caso del criterio relativo alla profondità del pozzo, si potrebbe assumere che tale caratteristica sia molto rilevante per la produzione dell'impianto, attribuendo un punteggio non più pari a 2 ma a 3, tenendo conto comunque che tale parametro garantisce le condizioni supercritiche a fondo pozzo sfruttando al meglio la compressione passiva dovuta al carico geodetico.

Infine, analizzando i dati relativi a GREEN 1, l'Opzione 2, come ci si attendeva, risulta molto meno adatta rispetto agli altri scenari, soprattutto perché è fortemente penalizzata in termini di sicurezza, tenendo presente i pericoli connessi all'attività dell'impianto, ovvero la presenza di sostanze infiammabili e potenzialmente esplosive come la miscela CH₄+H₂. Tale alternativa potrebbe ottenere un maggior punteggio se i pesi negativi associati ai criteri di pericolo e delle aree di danno fossero in valore assoluto minori, senza comunque raggiungere il punteggio ottenuto dagli altri scenari, poiché ad esso sono associati anche discrete performance circa gli aspetti tecnologici della sealine e per l'analisi dei carichi sulla piattaforma.

In funzione delle caratteristiche della specifica piattaforma e del contesto in cui è collocata, si potranno ottenere, ovviamente, risultati differenti rispetto al caso della piattaforma GREEN 1 che ha permesso di verificare non solo le funzionalità del tool ma anche di validare con successo la procedura di analisi multicriterio su cui si basa la linea guida di riconversione.

Il software ha permesso, inoltre, di rendere automatico il processo di attribuzione degli indici per ogni criterio, in funzione delle risposte fornite o dei dati inseriti dall'utente mediante la compilazione di una serie di finestre di dialogo, calcolando, infine, l'output in forma aggregata.

La metodologia di analisi riportata nei precedenti capitoli incentrata nella prima parte sulla definizione dei criteri e sulla determinazione dei range delle grandezze associate, è stata resa il più possibile aspecifica in modo da valutare le scelte progettuali in base alle caratteristiche di una generica piattaforma.

La principale criticità riscontrata nel corso dello studio, è stata quella di quantificare in maniera opportuna i criteri con una corrispondente scala di valutazione delle performance poiché tale fase necessita di molti dati provenienti da diversi settori disciplinari non sempre reperibili. Pertanto tenendo presente dell'indisponibilità di valori statistici di riferimento poiché nell'attuale panorama offshore non sono presenti casi reali di implementazione di progetti di riconversione di questa tipologia, sono state effettuate delle specifiche ipotesi il più possibile realistiche per ogni criterio di dettaglio, cercando di generalizzare le informazioni ricavate sia dai progetti preliminari che dai dati presenti in letteratura per ogni caratteristica analizzata, in modo da rendere i range di riferimento indicativi del livello di prestazione di qualsiasi piattaforma.

Un altro aspetto critico nella fase di definizione della linea guida e di implementazione del tool risiede nell'attribuzione di alcuni pesi individuati in base alla sensibilità, priorità e inclinazione che

potrebbe esprimere l'opinione pubblica o le parti interessate verso specifiche tematiche, per cui l'output del processo decisionale risulta influenzato dalla modalità con cui viene attribuita l'importanza a ciascuno di essi.

Tra i punti di forza di tale metodologia si riporta invece l'approccio di valutazione altamente sistematico in grado di raccogliere i dati in maniera organica e di essere per questo fortemente adatto per l'implementazione di strumenti computerizzati, ottenendo, così mediante metodiche di aggregazione ponderata, una classifica delle alternative progettuali.

È bene, infine, ribadire che tra le funzionalità fornite dal tool, nel caso di indisponibilità dei dati numerici da parte dell'utente, vi è la possibilità di non inserire il dato numerico, poiché il software è stato programmato in maniera tale da essere flessibile nel calcolo dell'output e determinare in funzione della percentuale di compilazione di ogni opzione, il corrispondente livello di incertezza sul punteggio ottenuto.

Tra gli aspetti positivi sorti nello studio dei tre progetti, si sottolinea, invece, che in linea generale, l'impatto ambientale nella fase di normal operation viene stimato essere sensibilmente minore rispetto alla configurazione pre-riconversione legata all'attività estrattiva di idrocarburi, per cui tale lavoro evidenzia anche l'enorme beneficio derivante dalla riconversione di un impianto facente parte del "vecchio" panorama energetico verso l'attuale sistema basato sulla sostenibilità ambientale e sull'implementazione di nuove tecnologie. Pertanto, si può concludere che le piattaforme petrolifere ormai in disuso possono essere viste in quest'ottica come una potenziale risorsa per uno sviluppo orientato nello sfruttamento dell'energia solare, nello stoccaggio di vettori energetico o nella cattura della CO₂.

Tra i futuri sviluppi di questo lavoro si possono sicuramente considerare, per quanto riguarda il tool, alcune modifiche allo strumento di supporto con nuove funzionalità e con l'ottimizzazione dell'ambiente di interfaccia, in modo tale da essere il più possibile user-friendly e garantire così un efficace e completo supporto al processo di "decision-making", estendendo la valutazione anche a configurazioni progettuali differenti rispetto alle tre alternative di riconversione analizzate in questo studio. La metodologia implementata, d'altro canto, potrebbe essere aggiornata e applicata a diversi scenari di riutilizzo, adattando in maniera opportuna i criteri già esistenti o individuando caratteristiche utili alla valutazione di nuovi design non ancora sviluppati.

ALLEGATO 1 – ELENCO CRITERI DI VALUTAZIONE

| ASPETTI AMBIENTALI | | | | | |
|---|------------------------|---|---|---|---|
| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| EMISSIONI DI GAS E VAPORI IN ATMOSFERA | | | | | |
| Quantità di emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Quantità di emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Il tempo di esposizione è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | La possibilità d'impatto è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| EMISSIONI DI LIQUIDI IN MARE | | | | | |
| Quantità di liquidi inquinanti rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Il tempo di esposizione è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | La possibilità d'impatto è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| EMISSIONE DI LIQUIDI IN MARE NON PRESENTI NELLA FASE DI PRE-RICONVERSIONE | | | | | |
| Variazione del pH rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | 0-0,1 | 0,1-0,35 | 0,35-0,5 | 0,5-0,7 |
| Incremento percentuale di salinità dell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico | / | 0- 1 % | 1-2,5% | 2,5-4% | 4-5% |
| PRODUZIONE DI RUMORE E VIBRAZIONI | | | | | |
| Quantità di rumore e vibrazioni prodotta rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Il tempo di esposizione è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

| ASPETTI AMBIENTALI | | | | | |
|---|------------------------|---|---|---|---|
| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| Possibilità di impatto su particolari specie sensibili ai rumori e alle vibrazioni prodotte rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | La possibilità d'impatto è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| PRODUZIONE DI CALORE | | | | | |
| Quantità di fluidi caldi rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Quantità di fluidi freddi rilasciati in mare annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Il tempo di esposizione è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Possibilità di impatto su particolari specie sensibili ai fluidi caldi/ freddi rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | La possibilità d'impatto è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| INQUINAMENTO LUMINOSO | | | | | |
| Quantità di luce artificiale prodotta annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Il tempo di esposizione è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| Possibilità di impatto su particolari specie sensibili alla luce artificiale prodotta rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | La possibilità d'impatto è molto minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è minore rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è uguale rispetto alle condizioni di pre-riconversione | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| CONSUMO DI ENERGIE E RISORSE | | | | | |
| Quantità di energia primaria consumata annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | / | Le quantità sono molto minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono minori rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono uguali rispetto alle condizioni di pre-riconversione | Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

| SICUREZZA | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| Quantità di sostanze infiammabili in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze infiammabili in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze esplosive in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze esplosive in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze tossiche in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze tossiche in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze corrosive in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze corrosive in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze pericolose per l'ambiente in fase liquida stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Quantità di sostanze pericolose per l'ambiente in fase gassosa stoccate a bordo della piattaforma | [kg] | 0 | 0 -100 | 100-1000 | >1000 |
| Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da stoccaggi di sostanze infiammabili della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) | / | Non impatto piattaforme limitrofe | Impatto con una radiazione di 7 kW/m ² solo le strutture di collegamento (se presenti) | Impatto con una radiazione di 12,5 kW/m ² solo le strutture di collegamento (se presenti) o con una radiazione di 7 kW/m ² sulla piattaforma limitrofa | Impatto con una radiazione di 12,5 kW/m ² la piattaforma limitrofa |

SICUREZZA

| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
|--|-----------------|--|---|--|--|
| Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da stoccaggi di sostanze potenzialmente esplosive della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) | / | Non impatto piattaforme limitrofe | Impatto con una sovrappressione pari a 0,07 bar solo le strutture di collegamento (se presenti) | Impatto con una sovrappressione di 0,3 bar solo sulle strutture di collegamento (se presenti) o con una sovrappressione di 0,07 bar sulla piattaforma limitrofa | Impatto con una sovrappressione di 0,3 bar la piattaforma limitrofa |
| Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da stoccaggi di sostanze tossiche della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti) | / | Non impatto piattaforme limitrofe | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH solo le strutture di collegamento (se presenti) | Impatto con una nube tossica, con concentrazione pari a LC50 solo le strutture di collegamento (se presenti) o con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH sulla piattaforma limitrofa | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari a LC50 la piattaforma limitrofa |
| Zona di sicurezza post-riconversione nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati rispetto alla configurazione pre-riconversione secondo l'art.28 del D.P.R. 886/1979 | / | La zona di sicurezza è inferiore o analoga alla configurazione pre-riconversione | La zona di sicurezza è 1,5 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione | La zona di sicurezza è 2 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione | La zona di sicurezza è 2,5 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione |

| COMPATIBILITÀ AMBIENTALE E TERRITORIALE | | | | | |
|---|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| Distanza tra la velocità del vento attesa e la velocità massima del vento compatibile con le installazioni a bordo della piattaforma | % | <35% | 35-55% | 55-75% | >75% |
| Differenza tra il carico dovuto alle precipitazioni nevose medie annue e il carico massimo compatibile con le apparecchiature a bordo della piattaforma | % | <15% | 15-30% | 30-75% | >75% |
| Differenza tra resistenza meccanica all'impatto dovuto alle tempeste di grandine e resistenza meccanica massima delle apparecchiature a bordo della piattaforma | % | <15% | 15-40% | 40-75% | >75% |
| Probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento sismico rilevante | / | Zona 4 | Zona 3 | Zona 2 | Zona 1 |
| Producibilità impianto fotovoltaico | kWh/m ² | >300 | 225-300 | 170-225 | < 170 |
| Presenza di giacimenti | / | Presente | / | / | Assente |
| Valore di GOIP del giacimento | MSm ³ | >900 | 600-900 | 600-300 | <300 |
| Efficienza giacimento >30 % | / | Si | / | / | No |
| Valore efficienza giacimento | % | >75% | 50-75% | 30-50% | <30% |
| Profondità pozzo | m | >3555 | 2318-3555 | 1245-2318 | <1245 |

| UTILITÀ OPZIONE | | | | | |
|--|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Criterio di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| Quantità di CO ₂ emessa annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione | % | <25% | 25-50% | 50-75% | >75% |
| Quantità di CO ₂ catturata annualmente. | kt/anno | >1000 | 1000-500 | 500-4 | <4 |

| RICONVERSIONE E DECOMMISSIONING | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Criterio di dettaglio | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| EMISSIONI DI GAS E VAPORI IN ATMOSFERA | | | | |
| Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciate in atmosfera dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciati in atmosfera dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| EMISSIONI DI LIQUIDI IN MARE | | | | |
| Impatto dovuto ai liquidi inquinanti rilasciati in mare dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| PRODUZIONE DI RIFIUTI | | | | |
| Quantità di rifiuti prodotta dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | < 55 | 55-75 | 75-95 | >95 |
| Quantità di rifiuti recuperabili prodotta durante le operazioni di riconversione e decommissioning | >85 | 55-85 | 20-55 | <20 |
| PRODUZIONE DI RUMORE E VIBRAZIONI | | | | |
| Impatto dovuto alla produzione di rumore e vibrazioni prodotta dalle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| PRODUZIONE DI CALORE | | | | |
| Impatto dovuto al rilascio di fluidi caldi in mare dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| Impatto dovuto al rilascio di fluidi freddi in mare dovute alle operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| INQUINAMENTO LUMINOSO | | | | |
| Impatto dovuto alla produzione luce artificiale prodotta durante le operazioni di riconversione e decommissioning | è trascurabile | è basso | è di media entità | è rilevante |
| CONSUMO DI ENERGIE E RISORSE | | | | |
| Quantità di energia primaria consumata durante le operazioni di riconversione e decommissioning | <0.1 | 0.1-1 | 1,0-3 | >3 |

| TECNOLOGIE E DESIGN | | | | | |
|---|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Critero di dettaglio | Unità di misura | Indice A | Indice B | Indice C | Indice D |
| Presenza del cavo elettrico funzionante | / | Presente | / | / | Assente |
| Periodo equivalente di iniezione/erogazione nel quale il giacimento viene "riempito/svuotato" considerando la portata massima trasportabile dalla sealine | % | >75% | 55-75% | 55-30% | <30% |
| Distanza fra la pressione di design e la pressione di esercizio della sealine nelle condizioni di post-riconversione | / | >7 | 7,0-3 | 3-1,5 | <1,5 |
| Compatibilità della sealine con miscele H ₂ | / | Si | / | / | No |
| Compatibilità della sealine con la CO ₂ | / | Si | / | / | No |
| Superficie disponibile nel weather deck per l'installazione di nuove apparecchiature | m ² | >400 | 240-400 | 170-240 | < 170 |
| Differenza fra i pesi rimossi e i pesi installati rapportati alla superficie totale della piattaforma | kg/m ² | >60 | 30-60 | 15-30 | <15 |
| Rapporto fra gli indici di ingombro post-riconversione e gli indici di ingombro pre-riconversione | % | <55% | 55-75% | 75-100% | >100% |
| Superficie emersa della piattaforma in esame è > 270 m ² | / | Si | / | / | No |
| Presenza di cluster | / | Si | / | / | No |

ALLEGATO 2 – ANALISI DEI CRITERI DI DETTAGLIO

- **Aspetti ambientali**

Emissioni di gas e vapori in atmosfera

- **Criterio 1.2. – Quantità di emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Il criterio si basa sul confronto qualitativo dell'indicatore ambientale legato alla stima delle emissioni di gas inquinanti rispetto alle condizioni precedenti alla riconversione. Si sottolinea, che tale criterio fa riferimento a qualsiasi sostanza gassosa rilasciata nell'aria che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente secondo il D.lgs. n. 155/2010 [64], attuazione della direttiva 2008/50/CE, che definisce l'elenco degli inquinanti per i quali è obbligatorio il monitoraggio della qualità dell'aria. In particolare, nel caso in esame, si fa riferimento, ad esempio, ad emissioni in atmosfera di NO₂, NO_x, SO₂, CO, particolato (PM10 e PM 2.5).

Per valutare tale criterio, è stata utilizzata, inoltre, la stessa scala qualitativa degli indici, riportata, in Tabella 8. In questo modo, nuovamente, confrontando in maniera qualitativa le stime sulle emissioni rilasciate dalla piattaforma prima della riconversione e quelle attese nelle condizioni di post-riconversione, l'analista seleziona direttamente la risposta.

- **Criterio 1.3. – Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Si considera opportuno stimare l'eventuale esposizione della flora e, soprattutto, dell'avifauna, alle emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera rispetto alle condizioni precedenti alla riconversione. Tale aspetto viene esaminato poiché l'effetto dovuto al rilascio di sostanze nell'ambiente, dipende in genere da diversi fattori, tra i quali non solo la quantità di sostanza inquinante rilasciata, che determinano i livelli di concentrazione ma anche il tempo di esposizione del biota ai diversi inquinanti [65].

Tabella 60: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.3.- "Aspetti ambientali"

| Indicatore | Unità di misura |
|--|------------------------|
| Stima qualitativa del tempo di esposizione atteso sulla flora e la fauna dovuto alle emissioni di gas inquinanti rispetto alle condizioni di pre-riconversione | - |

Per valutare tale criterio, è stata definita la seguente scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di prestazione:

Tabella 61: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.3.- "Aspetti ambientali"

| Indice | Descrizione del livello |
|---------------|---|
| A | Il tempo di esposizione è molto inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| B | Il tempo di esposizione è inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

| | |
|----------|--|
| C | Il tempo di esposizione è analogo rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| D | Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

In base alle proprie stime, confrontando in maniera qualitativa il tempo di esposizione sulla flora e la fauna, legato alle emissioni di gas in atmosfera, tra post e pre-riconversione, l'analista seleziona direttamente la risposta.

- **Criterio 1.4. – Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione**

Tale criterio valuta il possibile impatto su particolari specie sensibili agli inquinanti gassosi rilasciati in atmosfera, rispetto alla configurazione impiantistica antecedente alla riconversione. Risulta opportuno, infatti, stimare l'esposizione di tali varietà a diversi fattori di impatto, andando, per esempio, ad effettuare specifiche indagini ambientali in aree scelte come riferimento. Tramite, ad esempio, analisi ecotossicologiche su *biomarkers* di specie stanziali che vivono in prossimità della piattaforma [67], si possono, infatti, ottenere molteplici informazioni circa gli effetti di tali composti sull'ecosistema. Per esempio, alcuni inquinanti possono risultare bioaccumulabili da parte di particolari specie sensibili come gli organismi sessili, utilizzati di solito come indicatori della qualità dell'acqua, oppure, gli uccelli di piccola dimensione sono in genere più sensibili perché hanno un elevato metabolismo che permette una maggiore assunzione dell'inquinante [69].

Tabella 62: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 1.4.- "Aspetti ambientali"

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Stima qualitativa della possibilità d'impatto su specie sensibili dovuto alle emissioni di gas inquinanti rispetto alle condizioni di pre-riconversione | - |

Per valutare tale criterio, è stata definita la seguente scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di prestazione:

Tabella 63: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 1.4.- "Aspetti ambientali"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|--|
| A | La possibilità d'impatto è molto inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| B | La possibilità d'impatto è inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| C | La possibilità d'impatto è analoga rispetto alle condizioni di pre-riconversione |
| D | La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione |

Dunque, in base alle proprie valutazioni ambientali, confrontando in maniera qualitativa la possibilità d’impatto su specie sensibili dovuto alle emissioni di gas inquinanti, tra post e pre-riconversione, l’analista seleziona direttamente la risposta.

- **Aspetti di sicurezza**

- **Criterio 12 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze potenzialmente esplosive della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Tale criterio valuta, tramite un’analisi di sicurezza basata su un approccio quantitativo, lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze potenzialmente esplosive, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell’incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate. L’analista, infatti, in base ai propri studi sulle sostanze potenzialmente esplosive, presenti all’interno del processo e sulle condizioni critiche in termini di hold-up e pressioni d’esercizio, può simulare il fenomeno incidentale, attraverso molteplici modelli, calcolando, in questo modo, gli effetti dello scenario di esplosione in termini di distanze di danno. Si considera, inoltre, in tale scenario, il caso di accensione della nube infiammabile che raggiunge un’area congestionata dell’impianto, provocando un Vapor Cloud Explosion (VCE).

Tabella 64: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 12- “Aspetti di sicurezza”

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Stima del possibile impatto sulle persone, in termini di aree di danno, legate al rilascio di sostanze potenzialmente esplosive | - |

Si richiede di effettuare le simulazioni degli scenari più critici, tenendo presente come criteri di vulnerabilità per le persone, le seguenti soglie:

Tabella 65: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per le esplosioni

| Scenario | Elevata letalità | Lesioni irreversibili |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Sovrapressione dell’esplosione (bar) | 0.3 | 0.07 |

Per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione. Considerando che la miglior performance sia legata al caso in cui le aree di danno non impattino su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (*bridge*).

Tabella 66: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 12 - "Aspetti di sicurezza"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|---|
| A | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) |
| B | Impatto con una sovrappressione pari a 0.07 bar solo sulle strutture di collegamento (se presenti) |
| C | Impatto con una sovrappressione di 0.3 bar solo sulle strutture di collegamento (se presenti) o con una sovrappressione di 0.07 bar sulle piattaforme limitrofe |
| D | Impatto con una sovrappressione di 0.3 bar sulle piattaforme limitrofe |

In questo modo, l'analista, confrontando la distanza tra le piattaforme e l'area di danno maggiore per le rispettive sovrappressioni, seleziona direttamente la risposta.

- **Criterio 13 – Possibilità che le aree di danno, sviluppatesi da rilasci di sostanze tossiche della piattaforma in esame, impattino piattaforme limitrofe presidiate (se presenti)**

Tramite il seguente criterio si effettua un'analisi di sicurezza basata su un approccio quantitativo, andando a valutare lo scenario incidentale legato al rilascio di sostanze tossiche, stimando le distanze di danno e i potenziali effetti dell'incidente sul personale presente a bordo delle piattaforme limitrofe presidiate.

L'analista, infatti, in base ai propri studi sulle sostanze tossiche, presenti all'interno del processo e sulle condizioni critiche in termini di hold-up e pressioni d'esercizio, può simulare il fenomeno incidentale, attraverso molteplici modelli. In questo modo, può calcolare, gli effetti di una nube tossica in termini di area massima raggiunta dalle concentrazioni dannose per la salute umana.

Tabella 67: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 13 - "Aspetti di sicurezza"

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Stima del possibile impatto sulle persone, in termini di aree di danno, legate al rilascio di sostanze tossiche | - |

Si richiede, dunque, di individuare l'impatto relativo all'inventario isolabile più critico in termini quantitativi per le sostanze tossiche, utilizzando un set di diametri di rottura in accordo con il report OGP N°434-1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** Si considera, inoltre, che le simulazioni degli scenari vengono condotte nelle categorie di vento 2F e 5D, tenendo presente come criteri di vulnerabilità per le persone, le seguenti soglie di concentrazioni tossiche:

Tabella 68: Criteri di vulnerabilità rappresentativi per l'esposizione tossica

| Scenario | Elevata letalità | Lesioni irreversibili |
|---------------------|------------------|-----------------------|
| Esposizione tossica | LC50 | IDLH |

Per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione. Considerando che

la miglior performance, sia legata al caso in cui le aree di danno relative al foro più critico non impattino su piattaforme limitrofe presidiate o su strutture di collegamento (*bridge*).

Tabella 69: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 13 - "Aspetti di sicurezza"

| Indice | Descrizione del livello |
|--------|--|
| A | Non vi è impatto su piattaforme limitrofe (o strutture connesse) |
| B | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH solo sulle strutture di collegamento (se presenti) |
| C | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari a LC50 solo sulle strutture di collegamento (se presenti) o con una nube tossica con concentrazione pari all'IDLH sulle piattaforme limitrofe |
| D | Impatto con una nube tossica con concentrazione pari a LC50 sulle piattaforme limitrofe |

In questo modo, l'analista, confrontando la distanza tra le piattaforme e la massima area di danno per le rispettive concentrazioni pericolose, seleziona direttamente la risposta.

- **Criterio 14 – Zona di sicurezza post-riconversione nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati rispetto alla configurazione pre-riconversione secondo l'art.28 del D.P.R. 886/1979**

Il seguente criterio valuta il possibile impatto che il nuovo progetto di riconversione potrebbe avere sulle rotte marittime rispetto alla configurazione pre-riconversione, tenendo conto quanto richiesto all'art.9 del D.M. del 15 febbraio 2019 sulle "Linee guida nazionali per la dismissione mineraria delle piattaforme" [6]. Risulta opportuno, infatti, individuare potenziali conflitti d'uso con le attività di navigazione, prendendo come riferimento la normativa vigente sulle zone di sicurezza circa le infrastrutture Oil&Gas. In particolare, ai sensi l'art.28 del D.P.R. 886/1979 [49], si considera che: "[...] intorno alle piattaforme fisse e mobili è stabilita una zona di sicurezza nella quale è proibito l'accesso a navi ed aerei non autorizzati [...]". Specificando, inoltre, che tale area: "[...] è fissata con ordinanza dalla capitaneria di porto competente, sentita la sezione idrocarburi". Il decreto definisce, infine, un limite massimo ma non minimo di tale distanza, pari a 500 metri intorno alle installazioni.

Per cui secondo quanto stabilito dalla norma, la competenza è trasferita alla capitaneria di porto locale, la quale attraverso un'analisi preliminare sulla sicurezza della navigazione, verifica che la tale zona non interferisca con rotte commerciali e che non arrechi ulteriori restrizioni. In questo modo, viene esaminata, dunque, la compatibilità del nuovo progetto di riconversione con le altre attività marittime.

È stata, dunque, presa come riferimento l'Ordinanza n° 34/2020 della Capitaneria di Porto di Ravenna [70], la quale definisce come zona di sicurezza intorno alle piattaforme, in cui è vietato l'accesso alle imbarcazioni non autorizzate, un valore di 200 metri rispetto ai punti più esterni delle infrastrutture, considerando che tale limite venga esteso a 500 metri per le altre attività come la nautica da diporto e le attività subacquee.

Tabella 70: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 14 - "Aspetti di sicurezza"

| Indicatore | Unità di misura |
|--|-----------------|
| Estensione della zona di sicurezza post-riconversione nella quale è proibito l'accesso a navi e aerei non autorizzati rispetto alla configurazione pre-riconversione | - |

Per valutare tale criterio, è stata definita la seguente scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di prestazione, considerando che la miglior *performance* sia legata al beneficio che si ottiene in termini di spazio marittimo per la navigazione, nel caso in cui, ad esempio, tale area di sicurezza sia inferiore o immutata rispetto alla configurazione antecedente alla riconversione. Per gli altri livelli inferiori, sono stati considerati, invece, in maniera graduale dei coefficienti moltiplicativi che tengono conto della maggiore dimensione dell'area con restrizione per le rotte. Tali fattori, sono stati definiti, prendendo come riferimento, l'intervallo che intercorre tra il valore minimo di 200 m, citato precedentemente, e il limite massimo di 500 m. In particolare, è stato ipotizzato che nel caso ottimale, la zona di sicurezza per la piattaforma adibita all'estrazione di idrocarburi, fosse proprio pari a 200 m, mentre nei casi peggiori in post-riconversione, crescendo, tale area potesse essere 1,5 volte (300 m), 2 volte (400 m) o infine 2,5 volte (500 m) maggiore rispetto al valore di *baseline*.

Tabella 71: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 14 - "Aspetti di sicurezza"

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|--|
| A | La zona di sicurezza è inferiore o analoga alla configurazione pre-riconversione |
| B | La zona di sicurezza è 1,5 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione |
| C | La zona di sicurezza è 2 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione |
| D | La zona di sicurezza è 2,5 volte maggiore rispetto alla configurazione pre-riconversione |

Pertanto, sulla base della valutazione preliminare effettuata dalla capitaneria di porto, confrontando l'estensione della zona di sicurezza, tra post e pre-riconversione, l'analista seleziona direttamente la risposta.

- **Compatibilità ambientale e territoriale**

- **Criterio 3 – Distanza tra la resistenza meccanica all’impatto dovuto alle tempeste di grandine e la resistenza meccanica massima delle apparecchiature a bordo della piattaforma**

Tale criterio, valuta il possibile effetto sull’integrità dell’asset e sulla continuità della produzione, da parte di condizioni climatiche estreme come le tempeste di grandine. In questo modo si esamina quanto la resistenza strutturale dei diversi dispositivi o apparecchiature installate a bordo della piattaforma sia compatibile con gli eventi meteorologici.

In particolar modo, sebbene tale aspetto sia presente in tutte le alternative progettuali, si fa riferimento, soprattutto, in questa trattazione, al caso in cui gli eventuali danni strutturali incidono notevolmente sulla perdita di produzione. Ad esempio, nel caso dell’Opzione 1, si considera che la grandine in funzione della dimensione e della propria velocità può causare il danneggiamento strutturale dei pannelli fotovoltaici.

Innanzitutto, per analizzare correttamente l’impatto su un qualsiasi componente fermo installato a bordo della piattaforma risulta necessario calcolare la velocità del chicco di grandine.

In caduta libera, infatti, il chicco di grandine raggiunge la velocità limite nel momento in cui la forza peso è uguale alla sua resistenza aerodinamica [71]:

$$m_G g = \frac{1}{2} \rho_A C_D V^2 S$$

Dove:

- m_G : massa del chicco di grandine ($m_G = \pi \rho_G d^3 / 6$);
- g : accelerazione di gravità;
- ρ_A : densità dell’aria;
- C_D : coefficiente di resistenza aerodinamica della grandine;
- S : sezione trasversale del chicco di grandine ($S = \pi d^2 / 4$);
- V : velocità del chicco di grandine;

Per cui esplicitando ogni termine, la velocità limite può essere definita come segue:

$$V = \sqrt{\frac{4 \rho_G g}{3 \rho_A C_D}} d = K \sqrt{d}$$

Di conseguenza l’energia cinetica della massa di ghiaccio sarà pari a:

$$E_C = \frac{1}{2} m_G V^2$$

Pertanto, sulla base della formula appena identificata, nota la dimensione e la velocità statistica più frequente della grandine nella zona in cui si trova la piattaforma e gli analoghi parametri di resistenza letti da scheda tecnica per il componente in esame, si definisce il seguente indicatore:

Tabella 72: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale"

| Indicatore | Unità di misura |
|--|-----------------|
| Rapporto percentuale tra l'energia d'impatto della grandine prevista statisticamente nella zona e l'energia massima d' impatto a cui resiste il componente più sollecitato, installato a bordo della piattaforma | % |

Per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione, considerando che la miglior *performance* sia legata al caso in cui il rapporto, appena definito, sia il più basso possibile, ovvero, quando la resistenza del componente è molto più elevata dell'impatto stimato dovuto alla grandine.

Nella determinazione di tali range, è stato considerato come valore conservativo di riferimento (*baseline*), l'energia minima di impatto prevista dal test meccanico di resistenza alla grandine dei pannelli fotovoltaici, secondo lo standard internazionale IEC 61215 [72]. Tale grandezza, viene calcolata, infatti, attraverso la formula definita in precedenza, considerando come diametro e velocità della grandine, rispettivamente 25 mm e 23 m/s, alla quale, secondo la norma, corrisponde una massa di ghiaccio per il test pari a 7,53 g.

Per cui si ricavano i seguenti parametri:

Tabella 73: Valori di riferimento per il calcolo dei range

| $K [m^{1/2}/s]$ | $\rho_G [kg/m^3]$ | $E_{C,min,res} [J]$ |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 145.46 | 920.4 | 2 |

A tale valore di *baseline* $E_{C,min,res}$ vengono rapportate le energie d'impatto relative a due dimensioni caratteristiche, individuate in maniera conservativa nella scala di riferimento internazionale TORRO [73], ovvero 15 e 20 mm, considerando che la maggior parte dei chicchi è in media compreso tra 5 e 15 mm [53].

Tramite i parametri K e ρ_G calcolati precedentemente, si determinano, dunque le rispettive energie cinetiche:

Tabella 74: Parametri relativi alle due dimensioni caratteristiche

| $d [mm]$ | $V [m/s]$ | $m_G [g]$ | $E_C [J]$ |
|----------|-----------|-----------|------------|
| 15 | 17.82 | 1.63 | 0.3 |
| 20 | 20.57 | 3.86 | 0.8 |

Per concludere, viene individuato il relativo indicatore percentuale, come segue:

$$\% = \frac{E_c}{E_{C,min,res}} \cdot 100$$

Ottenendo rispettivamente il 15 e il 40 %.

Per l'ultimo livello di performance è stato considerato, infine, come riferimento, il valore di tolleranza di sicurezza, di solito utilizzato in ambito ingegneristico, pari al 75% rispetto alla *baseline* [74].

Tabella 75: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 3 - "Compatibilità ambientale e territoriale"

| Indice | Range (%) |
|--------|------------|
| A | <15 |
| B | Da 15 a 40 |
| C | Da 40 a 75 |
| D | >75 |

Dunque, in base alle proprie analisi meteorologiche, l'analista deve inserire nel tool non solo la dimensione e la velocità statistica più frequente della grandine nella zona in esame ma anche agli analoghi valori di diametro e velocità a cui il componente più sollecitato resiste secondo scheda tecnica. L'applicazione, infatti, calcola le rispettive energie di impatto e a secondo dell'indicatore percentuale assegna l'indice.

- **Criterio 4 – Probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento sismico rilevante**

Risulta interessante, per l'analisi di sicurezza strutturale dell'infrastruttura, caratterizzare dal punto di vista sismico la zona in cui è collocata la piattaforma. In Figura 40, ad esempio, si riporta la mappa di pericolosità sismica del territorio italiano su suolo rigido. Si può osservare, che quest'ultimo sia suddiviso in diverse aree rappresentative dell'indicatore di pericolosità (Accelerazione massima del suolo) che si prevede venga superato nel 10% dei casi in 50 anni (Tempo di esposizione).

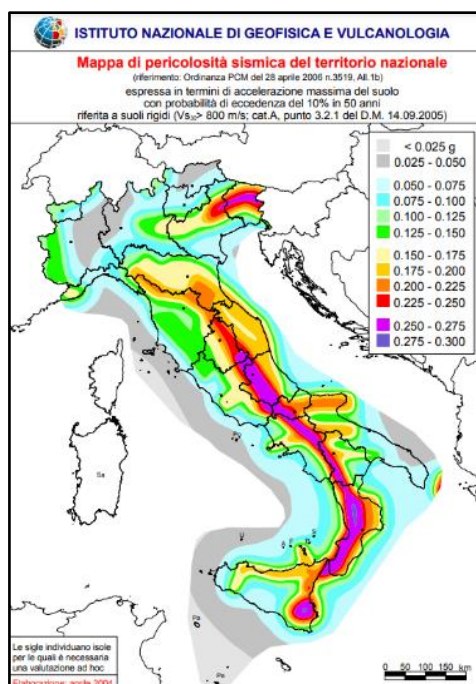


Figura 40: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale[75].

Pertanto, per valutare tale criterio, è stata definita una scala qualitativa degli indici con la corrispondente descrizione del livello di prestazione, che si basa sulla classificazione in quattro zone a pericolosità decrescente, prevista dall’O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 [55] e riportata nella seguente tabella:

Tabella 76: Classificazione sismica calcolata in base al picco di accelerazione al suolo

| Zona sismica | Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag) |
|--------------|--|
| 1 | $ag > 0.25 \text{ g}$ |
| 2 | $0.15 < ag \leq 0.25 \text{ g}$ |
| 3 | $0.05 < ag \leq 0.15 \text{ g}$ |
| 4 | $ag \leq 0.05 \text{ g}$ |

Considerando che tale criterio sia abbastanza auto-esplicativo, si può, dunque, dedurre che individuando l’area in cui è collocata la piattaforma con il rispettivo range di accelerazione, l’analista può facilmente selezionare la risposta, determinando la zona sismica:

Tabella 77: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 4 - “Compatibilità ambientale e territoriale”

| Indice | Descrizione del livello |
|----------|--|
| A | Zona 4 - È la zona meno pericolosa: la probabilità è molto bassa |
| B | Zona 3 - In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2 |
| C | Zona 2 - In questa zona forti terremoti sono possibili |
| D | Zona 1 - È la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta |

Si ricorda, infine, che l' idoneità sismica del sito per svolgere l'attività di processo è stata verificata già nel momento in cui è stata installata l'infrastruttura offshore e, inoltre, i progetti di riconversione non modificano i risultati ottenuti dai precedenti studi sismici.

- **Attività di riconversione e decommissioning**

Emissioni di gas e vapori in atmosfera

- **Criterio 1.2. – Impatto dovuto alle emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciate in atmosfera durante le operazioni di riconversione e decommissioning**

Il criterio si basa sulla valutazione ambientale dell'impatto legato alle emissioni di gas inquinanti rilasciati in aria, durante la fase di decommissioning e che possono avere, dunque, effetti dannosi secondo il D.lgs. n. 155/2010 [64].

Per valutare tale criterio, è stata utilizzata, inoltre, la stessa scala qualitativa degli indici, riportata, in Tabella 16. In questo modo, ancora una volta, mediante la propria valutazione ambientale, l'analista individua la magnitudo dell'impatto e seleziona direttamente la risposta.

- **Tecnologie e Design**

- **Criterio 2 – Periodo equivalente di iniezione/erogazione nel quale il giacimento viene “riempito/svuotato” considerando la portata massima trasportabile dalla sealine**

Questo criterio ha l'obiettivo di analizzare la capacità e la flessibilità con la quale la *sealine* è in grado riempire o svuotare il giacimento nel minor tempo possibile considerando che questa trasporti sempre la portata massima. Si considera, infatti, che il giacimento esaurito possa essere utilizzato, dopo una fase di regimazione, come “polmone” di stoccaggio, in grado di garantire un servizio di modulazione che soddisfi l'andamento stagionale dei consumi. Si presuppone, infatti, che l'immagazzinamento del gas avvenga nei periodi di minor richiesta da parte della rete, come il periodo estivo, mentre nelle fasi di maggior domanda, tipica della stagione invernale, il gas venga estratto e immesso in rete.

In linea teorica, nel *basic design* dell'Opzione 2, si ritiene che l'impianto lavori in modalità erogazione per sei mesi e in modalità iniezione continuativamente per i restanti mesi dell'anno. Si deve specificare, però, che nel reale funzionamento, tali periodi possono subire delle variazioni, ossia lo *switch* operativo può avvenire in altre circostanze, causate principalmente dalla naturale imprevedibilità della domanda a cui l'impianto di stoccaggio deve rispondere, in caso di necessità. Ad esempio, può accadere che, durante la fase di iniezione, si debba assicurare, nei limiti di pressione ammessi, un elevato grado di riempimento degli stoccaggi in tempi inferiori ai 6 mesi. Pertanto, per tener conto, di improvvisi scenari che possono verificarsi nell'attività dell'impianto di stoccaggio, si definisce in maniera molto conservativa e teorica un parametro che tiene conto della flessibilità con la quale la *sealine* è in grado di trasportare la portata necessaria per l'erogazione/iniezione.

Si richiede, in particolare, all'analista di inserire all'interno del tool due parametri, sia il valore di *Working gas* ($M\text{Sm}^3$), a valle della regimazione, che tiene conto del volume di gas che può essere iniettato o prelevata dal giacimento, che la portata massima trasportabile dalla *sealine* ($\text{Sm}^3/\text{giorno}$) secondo quanto definito nel *basic design*. In questo modo, infatti, mediante la seguente formula, il software può stimare il tempo equivalente in giorni, impiegato dalla condotta, continuativamente a pieno regime, per "riempire/svuotare" il giacimento:

$$\text{Tempo equivalente} = \frac{\text{Working gas}}{\text{Portata max sealine}}$$

Tabella 78: Indicatore e unità di misura per la valutazione del Criterio 2 – "Tecnologie e Design"

| Indicatore | Unità di misura |
|---|-----------------|
| Tempo equivalente impiegato dalla condotta, per "riempire/svuotare" il giacimento, nelle condizioni di portata massima, per l'intera fase operativa | Giorni |

Di conseguenza, per valutare tale criterio, è stata definita una scala di attribuzione degli indici con il corrispondente range di grandezze identificativo del livello di prestazione. Considerando che la miglior *performance* sia legata al caso estremo, in cui la *sealine*, con la sua portata massima, consente di raggiungere il riempimento del giacimento nel minor tempo possibile, rispetto al valore teorico di riferimento pari a 6 mesi (183 giorni). I range sono stati definiti come riportato in Tabella 79 con i rispettivi mesi, tenendo presente che per quanto concerne il livello intermedio della scala degli indici corrispondente ai 154 giorni, è stato preso come riferimento il valore calcolato, attraverso i dati sulla *sealine* e sul giacimento della piattaforma "tipo" GREEN1.

Tabella 79: Scala degli indici per la valutazione del Criterio 2 – "Tecnologie e Design"

| Indice | Range (<i>Giorni</i>) |
|--------|----------------------------------|
| A | <122 (4 Mesi) |
| B | Da 122 a 154 (\approx 5 Mesi) |
| C | Da 154 a 183 |
| D | >183 (6 Mesi) |

ALLEGATO 3 – MANUALE D’USO DEL TOOL

- **Accesso al tool**

L'applicazione è stata sviluppata utilizzando il linguaggio di programmazione MATLAB, sfruttando le caratteristiche peculiari di tale ambiente di sviluppo, ossia la possibilità di scrivere dei programmi (Script) ma anche di integrare interfacce e output grafici. Per questo motivo l'utente può interagire direttamente con il tool cliccando l'icona relativa allo script MATLAB con estensione .m presente nella cartella di esecuzione del tool.



Script_riconversione

Figura 41: Icona script MATLAB

Utilizzando l'omonimo software di calcolo si può procedere con il RUN del codice di sviluppo. All'apertura del Tool, l'utente visualizza la seguente interfaccia grafica che permette di avviare il software cliccando su "START" e far sì che l'utente risponda ai quesiti richiesti:



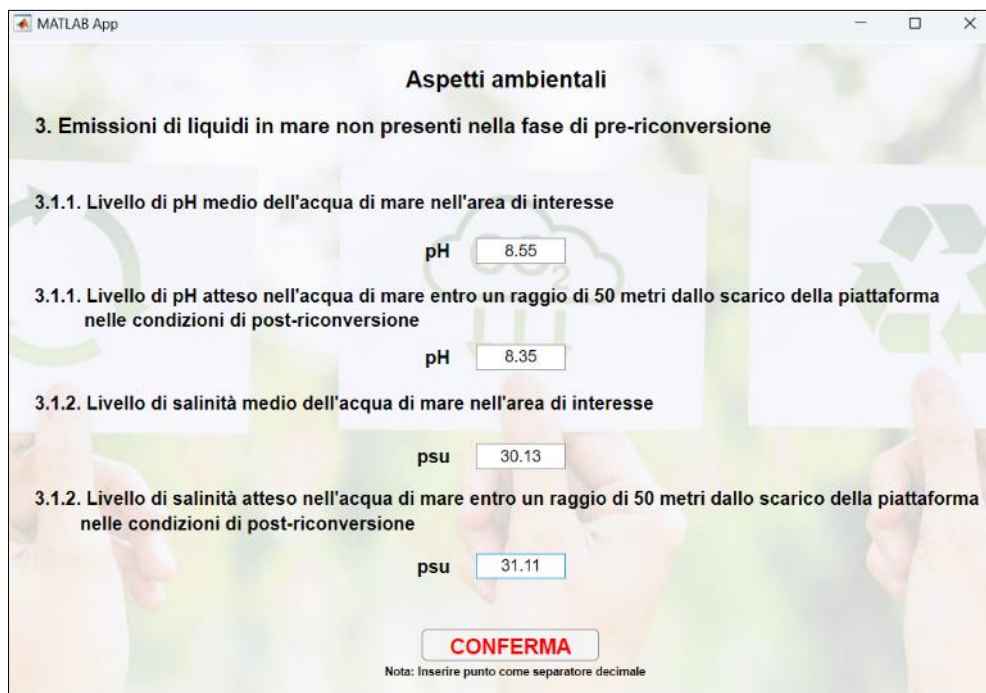
Figura 42: Interfaccia start tool

- **Inserimento dati nel Tool**

L'utente, in questo modo, può interagire in maniera semplice con il programma, selezionando direttamente la risposta, se fornita, oppure inserendo manualmente i dati richiesti per le successive elaborazioni del tool.

In questo modo è possibile interagire con diverse *GUI (Interfaccia grafica utente)* integrate in MATLAB.

Lo strumento informatico richiede di inserire per ogni opzione sia dati quantitativi compilando i campi numerici richiesti



Aspetti ambientali

3. Emissioni di liquidi in mare non presenti nella fase di pre-riconversione

3.1.1. Livello di pH medio dell'acqua di mare nell'area di interesse
pH

3.1.1. Livello di pH atteso nell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico della piattaforma nelle condizioni di post-riconversione
pH

3.1.2. Livello di salinità medio dell'acqua di mare nell'area di interesse
psu

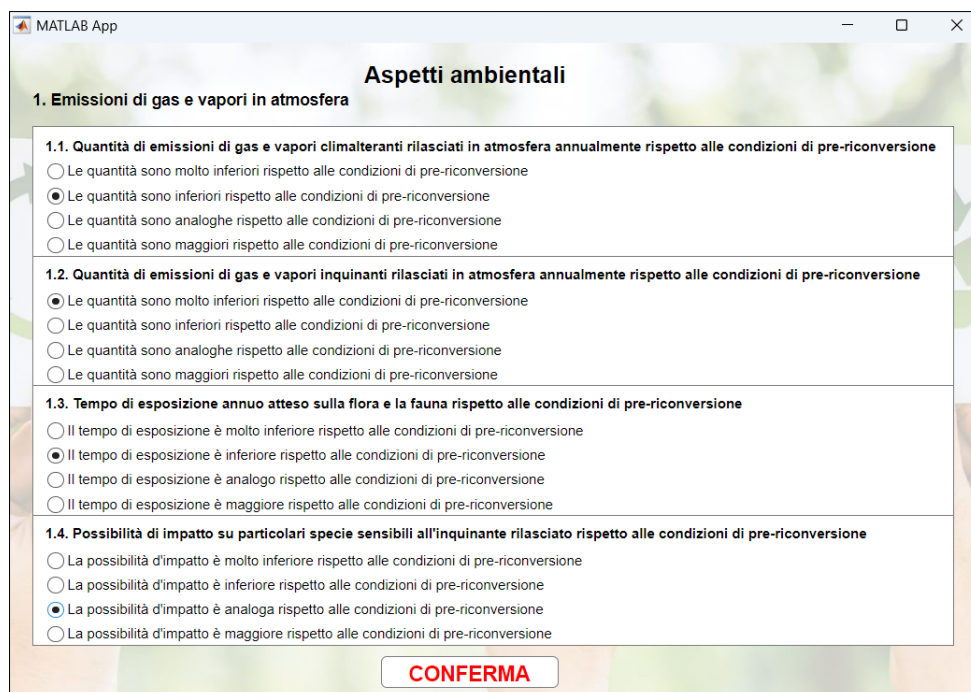
3.1.2. Livello di salinità atteso nell'acqua di mare entro un raggio di 50 metri dallo scarico della piattaforma nelle condizioni di post-riconversione
psu

CONFERMA

Nota: Inserire punto come separatore decimale

Figura 43: Esempio di finestra grafica con criteri quantitativi

che di selezionare la risposta nel caso di criteri qualitativi con quesiti a scelta multipla:



Aspetti ambientali

1. Emissioni di gas e vapori in atmosfera

1.1. Quantità di emissioni di gas e vapori climalteranti rilasciati in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione

- Le quantità sono molto inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono analoghe rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione

1.2. Quantità di emissioni di gas e vapori inquinanti rilasciati in atmosfera annualmente rispetto alle condizioni di pre-riconversione

- Le quantità sono molto inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono inferiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono analoghe rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Le quantità sono maggiori rispetto alle condizioni di pre-riconversione

1.3. Tempo di esposizione annuo atteso sulla flora e la fauna rispetto alle condizioni di pre-riconversione

- Il tempo di esposizione è molto inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Il tempo di esposizione è inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Il tempo di esposizione è analogo rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- Il tempo di esposizione è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione

1.4. Possibilità di impatto su particolari specie sensibili all'inquinante rilasciato rispetto alle condizioni di pre-riconversione

- La possibilità d'impatto è molto inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- La possibilità d'impatto è inferiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- La possibilità d'impatto è analoga rispetto alle condizioni di pre-riconversione
- La possibilità d'impatto è maggiore rispetto alle condizioni di pre-riconversione

CONFERMA

Figura 44: Esempio di finestra grafica con criteri qualitativi

- **Visualizzazione risultati tool**

Alla fine della compilazione dei quesiti relativi alle tre opzioni, cliccando sull'icona presente nell'ultima finestra di interfaccia, il tool elabora le informazioni e permette di visualizzare graficamente i risultati attraverso diversi output grafici di facile interpretazione:

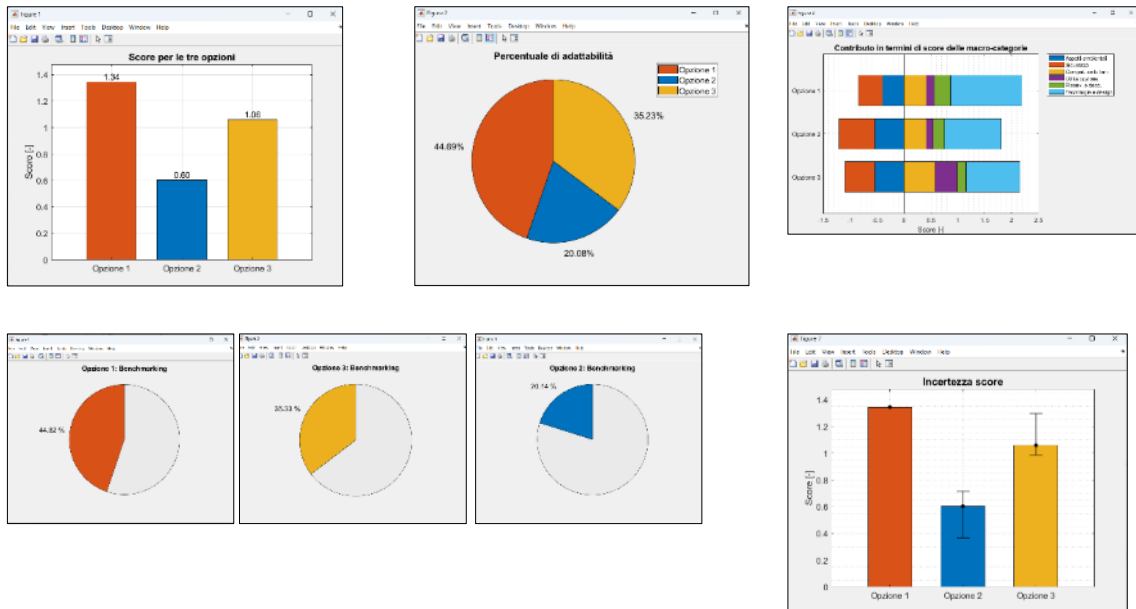


Figura 45: Risultati grafici

Il tool restituisce, infine, all'interno di un file Excel relativo ai risultati



Figura 46: File risultati

una tabella con i valori di output ottenuti per ogni opzione:

| | A | B | C | D | E | F |
|---|-------------|----------------|-------|----------------|-------------|-------------|
| 1 | Alternativa | % compilazione | Score | % adattabilità | Lower Bound | Upper bound |
| 2 | Opzione 1 | 100,00 | 1,34 | 44,69 | 1,34 | 1,34 |
| 3 | Opzione 2 | 93,22 | 0,60 | 20,08 | 0,37 | 0,72 |
| 4 | Opzione 3 | 96,61 | 1,06 | 35,23 | 0,99 | 1,30 |

Figura 47: Tabella risultati numerici

Bibliografia

- [1] IPCC,2022: *Summary for Policymakers* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- [2] Andrea Ballabio, Donato Berardi, Roberto Bianchini, Andrea Tenconi, Samir Traini, *Scenari elettrici al 2050: potenzialità e criticità del caso italiano*, n.210 Transizione energetica, Laboratorio REF Ricerche, Maggio 2022.
Disponibile al link: https://laboratorioref.it/wp-content/uploads/ref-attachments/Position-Paper_Scenari-elettrici-2050-1.pdf
- [3] ARERA, 2022, *Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta*. Disponibile al link: https://www.arera.it/allegati/relaz_ann/23/RA23_volume_1.pdf
- [4] Agnese Paci, Renata Archetti, *Offshore Adriatico: Opportunità di riutilizzo delle strutture esistenti*, Homeless Book, Luglio 2018.
- [5] D. Burdon, S. Barnard, S. Boyes e M. Elliot, *Oil and gas infrastructure decommissioning in marine protected areas: system complexity and challenges*, Marine Pollution Bulletin, n.135, 2018.
- [6] D.M. del 15 febbraio 2019, “Linee guida nazionali per la dismissione mineraria delle piattaforme per la coltivazione di idrocarburi in mare e delle infrastrutture connesse”.
- [7] MASE – Ministero dell’ambiente e della sicurezza energetica, *Elenco piattaforme marine e centrali di raccolta e trattamento nel WebGIS UNMIG*.
- [8] Russell McKenna, Matteo D'Andrea, Mario Garzón González, *Analysing long-term opportunities for offshore energy system integration in the Danish North Sea*, Advances in Applied Energy, Volume 4,2021, 100067, ISSN 2666-7924, Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100067> .
- [9] Eni - Piattaforma Garibaldi C, Foto archivio di Nicola Cordì. Disponibile al link: <https://www.nicolacordi.com/eni-piattaforma-garibaldi>
- [10] Ann Bull and Milton Love. *Worldwide oil and gas platform decommissioning: A review of practices and reefing options*. Ocean and Coastal Management, Volume 168, 2019.
- [11] A.M. Fowler, P.I. Macreadie, D.O.B. Jones, D.J. Booth, *A multi-criteria decision approach to decommissioning of offshore oil and gas infrastructure*, Ocean & Coastal Management, Volume 87, 2014.
- [12] Disponibile al link: <https://www.saipem.com/it/progetti-saipem/bp-miller>

- [13] Brigitte Sommer, Ashley M. Fowler, Peter I. Macreadie, David A. Palandro, Azivy C. Aziz, David J. Booth, *Decommissioning of offshore oil and gas structures – Environmental opportunities and challenges*, Science of The Total Environment, Volume 658, 2019, Pages 973-981, ISSN 0048-9697, Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.193>
- [14] Ann Bull and James Jr. *An indication of the process: Offshore platforms as artificial reefs in the gulf of mexico*. Bulletin of Marine Science, 55:1086–1098, Settembre 1994.
- [15] Claisse JT, Pondella DJ II, Love M, Zahn LA, Williams CM, Bull AS (2015) *Impacts from Partial Removal of Decommissioned Oil and Gas Platforms on Fish Biomass and Production on the Remaining Platform Structure and Surrounding Shell Mounds*. PLoS ONE 10(9): e0135812. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135812>
- [16] Photo by Mark Strickland/Blue Planet Archive. Disponibile al link: <https://hakaimagazine.com/features/oil-rigs-are-a-refuge-in-a-dying-sea/>
- [17] Watson, A.J., Schuster, U., Shutler, J.D. *et al. Revised estimates of ocean-atmosphere CO₂ flux are consistent with ocean carbon inventory*. Nat Commun 11, 4422 (2020). Disponibile al link: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18203-3>
- [18] ENI spa, *Decommissioning operations*. Disponibile al link: <https://www.eni.com/en-IT/operations/natural-resources/decommissioning.html>
- [19] A. Aliberti, *Riconversione di una piattaforma petrolifera in dismissione per l'installazione di un impianto di dissalazione alimentato da energia fotovoltaica*. Progettazione preliminare., Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2020-2021, relatori A. Carpignano, G. Ballocco, R. Gerboni, A. C. Uggenti.
- [20] G. Rech, *Conversione di una piattaforma petrolifera in dismissione e del relativo reservoir in sito di stoccaggio temporaneo per una miscela di idrogeno e gas naturale*. Progettazione preliminare. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2020-2021, relatori A. Carpignano, R. Gerboni, G. Ballocco.
- [21] F.Pertuso, *Riconversione di una piattaforma petrolifera in dismissione e del relativo reservoir per l'installazione di un impianto di stoccaggio di anidride carbonica*. Progettazione preliminare. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2022-2023, relatori A. Carpignano, R. Gerboni, A. C. Uggenti, L. Porte'.
- [22] RAMS&E S.r.l. Disponibile al link: <https://ramse.it/news-platforms-conversion/>
- [23] SNAM. Disponibile al link: https://www.snam.it/it/snam_per_lombardia/impianto/impianti_stoccaggio/
- [24] SNAM. Disponibile al link: <https://reports.snam.it/2019/bilancio-sostenibilita/allaricerca-della-nuova-energia/snam-e-lidrogeno.html>
- [25] Davood Zivar, Sunil Kumar, Jalal Foroozesh, *Underground hydrogen storage: A comprehensive review*, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 45, 2021, Pages 23436-23462, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.138>.
- [26] Global CCS Institute. Disponibile al link: <https://www.globalccsinstitute.com/resources/ccs-101-the-basics/>

- [27] Global CCS Institute. Global Status of CCS 2022; Global CCS Institute: Melbourne, Australia, 2022.
- [28] A. Martini, Metodologia tecnico-ingegneristica per la valutazione della riconversione green di piattaforme oil&gas offshore. Sviluppo del processo di analisi per la definizione di una linea guida. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2023- 2024, relatori A. Carpignano, R. Gerboni, A. C. Ugenti, L. Portè.
- [29] Elenco delle piattaforme in dismissione mineraria, MiSE. Disponibile al sito: <https://unmig.mase.gov.it/dismissione-mineraria-delle-piattaforme-marine/elenco-delle-piattaforme-in-dismissione-mineraria/>
- [30] Comitato per la sicurezza delle operazioni a mare, *“Linee Guida per la redazione della Relazione Grandi Rischi e la valutazione del rischio in accordo al D.Lgs. 145/2015”*, Ottobre 2017.
- [31] Decreto legislativo 18 agosto 2015, n. 145, *“Attuazione della direttiva 2013/30/UE sulla sicurezza delle operazioni in mare nel settore degli idrocarburi e che modifica la direttiva 2004/35/CE”*.
- [32] FSES, Functional Safety Engineering Services. Disponibile al link: <https://fses.global/service/consequence-modelling/>
- [33] European Green Deal, Commissione europea. Disponibile al link: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it
- [34] Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, and Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, *“Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra,”* 2021.
- [35] Heerema Marine Contractors. Disponibile al link: <https://www.heerema.com/heerema-marine-contractors>
- [36] Tecnoconsult Engineering Construction Srl. Disponibile al link: <https://www.tecnoconsult.it/>
- [37] SNAM RETE GAS S.p.A., *Iniziativa sealine tirrenica, Condotte sottomarine, SIA - Quadro progettuale, Tratto Monforte San Giorgio - Policastro Bussentino DN 800 (32”), P215 bar*, 2008.
- [38] Najera, G., *Maintenance techniques proven on CO2 line*, Oil and Gas Journal, 1986.
- [39] IEAGHG, *“CO2 Pipeline Infrastructure”*, 2013/18, December, 2013.
- [40] D. M. 4 Febbraio 2011 – *“Procedure operative di attuazione del decreto 21 gennaio 2011 e modalità di svolgimento delle attività di stoccaggio e di controllo, ai sensi dell’articolo 13, comma 4 del decreto 21 gennaio 2011”*.
- [41] *Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change*, United Nations, 1998. Disponibile al link: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [42] OGP 434-1, *“Process Release Frequencies”*, 2010
- [43] G. Carmassi, *Fotovoltaico - Progettazione e valutazione economica in conto energia*, Palermo, Grafill, 2012.

- [44] *Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee (PiTESAI)*, MASE, Dicembre 2021, redatto ai sensi dell'art. 11-ter della Legge 11 febbraio 2019, n. 12.
- [45] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS-JRC). Disponibile al link: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/download/download.htm>
- [46] ABB, *Quaderni di applicazione tecnica N.10: Impianti fotovoltaici*, 2013
- [47] Gli indicatori statistici: concetti, metodi e applicazioni / F. Maggino. - ELETTRONICO. - (2006), pp. 1-485.
- [48] D.P.R. del 21 Dicembre 1999, n. 554 in materia di "Regolamento d'attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 Febbraio 1994 n. 109, e successive modificazioni".
- [49] Department for Communities and Local Government (2009) *Multi-Criteria Analysis: A Manual*. Communities and Local Government Publications, London.
- [50] Comune di Torino, *Rapporto Ambientale, Valutazione Ambientale Strategica (VAS), Variante al PRGC del Comune di Torino relativa alla Conservazione e valorizzazione del "Palazzo del Lavoro" e di riqualificazione delle aree limitrofe*, 2015.
- [51] Figueira, José & Greco, Salvatore & Ehrgott, Matthias. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis, State of the Art Surveys*. New York, Springer; 2005th edition, pag. 298.
- [52] Zopounidis, Constantin & Doumpos, Michael. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision MAKING: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 11. 167 - 186. 10.1002/mcda.333.
- [53] Ing. Nicola Caterino, *Analisi decisionale multicriterio per l'adeguamento sismico di edifici in c.a.*, Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II, 2006, tutor Prof. G. Manfredi.
- [54] F. Torta, D. Fiorello, *Analisi multicriteria delle alternative, Progetto "Raccordo", Connessioni ferroviarie tra il Porto di Livorno, interporto di Guasticce, linea Pisa-Collesalveti-Vada e linea Firenze-Pisa*, TRT Trasporti e Territorio Milano, Dicembre 2015.
- [55] D. Avogaro, *Analisi di valore nella certificazione del comfort edilizio: prioritizzazione delle alternative del protocollo well*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova, a.a. 2022-2023, relatori Prof. C. Zanchetta, Prof.ssa C. D'Alpaos.
- [56] E. M. Bertolini, *La valutazione di scenari alternativi per il miglioramento dell'interconnettività transfrontaliera nell'isontino*, Tesi di Dottorato, Università degli studi di Trieste e Università degli studi di Udine, a.a. 2020 -2021, coordinatore Prof. A.Sdegno.
- [57] Arpae, *Rapporto annuale – Bollettino Mare in Forma Emilia-Romagna*.
- [58] Noori, F., Zahedi, M.M., Bayati-Comitaki, A. et al. Study of the salinity and pH dilution pattern of discharged brine of the Konarak desalination plant into the Chabahar bay: a case study. *Appl Water Sci* 11, 163 (2021). Disponibile al link: <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01497-z>

- [59] DECRETO-LEGGE 14 aprile 2023, n. 39, *Disposizioni urgenti per il contrasto della scarsità idrica e per il potenziamento e l'adeguamento delle infrastrutture idriche*.
- [60] L.Giorgetti, P.Capella, Studio di impatto ambientale di un grande impianto di dissalazione ad osmosi inversa: focus su recupero energetico, scarichi a mare e LCA, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano, a.a. 2012- 2013, relatori R. Vismara, G.Passoni, L. Rigamonti.
- [61] Table of IDLH Values CO2 NIOSH. Disponibile al link: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html>
- [62] D.P.R. del 24 maggio 1979, n. 886 in materia di “Integrazione ed adeguamento delle norme di polizia delle miniere e delle cave, contenute nel decreto del Presidente della Repubblica 9 aprile 1959, n. 128, al fine di regolare le attività di prospezione, di ricerca e di coltivazione degli Idrocarburi nel mare territoriale e nella piattaforma continentale”.
- [63] Alma Petroli, *Domanda di autorizzazione integrata ambientale, Allegato D.5., Relazione tecnica sui dati meteorologici*, Ottobre 2006.
- [64] D.M. del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [65] Sunerg Solar Energy – XMAX – Monocristallino. Disponibile al link: https://www.sunergsolar.com/it/prodotti/fotovoltaico/moduli-fotovoltaici/x-max_51.html
- [66] Stull, R., 2017: "Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science" -version 1.02b. Univ. of British Columbia. Pag. 548. Disponibile al link: https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/prmet102/Ch15-Thazards-v102.pdf
- [67] Capitolato tecnico 6, Coperture metalliche piane ed inclinate, Index - Construction Systems and Products. Disponibile al link: <https://prodottiesoluzioni.indexspa.it/wp-content/uploads/2021/01/cap6.pdf>
- [68] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, All.1, art.1.
- [69] Disponibile al link: <https://www.econologia.it/Emissioni-co2-litri-di-carburante-benzina-o-diesel-gpl/>
- [70] D. Pagano, S. Caserini, S. De Marco, F. Campo, M. Grosso, Analisi dei dati del traffico marittimo per la stima delle emissioni di CO2 delle navi e del potenziale di alcalinizzazione del mare, Politecnico di Milano, DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Sez. Ambientale, Doi: <https://doi.org/10.32024/ida.v7i3.274>
- [71] ISPRA, Fattori di emissioni atmosferica di CO2 e altri gas a effetto serra nel settore elettrico. Disponibile al link: https://www.isprambiente.gov.it/files2017/pubblicazioni/rapporto/R_257_17.pdf
- [72] Disponibile al link: <https://www.topsolar.it/wp-content/uploads/2016/03/progetto-risparmio-energetico-topsolar.pdf>
- [73] Gorchov Negron AM, Kort EA, Chen Y, Brandt AR, Smith ML, Plant G, Ayasse AK, Schwietzke S, Zavala-Araiza D, Hausman C, Adames-Corraliza ÁF. *Excess methane*

- emissions from shallow water platforms elevate the carbon intensity of US Gulf of Mexico oil and gas production. Proc Natl Acad Sci U S A. 2023 Apr.*
- [74] Norwegian Oil Industry Association (OLF), Revision 1, June 2020. *Handbook for Environmental Impact Assessment for Offshore Decommissioning*.
- [75] Rapporto Rifiuti Speciali, Dati di Sintesi, ISPRA, Edizione 2023.
- [76] Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155: “Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa”.
- [77] Quaderni delle emergenze ambientali in mare, n.3 - Inquinamento chimico da HNS (Hazardous and Noxious Substances) in mare, Servizio Emergenze Ambientali in Mare dell'ISPRA, Marzo 2014.
- [78] Manuale operativo per la gestione delle emergenze ambientali del SNPA, ISPRA, Dicembre 2021.
- [79] Georgofili INFO, Notiziario di informazione a cura dell'Accademia dei Georgofili. Disponibile al link: <https://www.georgofili.info/contenuti/animali-sentinelle-dellinquinamento-ambientale/4353>
- [80] Ordinanza n° 34/2020 della Capitaneria di Porto di Ravenna intitolata “Piattaforme/impianti Off-shore antistanti il circondario Marittimo di Ravenna”.
- [81] Pierre-Loïc Albrieux, Studio numerico e analitico dell'impatto della grandine su strutture aeronautiche, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, Aprile 2021, relatori Prof. Marco Gherlone, Ing. Massimiliano Corrado Mattone.
- [82] BS EN IEC 61215-2:2021, Terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval, Part 2: Test procedures, BSI Standards Publication.
- [83] The Tornado and Storm Research Organisation. Disponibile al link: <https://www.torro.org.uk/research/hail/hscale>
- [84] Code of Federal Regulations, Volume 2, 2010-10-01, Title 46 - Shipping. Chapter I - Coast Guard, Department of homeland security, Subchapter F - Marine engineering. Part 54 - Pressure vessels, Subpart, 54.15 - Pressure-Relief Devices. Disponibile al link: <https://www.ecfr.gov/>
- [85] INVG, Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale. Disponibile al link: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html

Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Andrea Carpignano, la Professoressa Raffaella Gerboni, la Dottoressa Anna Chiara Ugenti e l'Ingegnere Luca Portè per la loro disponibilità e per il supporto ricevuto durante la stesura di questo lavoro di tesi che si è rivelato molto sfidante.

Ringrazio Amedeo Aliberti e Nunzio Frazzetta per il loro fondamentale aiuto e per i preziosi consigli ricevuti, guidandomi nelle difficoltà.

Ringrazio infine la società RAMS&E per aver reso piacevole il mio approccio al mondo del lavoro e avermi permesso di svolgere questa esperienza in un clima molto stimolante.