



Krimisa Floating Wind S.r.l.

Progetto Parco Eolico Offshore – Krimisa

Stima preliminare delle opere e quadro economico

Doc. No. KRI-RIN-TEC-GEN-RPT-0002-R00

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
00	Prima Emissione	M.Molinaroli	C.Podestà	R.Zaccone	Marzo 2023

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

	Pag.
LISTA DELLE TABELLE	2
LISTA DELLE FIGURE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 PREMESSA	4
2 INTRODUZIONE	5
3 STIMA DEI COSTI DELLE PIATTAFORME GALLEGGIANTI	6
4 STIMA COSTI DELLE OPERE MARINE	9
5 STIMA COSTI DELLE OPERE TERRESTRI	11
6 QUADRO ECONOMICO COMPLESSIVO E CONCLUSIONI	12
REFERENZE	13

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3-1: Quadro economico piattaforma galleggiante per WTG	7
Tabella 3-2: Quadro economico piattaforma galleggiante per OSS	8
Tabella 4-1: Stima costi complessiva Krimisa Sezione 1	10
Tabella 4-2: Stima costi complessiva Krimisa Sezione 2	10
Tabella 5-1 Stima costi complessiva opere a terra Krimisa	11
Tabella 6-1: Stima costi complessiva Krimisa	12

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1-1: Inquadramento generale del progetto Krimisa	4
Figura 3-1: Opzioni possibili per una piattaforma galleggiante per parco eolico offshore (immagine da [1])	6
Figura 3-2: Esempio di OSS semisommersibile a pianta quadrata	7
Figura 4-1: Lunghezza cavidotto export verso terra	9

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

AT	Alta Tensione
OSS	Off Shore Substation – Sottostazione Galleggiante
RTN	Rete di Trasmissione Nazionale
S.r.l	Società a responsabilità limitata
WTG	Wind Turbine Generator

1 PREMESSA

L'oggetto della presente relazione è la descrizione della configurazione elettrica del Parco Eolico Offshore Flottante denominato "Krimisa". La relazione è parte del pacchetto documentale di Progettazione Preliminare elaborato per il progetto. Tale progetto è proposto dalla società Krimisa Floating Wind Srl, nata dalla joint venture tra le società Eni Plenitude e Simply Blue Group.

Il progetto "Krimisa" sarà costituito da un parco eolico di No. 62 turbine da circa 18 MW ciascuna, per una capacità complessiva pari a 1,116 MW, localizzato nel Mar Ionio al di fuori delle acque territoriali italiane, oltre le 12 miglia nautiche, ad una distanza di 43.5 km dalla costa della Calabria.

L'energia prodotta dal parco eolico sarà trasportata per mezzo di cavidotti sottomarini per i quali è previsto l'approdo a Nord del Comune di Crotona (KR). Per la connessione al punto di consegna Terna si prevede la realizzazione di un cavidotto terrestre interrato (di lunghezza pari a circa 12km) e di una sottostazione utente in prossimità del punto di consegna. La connessione dell'impianto è ipotizzata presso la Stazione Elettrica Scandale 380 kV.

La connessione dell'impianto sarà in ogni caso prevista sul punto indicato in STMG da Terna S.p.A.

L'area dove è localizzato il parco eolico ha una profondità del fondale compresa indicativamente tra 1700 e 2000 m di profondità.

L'inquadramento generale del parco eolico è rappresentato in Figura 1-1.

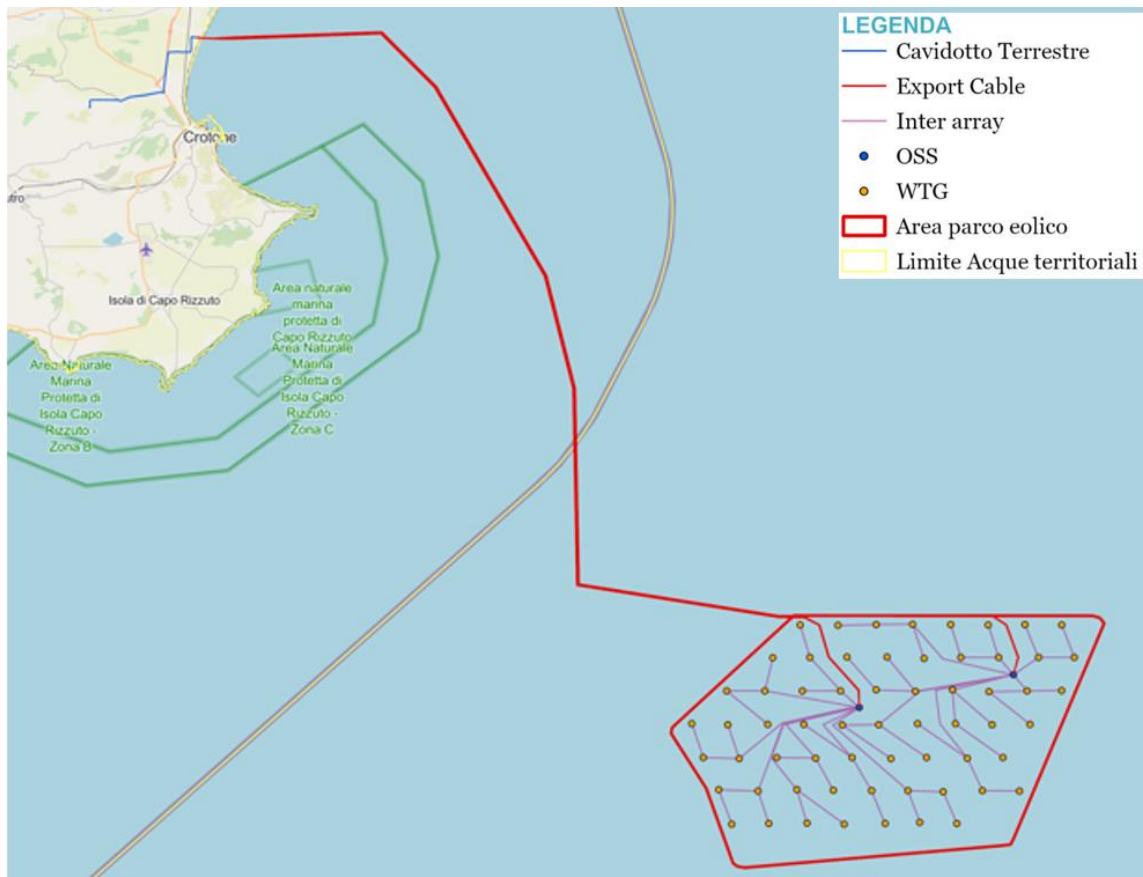


Figura 1-1: Inquadramento generale del progetto Krimisa

2 INTRODUZIONE

Per la realizzazione della presente stima delle opere necessarie alla realizzazione del parco eolico offshore galleggiante denominato Krimisa, avente una potenza complessiva di 1116 MW, RINA ha utilizzato principalmente tre fonti:

- ✓ Dati a consuntivo di progetti analoghi.

La tecnologia flottante per l'eolico offshore è ancora ad oggi considerata innovativa. Come per ogni innovazione, il prezzo di mercato dello sviluppo è influenzato dalla maturità della filiera di produzione, pertanto fare previsioni a lungo termine risulta complesso. Tuttavia, è fondamentale considerare come dati di partenza quelli relativi ad iniziative simili, sebbene si tratti di progetti di potenza installata e numero di WTG installate molto inferiori. In particolare, sono stati considerati i dati a consuntivo relativi a due iniziative in Europa, rispettivamente costituite da 5 isole flottanti e 3 isole flottanti, per un totale di 30 MW e 25.2 MW, entrambe implementate nel 2020.

- ✓ Dati di letteratura scientifica.

La stima delle opere in ambito eolico offshore è stato un tema dibattuto a livello di letteratura scientifica. Sono molteplici gli articoli che trattano delle possibilità di stima del quadro economico per un'innovativa piattaforma flottante. In particolare, la presente analisi considera le rimostranze ottenute in [1] e [2].

- ✓ Dati a consuntivo di progetti assimilabili.

L'analisi di progetto viene sviluppata in conformità a quanto già definito per piani di realizzazione simili, come riportato da fonti ministeriali [3].

Infine, sono stati considerati numerosi dati a consuntivo di progetti eolici offshore a fondazione fissa, di piattaforme galleggianti impiegati nell'industria mineraria e di grandi impianti elettrici in AT in generale.

In particolare, i dati di letteratura suggeriscono una suddivisione dei costi di investimento per una wind farm offshore flottante come segue:

- ✓ 35% per le fondazioni delle WTG e delle OSS (ossia, la piattaforma galleggiante e le opere di ancoraggio e ormeggio necessarie);
- ✓ 40% per le WTG;
- ✓ 15% per le diverse infrastrutture elettriche (ossia cavi di collegamento delle diverse opere e componentistica delle OSS e Stazione Utente);
- ✓ 5% per costi di sviluppo;
- ✓ 5% per costi di assemblaggio e installazione;

È evidente come i costi di investimento, rispetto ad un impianto wind offshore a fondazione fissa, siano fortemente spostati e incentrati sulla piattaforma galleggiante. Infatti, la voce "fondazioni" per un eolico offshore tradizionale solitamente si attesta intorno al 15-20% del costo totale.

Lo studio delineerà il costo capitale atteso per il Progetto, fornendo un esploso preliminare di alcune voci di costo sufficientemente dettagliate in relazione all'attuale fase preliminare di progettazione.

I costi saranno esplicitati per ogni sezione di impianto di cui è composto il progetto Krimisa:

- ✓ Sezione 1 – n. 30 aerogeneratori da 18 MW cadauno, per una potenza totale di 540 MW;
- ✓ Sezione 2 – n. 32 aerogeneratori da 18 MW cadauno, per una potenza totale di 576 MW

3 STIMA DEI COSTI DELLE PIATTAFORME GALLEGGIANTI

In questo paragrafo si riportano le ipotesi sulle quali RINA ha basato la stima dei costi per quanto riguarda le piattaforme galleggianti sia per le WTG che le OSS comprendenti:

- ✓ Piattaforma Galleggiante;
- ✓ Sistema di Ancoraggio;
- ✓ Sistema di Ormeggio;
- ✓ Aereogeneratori (WTG).

Nell'attuale fase preliminare in cui si trova il progetto, non è stata ancora effettuata una vera e propria progettazione delle fondazioni galleggianti da utilizzare sia per le WTG che la OSS. A valle della selezione e del dimensionamento delle piattaforme, la presente stima potrà essere opportunamente affinata e fornire un risultato più preciso.

Sono di seguito riportate alcune tra le soluzioni tecnologiche principali che sono proposte nell'ambito della progettazione degli impianti eolici off-shore galleggianti.

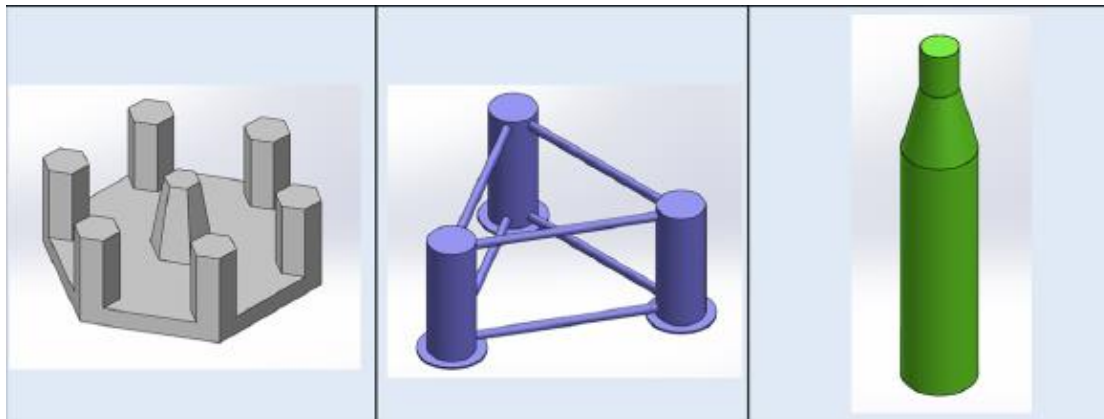


Figura 3-1: Opzioni possibili per una piattaforma galleggiante per parco eolico offshore (immagine da [1])

Nelle successive valutazioni economiche, RINA per la struttura galleggiante ha considerato un tripode semisommersibile. Tale scelta è stata effettuata poiché da dati di letteratura risulta una delle tecnologie più consolidate in ambito eolico flottante. Tale tipologia è rappresentata al centro della precedente Figura 3-1.

Il costo specifico per una singola fondazione galleggiante adeguato al tipo di applicazione ed inclusiva dell'aereogeneratore è stato stimato come consuntivo esposto in Tabella 3-1.

Per quanto riguarda l'ormeaggio date le elevate profondità a cui dovranno essere installate le opere del progetto Krimisa, la soluzione preliminarmente ipotizzata prevede l'utilizzo di elementi tesi, per i quali la lunghezza viene stimata in circa 1,4 volte la profondità del fondale. Tale configurazione risulta caratterizzata secondo i seguenti parametri progettuali:

- ✓ Profondità fondale: 1700-2000 m;
- ✓ Profondità media fondale: 1880 m;
- ✓ Lunghezza della singola linea di ormeaggio: 2632 m;
- ✓ Numero linee per galleggiante: 3;
- ✓ Materiale utilizzato per ormeaggio: cavi sintetici;
- ✓ Costo unitario linea di ancoraggio: 650 €/m (assunzione secondo tipico di mercato);
- ✓ Numero ancoraggi: 3;
- ✓ Costo medio ancoraggio: 500,000 €/unità.

Mediamente, il costo di un'ancora (comprensivo dell'installazione) risulta all'interno di un range che va da 200,000 € fino a 1,000,000 €, quest'ultimo è variabile in funzione della tipologia di fondale e di ormeaggio. In questa fase preliminare, in assenza di survey di campo, si valuta adeguata la scelta di assumere il costo medio come riferimento ed includendo a consuntivo una quota parte nelle contingencies, dovuto al grado di incertezza attuale sulla

tecnologia che effettivamente verrà impiegata nel progetto. Ad oggi non è ancora noto il costo della WTG da 18 MW presa in considerazione per il progetto Krimisa, ma utilizzando i prezzi di mercato delle WTG onshore del 2021 è stato possibile stimare il costo di tale opera in 19,000,000 € per ogni WTG.

Infine è stato stimato un costo per il trasporto della struttura galleggiante assemblata dall'area portuale al sito. Sono stati ipotizzati 3 rimorchiatori per le turbine (costo medio di noleggio: 60,000 €/giorno/rimorchiatore). La stima delle tempistiche relative al trasporto si basa sull'assunzione di utilizzare il porto di Taranto come hub per l'assemblaggio delle strutture galleggianti, considerando quindi preliminarmente 1 giorno per ogni trasporto. Tale assunzione dovrà essere verificata in una fase successiva di progetto quando sarà possibile stabilire in dettaglio sia la tipologia di struttura galleggiante che la logistica.

Pertanto, in Tabella 3-1 sono riassunte tutte le voci di costo facenti parte del sistema di generazione energetica, ovvero le WTG, le relative piattaforme complete di ancoraggi e ormeggi.

Tabella 3-1: Quadro economico piattaforma galleggiante per WTG

Item	Costo budgetario
Struttura galleggiante – fabbricazione e assemblaggio	20.000.000 €
WTG – 18 MW	19.000.000 €
Ormeggio (3 linee di ormeggio)	5.132.400 €
Ancoraggio (3 ancore) – costo inclusivo di installazione in sito	1.500.000 €
Costo per trasporto struttura galleggiante in sito (3 rimorchiatori per 1 giornata)	180.000 €
TOTALE	45.812.400 €

Anche per la valutazione delle strutture galleggianti delle OSS, RINA ha tenuto conto per la stima dei costi dei seguenti componenti principali:

- ✓ Piattaforma Galleggiante;
- ✓ Sistema di Ancoraggio;
- ✓ Sistema di Ormeggio;
- ✓ I vari componenti elettrici e strutture necessarie per la OSS

Per la struttura galleggiante è stata ipotizzata una base quadrata, che da dati di letteratura risulta una delle tecnologie più utilizzate in ambito di sottostazioni offshore. In Figura 3-2 si riporta un esempio di come è stata ipotizzata la OSS.



Figura 3-2: Esempio di OSS semisommersibile a pianta quadrata

Per quanto riguarda l'ormeggio date le elevate profondità, come per le WTG, la soluzione preliminarmente considerata prevede l'utilizzo di elementi tesi, caratterizzata secondo i seguenti parametri progettuali:

- ✓ Profondità fondale: 1700-2000 m;
- ✓ Profondità media fondale: 1880 m;
- ✓ Lunghezza della singola linea di ormeggio: 2632 m;
- ✓ Numero linee per galleggiante: 4;
- ✓ Materiale utilizzato per ormeggio: cavi sintetici;
- ✓ Costo unitario linea di ancoraggio: 650 €/m (assunzione secondo tipico di mercato);
- ✓ Numero ancoraggi: 4;
- ✓ Costo medio ancoraggio: 500,000 €/unità

Infine, la OSS comprensiva di tutti i componenti per una potenza di 700 MVA ha un costo stimabile secondo i prezzi di mercato delle sottostazioni galleggianti di 29,250,000 €.

Per il trasporto della struttura galleggiante della OSS assemblata dall'area portuale al sito, sono state prese in considerazione le medesime ipotesi preventivamente espresse in relazione al trasporto della struttura galleggiante della WTG. È stato ipotizzato quindi 1 rimorchiatore per la OSS considerando 1 giorno per trasporto di ogni singola OSS.

Pertanto, la stima porta alla seguente tabella per quanto riguarda le opere relative alla piattaforma galleggiante delle OSS (Tabella 3-2):

Tabella 3-2: Quadro economico piattaforma galleggiante per OSS

Item	Costo budgetario
Struttura galleggiante – fabbricazione e assemblaggio	30.000.000 €
Componenti elettrici per la OSS	29.250.000 €
Ormeggio (4 linee di ormeggio)	6.843.200 €
Ancoraggio (4 ancore) – costo inclusivo di installazione in sito	2.000.000 €
Costo per trasporto struttura galleggiante in sito (1 rimorchiatori per 1 giornata)	60.000 €
TOTALE	68.153.200 €

I valori ottenuti a valle delle ipotesi esplicitate in precedenza risultano essere coerenti con lo share dei costi previsti dalla letteratura scientifica [1], sono da considerarsi inoltre comprensivi di costi di sviluppo ed installazione.

4 STIMA COSTI DELLE OPERE MARINE

Ai costi relativi delle WTG e OSS con rispettive piattaforme galleggianti esposti nel capitolo precedente, per quanto riguarda la parte marina delle opere da realizzare, vanno aggiunti i costi relativi alle interconnessioni da realizzare tra le WTG e la OSS così come le interconnessioni tra le OSS e terra.

L'attuale configurazione di progetto prevede le seguenti specifiche:

- ✓ Tensione dei cavi di collegamento tra le WTG e la OSS (inter.array): 66 kV;
- ✓ Lunghezza del cavidotto inter-array del campo:
 - 130 km per la Sezione 1;
 - 118 km per la Sezione 2;
- ✓ Tensione del cavidotto tra le OSS e terra: 220 kV;
- ✓ Lunghezza del cavidotto verso terra:
 - 202 km (2 linee da 101 km mediamente) per la Sezione 1;
 - 196 km (2 linee da 98 km mediamente) per la Sezione 2
- ✓ Posa sul fondale in trench o soluzione alternativa con inter-distanziamento 50 metri.

La lunghezza preliminare del cavidotto di export verso terra è stata calcolata sommando i diversi spezzoni del cavo di export rappresentati in rosso nelle seguente Figura 4-1; si ottengono circa 93 km. Tale valore è stato incrementato del 10% circa per considerare il raggiungimento del fondale dalla OSS, utilizzando il valore di fondale medio come per gli ormeggi (1880 m), e per considerare la non planarità del fontale marino. Inoltre, in Figura 4-1 è rappresentata in nero la distanza in linea d'aria del parco rispetto la costa.

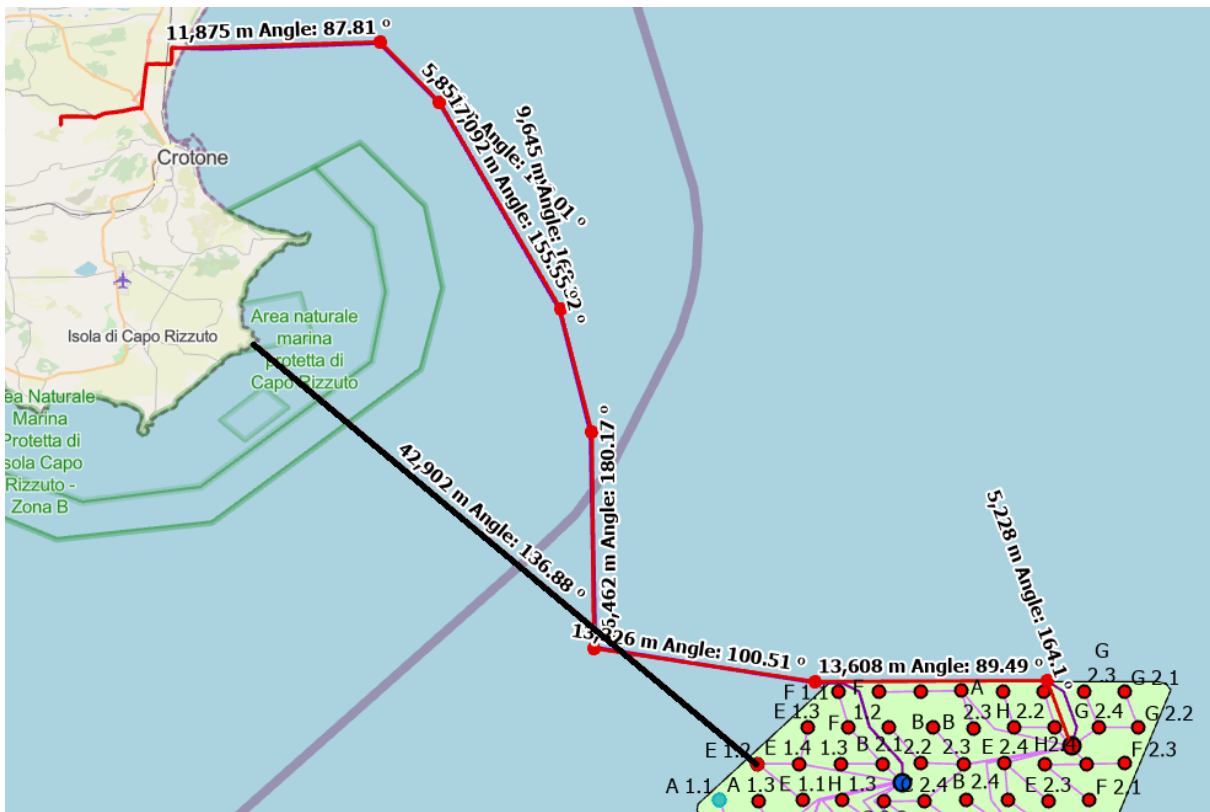


Figura 4-1: Lunghezza cavidotto export verso terra

Anche questi aspetti sono fortemente influenzati dal carattere preliminare della progettazione. Pertanto, si ritiene opportuno effettuare una stima cautelativamente maggiorata considerando i cavidotti di collegamento tra le turbine e tra l'ultima turbina e la OSS come eventi tutti la stessa sezione pari alla sezione maggiore ipotizzata nella singola sezione del campo eolico. Le stime economiche preliminari basate su dati ricavati da esperienze pregresse definiscono un prezzo budgettario di 850,000 €/km per cavidotti sommersi eserciti a 66 kV, comprensivo dei costi di posa e trasporto.

Per la parte di cavidotto per l'interconnessione a terra a 220 kV sono previste due conduttore tripolari in partenza da ognuna delle due OSS. Le stime economiche preliminari basate su dati ricavati da esperienze pregresse definiscono un prezzo budgettario di 1,150,000 €/km per cavidotti sommersi eserciti a questo livello di tensione, comprensivo dei costi di posa e trasporto.

I prezzi sopra esposti sono ottenuti tramite stime cautelative le quali comprendono tutte le opere accessorie, di sviluppo, trasporto ed installazione.

Nelle seguenti Tabella 4-1e Tabella 4-2 sono riportate le stime dei costi complessivi relativi a ciascuna delle due Sezioni. Le contingencies indicate nelle tabelle sono state calcolate come un 10% dell'importo della stima economica della singola sezione di Krimisa.

Tabella 4-1: Stima costi complessiva Krimisa Sezione 1

Voce di costo	Importo unitario	Quantità	Importo totale
WTG flottante con piattaforma, ormeggio ed ancoraggio	45.812.400 €	30	1.374.372.000 €
Sottostazione Galleggiante	68.153.200 €	1	68.153.200 €
Cavi sommersi WTG - OSS	850.000 €	130	110.500.000 €
Cavi sommersi OSS - Giunzione a terra	1.150.000 €	202	232.300.000 €
Contingencies	180.000.000 €	1	180.000.000 €
Totale			1.965.325.200 €

Tabella 4-2: Stima costi complessiva Krimisa Sezione 2

Voce di costo	Importo unitario	Quantità	Importo totale
WTG flottante con piattaforma, ormeggio ed ancoraggio	45.812.400 €	32	1.465.996.800 €
Sottostazione Galleggiante	68.153.200 €	1	68.153.200 €
Cavi sommersi WTG - OSS	850.000 €	118	100.300.000 €
Cavi sommersi OSS - Giunzione a terra	1.150.000 €	196	225.400.000 €
Contingencies	185.000.000 €	1	185.000.000 €
Totale			2.044.850.000 €

5 STIMA COSTI DELLE OPERE TERRESTRI

In questo paragrafo si analizzano le ulteriori voci di costo che vanno ad impattare sui costi capitali del Progetto, ovvero le apparecchiature di terra necessarie per il collegamento alla RTN.

Si tratta delle voci di:

- ✓ Cavidotto di collegamento terrestre;
- ✓ Sottostazione elettrica di Utente per la connessione alla RTN.

Per la sottostazione di collegamento alla RTN è possibile utilizzare come fonte di stima dei costi quella di sottostazioni elettriche "tradizionali", che scalano come prezzo quasi linearmente con la potenza di trasformazione. Quindi per la sottostazione 220/380 kV sono stati stimati circa 40,000 €/MW, pertanto circa 45 milioni di euro per la sottostazione Utente (1116 MW). Il prezzo definito è molto cautelativo e comprensivo di tutte le opere accessorie, di sviluppo, trasporto ed installazione.

Per la voce del cavidotto si assume un costo di 1,500,000 €/km, considerando di includere in questa voce tutte le spese necessarie dall'autorizzazione fino alla messa in opera. Il cavidotto terrestre si sviluppa con le seguenti specifiche progettuali:

- ✓ Tensione del cavidotto: 220 kV;
- ✓ Lunghezza del cavidotto: 48 km (4 linee tripolare da 12 km mediamente);

In Tabella 5-1 è riportata la stima dei costi complessivi delle installazioni di terra relativo al Progetto:

Tabella 5-1 Stima costi complessiva opere a terra Krimisa

Voce di costo	Importo unitario	Quantità	Importo totale
Cavi interrati di collegamento	1.500.000 €	48	72.000.000 €
Sottostazione di connessione	44.640.000 €	1	44.640.000 €
Contingencies	6.000.000 €	1	6.000.000 €
Totale			122.640.000 €

Le contingencies sopra riportate sono state calcolate come un 5% dell'importo delle restanti voci esposte in tabella.

6 QUADRO ECONOMICO COMPLESSIVO E CONCLUSIONI

Di seguito si riporta la stima economica complessiva delle opere necessarie alla costruzione del progetto Krimisa:

Tabella 6-1: Stima costi complessiva Krimisa

Voce di costo	Importo totale [M€]
Stima complessiva opere Sezione 1 offshore	1.965,33
Stima complessiva opere Sezione 2 offshore	2.044,85
Stima complessiva opere a terra	122,64
TOTALE	4.132,82
Costo unitario per MW [M€/MW]	3,7

Il costo unitario per MW del progetto risulta essere in linea con iniziative similari.

Si precisa che gli effetti prodotti dall'economia di scala non sono stati considerati.

Le stime saranno riviste in futuro tenendo in conto economie di scala, curve di esperienza e miglioramento della catena di approvvigionamento.

REFERENZE

- [1] Platform Optimization and Cost Analysis in a Floating Offshore Wind Farm - Alberto Ghigo, Lorenzo Cottura, Riccardo Caradonna, Giovanni Bracco and Giuliana Mattiazzo - Pubblicato il 23 ottobre 2020
- [2] Floating offshore wind: Economic and ecological challenges of a TLP solution - Michael Kausche, Frank Adam, Frank Dahlhaus, Jochen Großmann - Pubblicato il 23 marzo 2018
- [3] Definizione contenuti SIA progetti depositati (Ministero della transizione ecologica) <https://va.minambiente.it/it-IT/Procedure/ViaElenco/1/9>



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.