

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE
DENOMINATA “SCICLI”
E OPERE DI CONNESSIONE
POTENZA NOMINALE: 750 MW**

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.lgs.152/2006
Domanda di Autorizzazione Unica ex D.lgs. 387/ 2003
Domanda di Concessione Demaniale Marittima ex R.D. 327/1942

PROPONENTE



NINFEA RINNOVABILI S.r.l.

Largo agosto n. 3 20122
MILANO
P.IVA: 11920550966

PROGETTAZIONE



TECNOCONSULT
ENGINEERING CONSTRUCTION SRL

Via Einaudi, 20C
60032 FANO (PU) IT –



ELABORATO

N. TITOLO
ELABORATO

**STUDIO SULLA DIFFUSIONE DEL
CALORE DAL CAVIDOTTO ALL’ACQUA
E AL FONDALE MARINO**

DATA	REVISIONE	EMISSIONE	VERIFICATO	APPROVATO
LUGLIO 2024	00	TECNOCONSULT	NINFEA RINNOVABILI	NINFEA RINNOVABILI

CODICE COMMESSA	SCICLI		REL_49
-----------------	--------	--	--------



INDICE DELLA RELAZIONE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
3	QUADRO NORMATIVO	6
4	DATI DI INPUT DELLO STUDIO	7
4.1	CARATTERISTICHE DEI CAVIDOTTI	7
4.2	CONFIGURAZIONE DI POSA DEI CAVIDOTTI	8
4.3	DATI AMBIENTALI	11
5	METODOLOGIA DELLO STUDIO	12
5.1	MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI	12
5.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO.....	13
6	STUDIO DI DIFFUSIONE TERMICA	16
7	CONCLUSIONI	21
8	RIFERIMENTI	22



1 INTRODUZIONE

L'energia eolica è una delle fonti energetiche rinnovabili fondamentali per la transizione ecologica.

Nel 2023 in Europa, l'installazione di impianti eolici ha registrato un aumento significativo di +17 GW, un record storico, ma, nonostante questa evoluzione, la capacità eolica installata sembra essere ancora insufficiente per soddisfare gli obiettivi della Unione Europea al 2030.

Infatti, la Direttiva 2023/2413 di promozione dell'energia da fonti rinnovabili (c. d. RED III), pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Europea del 31 ottobre 2023, ha aumentato dal 32 % al 42,5 % l'obiettivo dell'Unione relativo alla quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo lordo di energia entro il 2030, con l'ambizione di raggiungere il 45 %.

In Italia, la potenza eolica installata annuale non segue l'andamento richiesto per raggiungere gli obiettivi 2030 e nel 2023 i nuovi impianti, secondo dati Terna-Gaudì, ammontano a circa 488 MW, in leggera diminuzione sul 2022 (-7%).

Con la sempre minore disponibilità di siti da destinare all'installazione di parchi eolici onshore, l'eolico offshore rappresenta una possibilità per incrementare le energie rinnovabili in Italia e raggiungere sia gli obiettivi energetici posti dalle istituzioni europee per il 2030 sia gli obiettivi intermedio al 2025 e quello del 2030 indicati dal nuovo PNIEC in via di approvazione.

L'Italia è contraddistinta da mari profondi e l'eolico galleggiante presenta le caratteristiche idonee per lo sviluppo di questa specifica tecnologia. Infatti, le strutture flottanti possono essere posizionate anche dove i fondali hanno notevoli profondità, rimanendo anche molto distanti dalla costa. Questo consente la riduzione dell'impatto visivo percepito dalla terraferma e consente lo sfruttamento di aree con disponibilità più elevata della risorsa vento.

1.1 Breve descrizione del progetto

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili volti alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, NINFEA RINNOVABILI S.r.l. si propone di avviare un progetto per la realizzazione di un nuovo impianto eolico offshore denominato "Scicli", di potenza pari a 750 MW, in uno specchio d'acqua nello Stretto di Sicilia a circa 27km dalla costa Siciliana tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

Il progetto prevede l'installazione offshore di:

- 50 aerogeneratori di potenza nominale di 15 MW cadauno, per una potenza nominale complessiva pari a 750 MW, localizzati ad una distanza minima di 27 km e massima di 40 km dalla costa Siciliana;
- 2 sottostazioni elettriche offshore su fondazione fissa (jacket) per l'innalzamento della tensione da 66 kV a 220 kV, ubicate ad una distanza minima di 33 km da costa;
- Cavi di campo (inter-array) per il collegamento delle turbine alle sottostazioni elettriche offshore;



- 4 cavidotti di export a 220 kV per il trasporto dell'energia dalle stazioni elettriche offshore al punto di giunzione a terra.

Il progetto prevede l'installazione onshore di:

- Buca giunti e gruppo di compensazione a terra;
- Cavidotto terrestre per il trasporto di energia dalla stazione di compensazione a terra alla stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente) ubicata nei pressi della futura Stazione Terna;
- Stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente);
- Cavidotto di collegamento a 380kV dalla stazione utente alla futura stazione Terna.

Per la connessione del Parco Eolico off-shore di Scicli sono previste delle opere di connessione che consistono in nuove opere della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), in particolare una nuova Stazione Elettrica (SE) a 380 kV da inserire in entra – esci alla esistente linea 380 kV della RTN “Chiaromonte Gulfi – Priolo. Per la nuova SE RTN è in fase di approvazione, da parte di Terna.

Lo schema di connessione alla RTN è individuato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), con codice pratica 202203856, rilasciata da Terna S.p.A. allegata al preventivo di connessione.

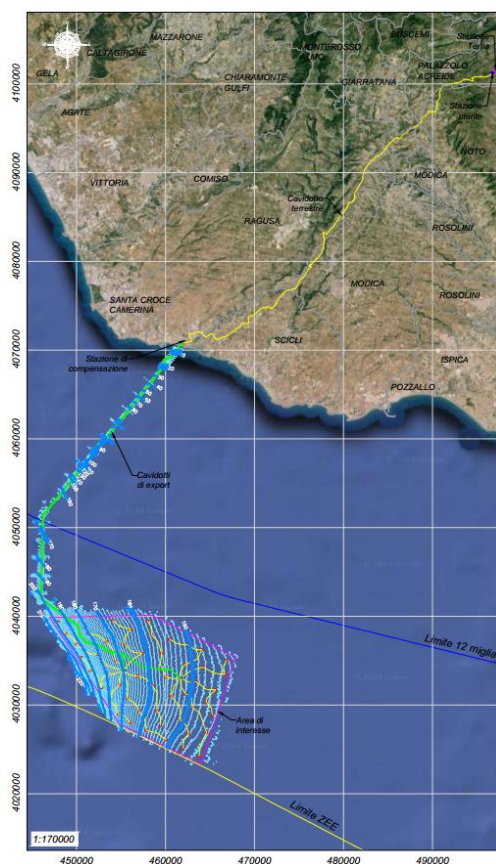


Figura 1-1 – Layout di impianto



2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è valutare la diffusione del calore dal cavidotto al fondale marino circostante e conseguentemente all'acqua di mare. Lo studio vuole mostrare come il limitato flusso di calore proveniente dai cavidotti di potenza elettrica non influenza termicamente la massa d'acqua marina e pertanto rispetta i requisiti di legge.

Lo studio è stato effettuato con riferimento ai cavi di export, in quanto, rispetto ai cavi di inter-array, esportano quantità maggiori di potenza. Si è tenuto conto delle seguenti casistiche:

- condizione interrata, alla profondità di interramento teorica minima (1 metro);
- condizione accidentale, in cui il cavo risulta esposto all'acqua di mare.



3 QUADRO NORMATIVO

Il settore dell'eolico offshore è ancora in fase di sviluppo nel contesto italiano, pertanto non è presente una normativa dedicata che definisce i limiti per un potenziale surriscaldamento dell'ambiente marino dovuta alla presenza dei cavi di potenza in altissima tensione.

Ciononostante, la giurisdizione nazionale prevede un decreto legislativo per la tutela delle acque:

- DECRETO LEGISLATIVO 11 maggio 1999, n. 152 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole."

L'Allegato 5 della Parte III del sopracitato decreto definisce l'incremento massimo di temperatura del corpo recipiente dovuto dallo scarico in acque superficiali; nello specifico non deve in nessun caso superare i 3°C oltre i 1000 metri di distanza dal punto di immissione. Utilizzando tale analogia al sistema del cavo interrato, si assume conservativamente che l'acqua di mare non dovrà superare i 3°C oltre i 1000m rispetto alle condizioni senza il cavo interrato. Lo studio termico dei cavidotti è stato effettuato in accordo alla seguente normativa internazionale:

- IEC 60853-2 "Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages"

4 DATI DI INPUT DELLO STUDIO

Nella presente sezione sono raccolti tutti i dati utilizzati nello studio di diffusione della temperatura.

4.1 Caratteristiche dei cavidotti

I cavidotti marini saranno costituiti da un cavo tripolare con conduttori di fase realizzati in rame, isolante in XLPE, armatura in acciaio e guaina esterna in polietilene.

I materiali plastici attorno ai conduttori svolgono una funzione di isolamento termico, oltre che di isolamento magnetico e protezione.

Nel presente progetto, le linee elettriche dalle Stazioni di Trasformazione Offshore (STO1 e STO2) alla terraferma (cavidotto export) saranno esercite alla tensione di 220 kV. Ciascun conduttore di energia avrà una sezione di 1000 mm².

Di seguito è riportata la tabella che riepiloga le caratteristiche dei principali materiali che costituiscono il cavo oggetto delle analisi:

Caratteristiche	Unità	Cavo export
Diametro esterno totale	mm	241
Diametro del conduttore	mm	37.9
Sezione del conduttore	mm ²	1000
Materiale del conduttore	-	Rame
Spessore dell'isolante	mm	23
Materiale dell'isolante	-	XLPE
Conducibilità termica dell'isolante	W/Km ²	0.167 ⁽¹⁾
Materiale del "filler"	-	PE
Conducibilità termica del "filler"	W/Km ²	0.286 ⁽¹⁾
Spessore del "bedding"	mm	6
Materiale del "bedding"	-	PE
Conducibilità termica del "bedding"	W/Km ²	0.286 ⁽¹⁾
Spessore dell'armatura	mm	6
Materiale dell'armatura	-	Acciaio
Spessore della protezione esterna	mm	6
Materiale della protezione esterna	-	PE
Conducibilità termica della protezione esterna	W/Km ²	0.286 ⁽¹⁾
Temperatura del conduttore	°C	90 ⁽²⁾
Note: 1) <i>Le caratteristiche termiche dei materiali sono state definite in accordo alla normativa IEC 60853-2.</i> 2) <i>Definita in accordo alla massima temperatura di progetto del cavo.</i>		

Tabella 4-1 – Caratteristiche cavidotti

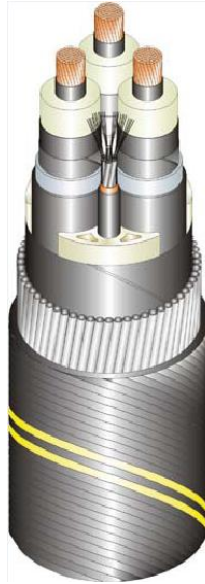


Figura 4-1 – Sezione tipica del cavo marino XLPE tripolare in rame

I dati sono stati estrapolati dalla “REL_05 - RELAZIONE TECNICA ELETTRDOTTO MARINO” (ref. /A3/).

4.2 Configurazione di posa dei cavidotti

Per le attività di posa dei cavidotti si prevede di utilizzare una nave posacavi di adeguate dimensioni opportunamente attrezzata.

Come criterio generale, i cavi saranno interrati come forma di protezione da traffico marino. Ove degli attraversamenti sottomarini (con condotte esistenti ad esempio) sono presenti, va ripristinato lo stesso livello di protezione dell'interramento.

Sono disponibili diversi metodi per l'installazione dei cavi sottomarini:

- Posa e interramento simultanei mediante aratro (plough);
- Post-trenching e seppellimento mediante idrogetto (jetting);
- Posa e interramento simultaneo/post con frese meccaniche.

Un esempio di macchina tipicamente impiegata per il post-trenching e una vista laterale con l'identificazione dei diversi componenti sono riportati nelle figure seguenti.



Figura 4-2 – Esempio di macchina per il post-trenching

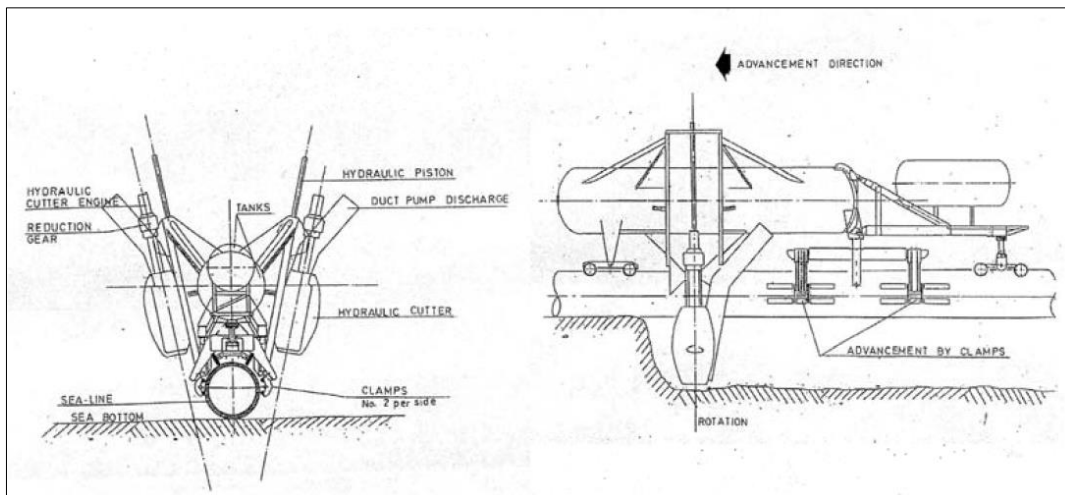


Figura 4-3 – Esempio di macchina per il post-trenching (viste laterali)

La minima profondità di ricoprimento è definita a 1.0 m.

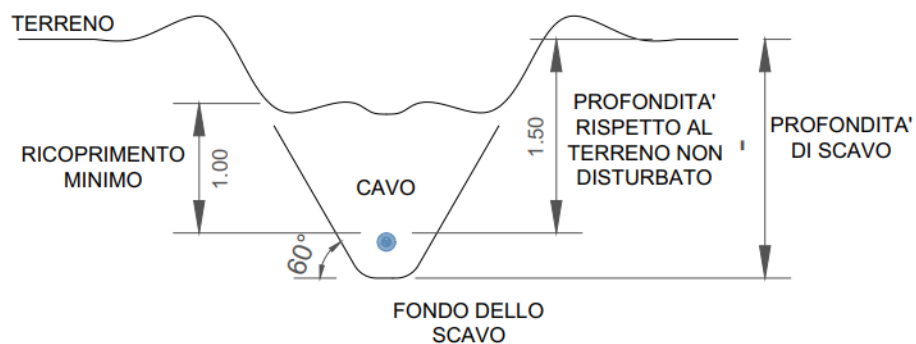


Figura 4-4 – Sezione tipica di scavo offshore



In caso di cavidotto esposto o con non sufficiente penetrazione di scavo , verranno utilizzati metodi di protezione equivalenti quali uso di gusci protettivi e materassi articolati in calcestruzzo o in alternativa ghiaia.

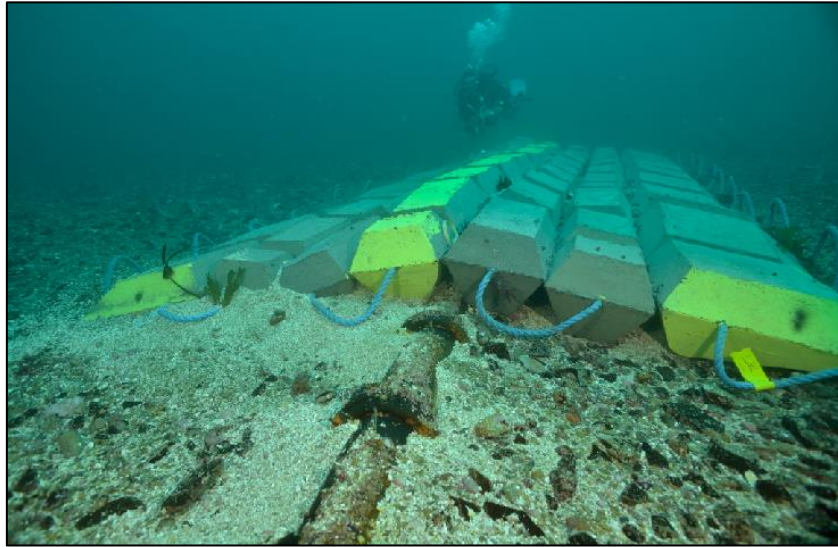


Figura 4-5 –Esempio di Protezione meccanica tramite materassi articolati in CLS in caso di cavidotto esposto

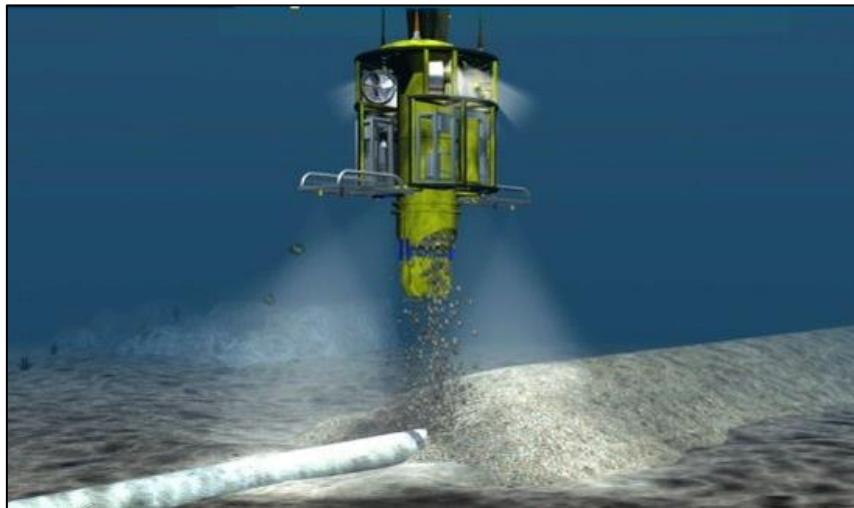


Figura 4-6 Esempio di Protezione meccanica in caso di cavidotti esposti tramite uso di ghiaia



4.3 Dati ambientali

Lo studio è stato svolto considerando i dati ambientali nella condizione più conservativa per il fenomeno di diffusione del calore, in modo da valutare il massimo impatto della temperatura del cavo verso l'ambiente marino.

I dati di temperatura sono stati estrapolati dal documento "REL_12-RELAZIONE METEOMARINA" (rif /A4/).

Di seguito è riportata la tabella che riepiloga le caratteristiche dei dati ambientali utilizzate nelle analisi:

Caratteristiche	Unità	Cavi export
Temperatura dell'acqua al fondo ⁽¹⁾	°C	14.2
Coeff. conducibilità termica del terreno	W/K m	3
Coeff. conducibilità termica dell'acqua di mare	W/K m	0.6
Coeff. convezione termica dell'acqua di mare	W/K m ²	50
Coeff. convezione termica dell'aria	W/K m ²	0.5

Nota 1: Temperatura al fondo (circa 150m) in prossimità del parco eolico offshore, forniti dal dataset CMEMS (1987-2022)

Tabella 4-2 – Caratteristiche ambientali



5 METODOLOGIA DELLO STUDIO

Lo studio è stato effettuato con l'utilizzo di un software agli elementi finiti validato per le analisi di trasmissione del calore per cavi interrati in accordo alla normativa IEC 60853-2.

Sono state effettuate 2 simulazioni in modo da analizzare diversi scenari.

CONDIZIONI	Cavidotti export
Condizione interrata (normale operatività)	Caso A
Condizione esposta (condizione incidentale) ⁽¹⁾	Caso B
<i>Nota 1: In caso di terreni rocciosi o ove si ha difficoltà di interrimento o dove non è possibile interrare per eventuali vincoli ambientali</i>	

Tabella 5-1 – Condizioni analizzate nello studio

Nei seguenti capitoli sono descritte le caratteristiche del software e del modello di analisi.

5.1 Modellazione agli elementi finiti

L'analisi è stata eseguita tramite software agli Elementi Finiti per la simulazione di progetti elettromagnetici, termici e meccanici.

Per le analisi oggetto del presente studio è stato usato il modulo di trasmissione di calore, utilizzato nella progettazione ed analisi di molteplici sistemi elettrici e meccanici.

Le principali caratteristiche del modulo sono:

- Formulazione per stato stazionario o transitorio, con distribuzione iniziale del campo arbitraria, calore specifico non lineare e parametri tempo-dipendenti;
- Proprietà non lineari o anisotrope;
- Sorgenti di calore distribuite e concentrate;
- Sorgenti di calore come funzioni della temperatura;
- Sorgenti di calore generate da perdite di potenza elettrica;
- Temperatura al contorno e flussi di calore;
- Condizioni al contorno con termini di convezione/irraggiamento;
- Risultati: temperatura, flusso di calore, gradienti termici, calore disperso totale in ogni parte assegnata, ed altre quantità integrali.

5.2 Descrizione del modello

Lo studio è stato effettuato riproducendo nel modello il cavidotto nelle condizioni di posa ipotizzate nella Tabella 5-1, simulando una condizione stazionaria di scambio termico.

Nello specifico è stato modellato:

- a) Sezione del cavidotto, in accordo alla geometria e caratteristiche riportate nella Sezione 4.1;
- b) Posizione del cavidotto/profondità di interramento:
 - interrato nel Caso A, ad una profondità di 1m come riportato nella Sezione 4.2;
 - adagiato al fondale ed esposto all'acqua di mare nel Caso B.
- c) Terreno del fondale marino attorno al cavidotto in accordo alle caratteristiche riportate nella Sezione 4.3;
- d) Fondale marino, dove avviene il fenomeno di convezione termica dovuto alla corrente marina.
- e) Acqua di mare con caratteristiche riportate nella Sezione 4.3;

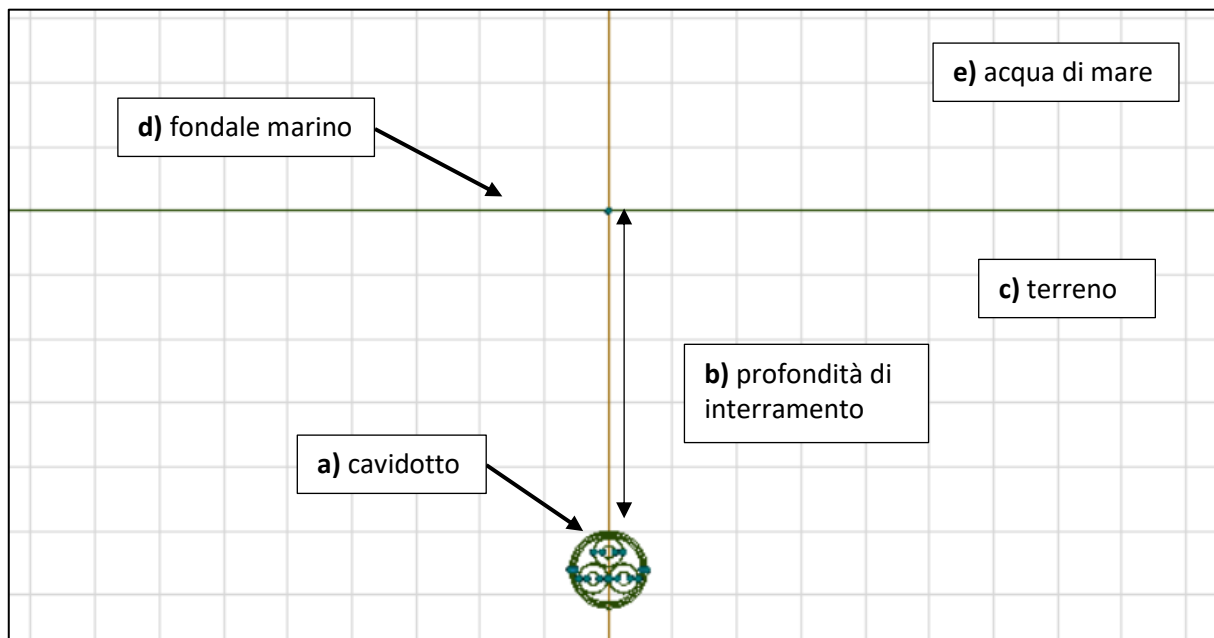


Figura 5-1 – Rappresentazione del modello – condizione interrata

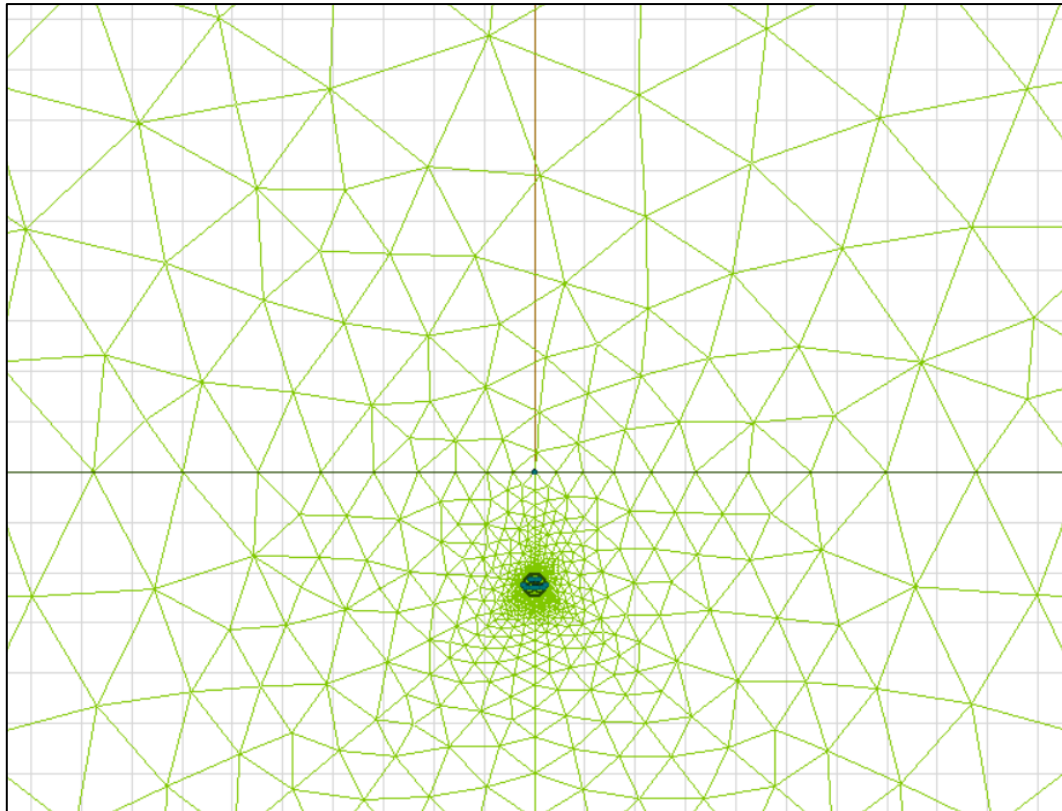


Figura 5-2 – Rappresentazione della mesh – condizione interrata

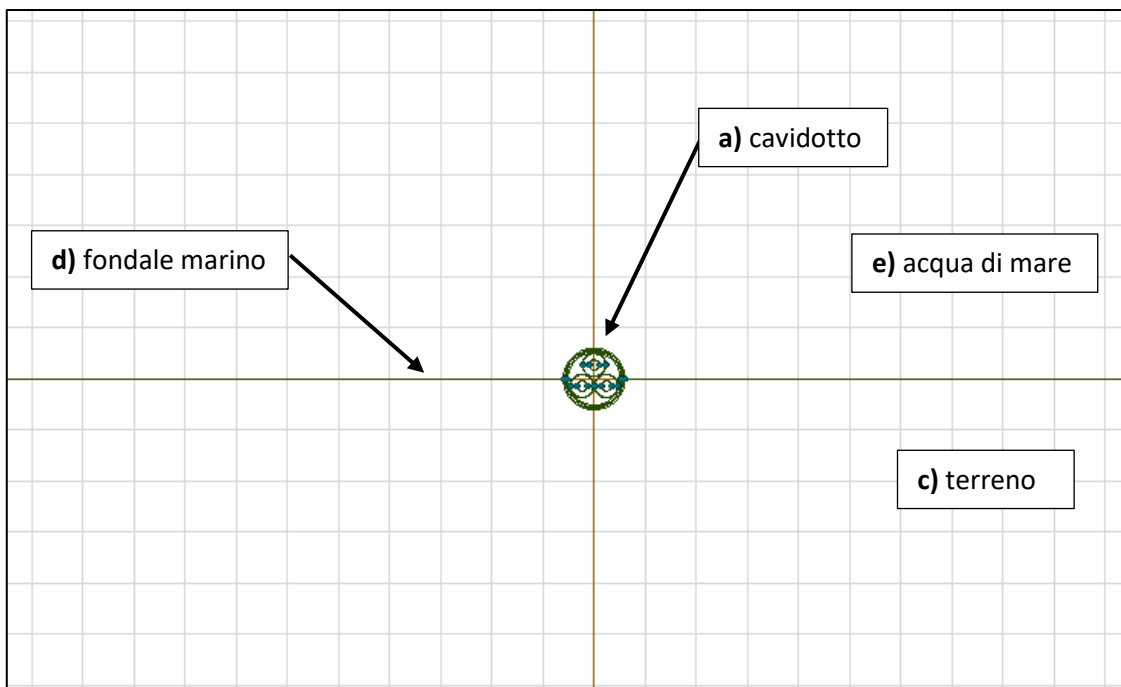


Figura 5-3 – Rappresentazione del modello – condizione esposta

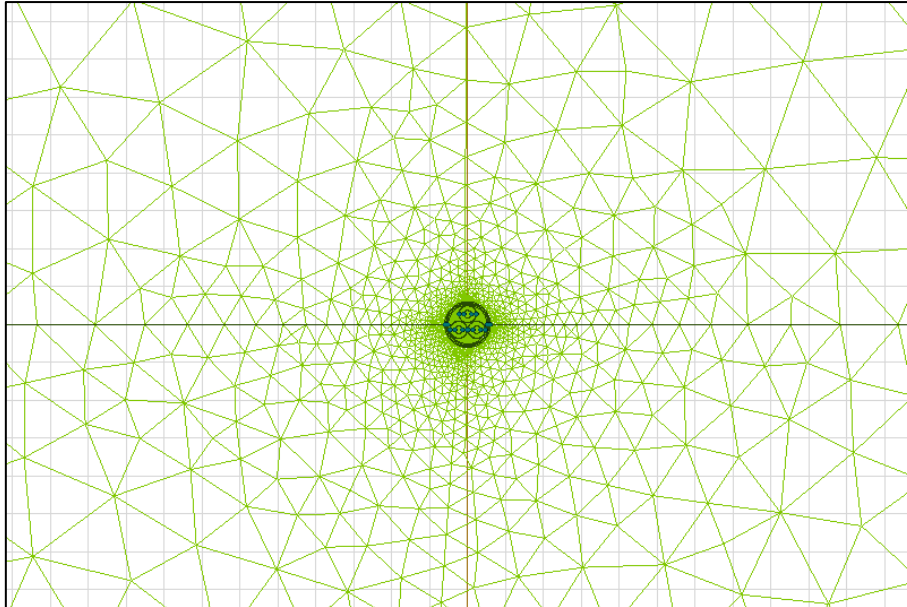


Figura 5-4 – Rappresentazione della mesh – condizione esposta

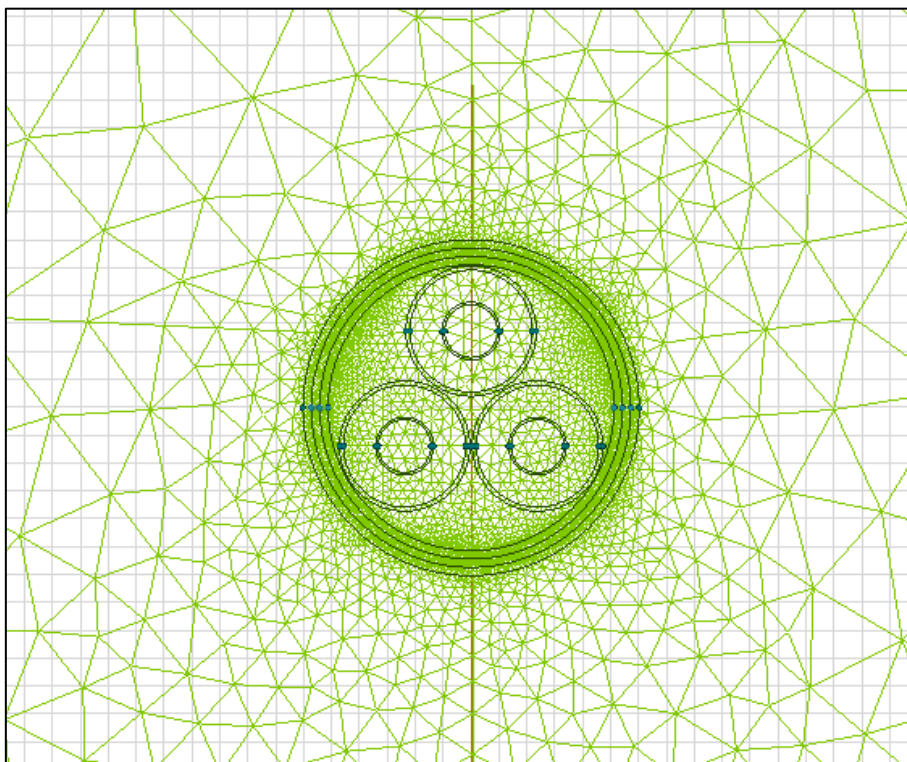


Figura 5-5 – Rappresentazione della mesh – dettaglio del cavo

Il modello tiene in considerazione gli effetti di convezione dell'acqua di mare e dell'aria al di sopra del livello del mare, oltre logicamente agli effetti di conduzione dei materiali del cavidotto, terreno ed acqua di mare. La temperatura del conduttore è stata assunta conservativamente pari a 90 °C, come riportato nella Tabella 4-1. Le condizioni al contorno sono state definite in accordo ai parametri ambientali riportati nella Tabella 4-2. Nel caso di condizione esposta sono stati conservativamente trascurati eventuali gusci di protezione /materassi in cls o ghiaia.

6 STUDIO DI DIFFUSIONE TERMICA

I risultati delle analisi mostrano la distribuzione di temperatura di tutto il modello, a partire dal conduttore alla massima temperatura per arrivare alla superficie del mare.

Di seguito sono riportate alcune immagini esplicative, nello specifico:

- Figura 6-1: immagine con mappa di temperatura a colori del cavidotto
- Figura 6-2: immagine con mappa di temperatura a colori dell'ambiente attorno al cavidotto
- Figura 6-3: immagine con isoterme con passo di 0.2°C. Si riporta nella figura la distanza dal cavo tale per cui si ha una differenza di temperatura pari ad 1°C rispetto alla condizione ambientale indisturbata (i.e. 14.2°C).
- Figura 6-4: Grafico dell'andamento della temperatura, dove Y=valore della temperatura in °C e X=distanza dalla superficie esterna del cavo.

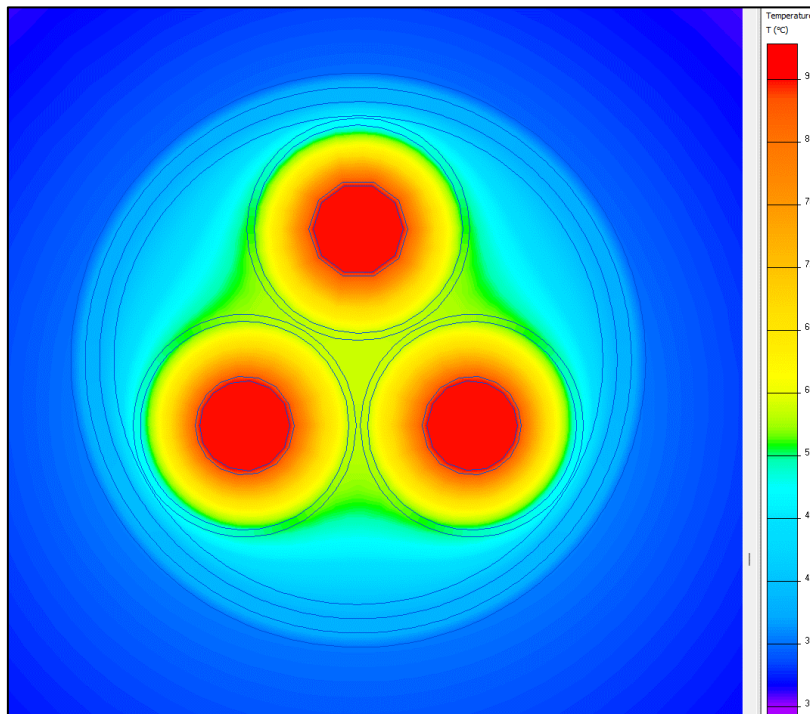
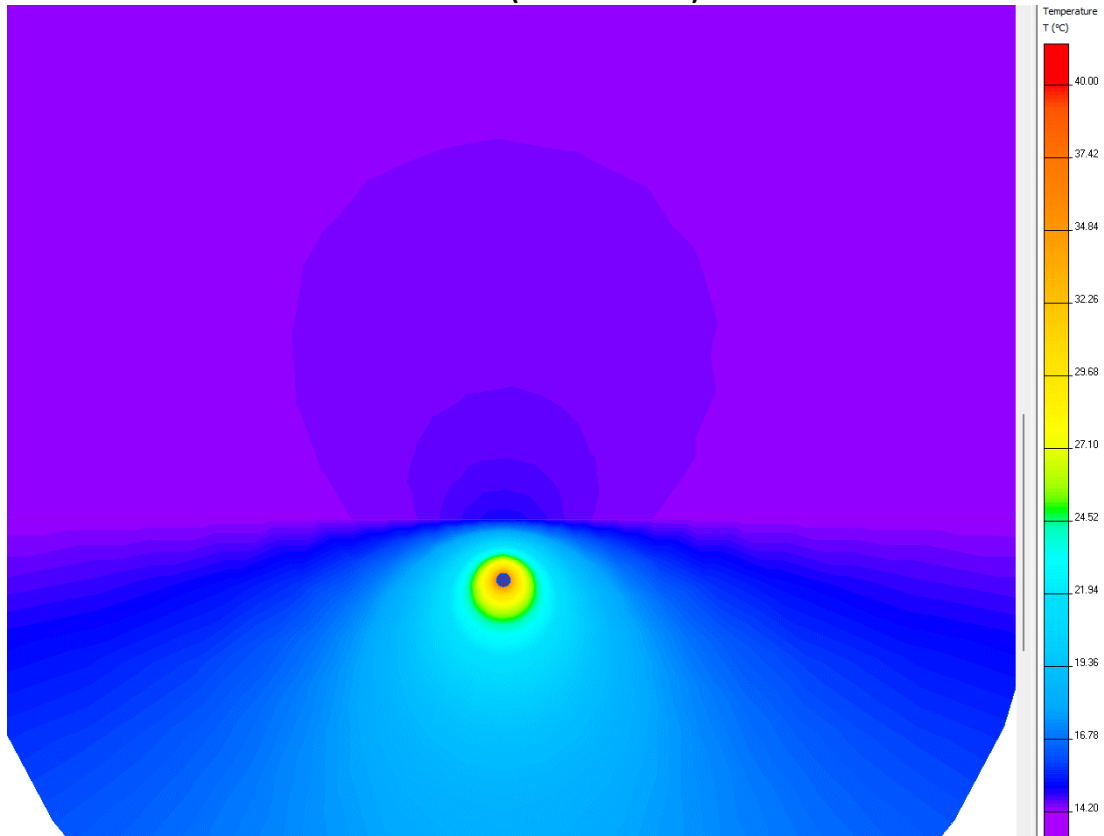


Figura 6-1 – Distribuzione di temperatura del cavidotto

CASO A (cavo interrato)



CASO B (cavo esposto)

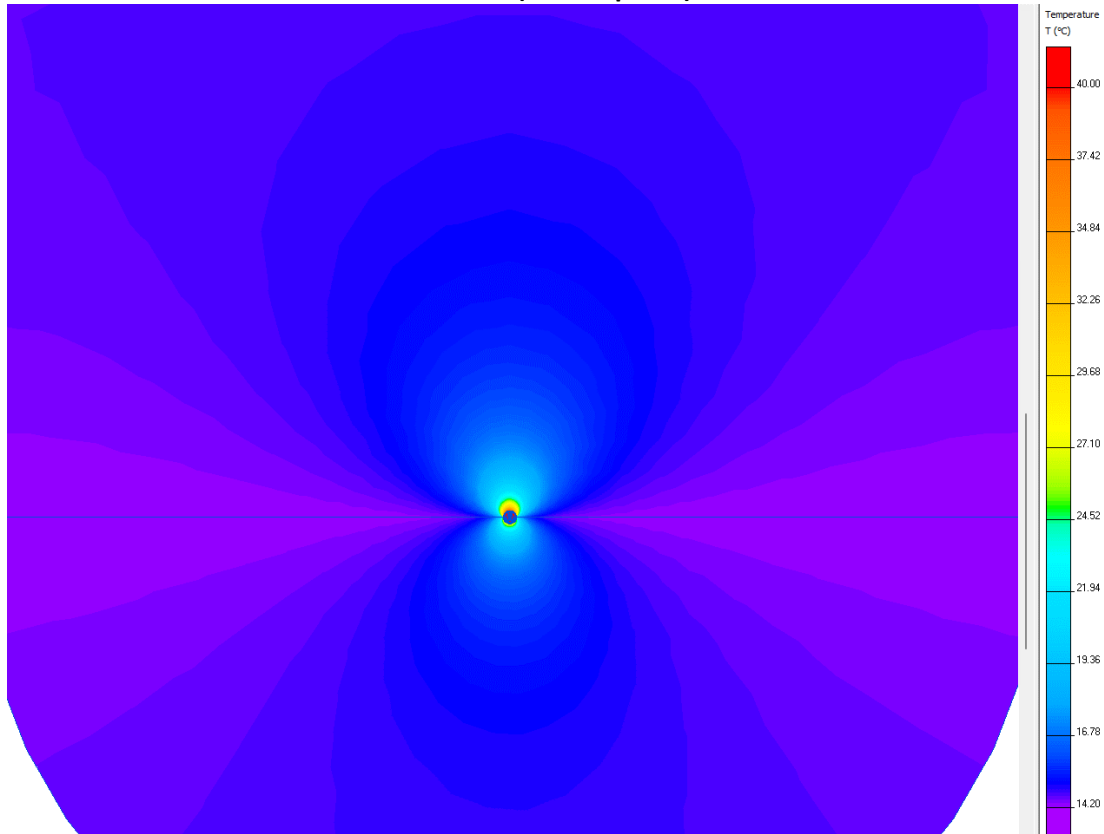
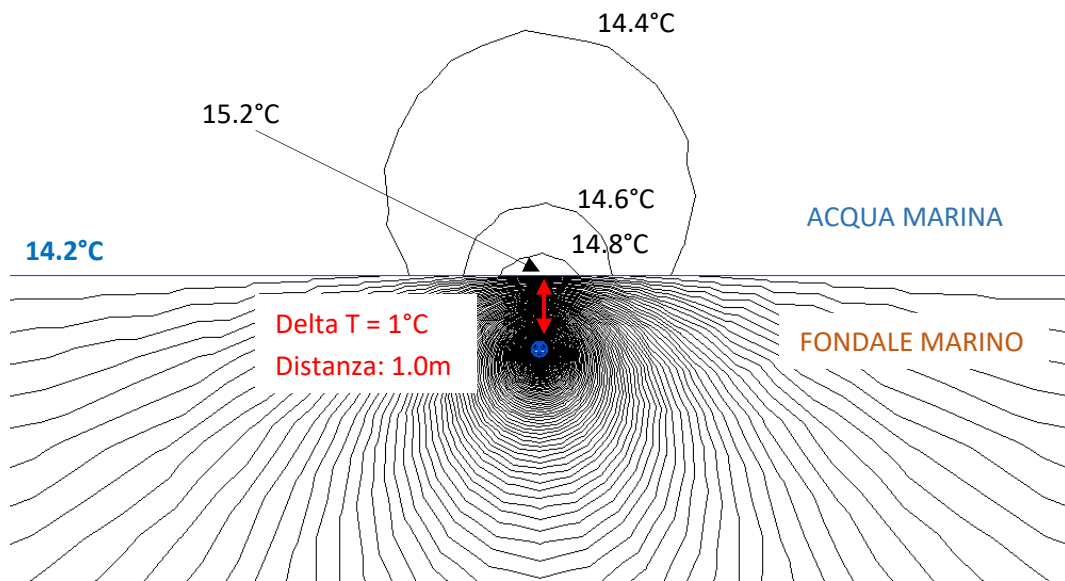


Figura 6-2 – Distribuzione di temperatura (mappa a colori)

CASO A (cavo interrato)



CASO B (cavo esposto)

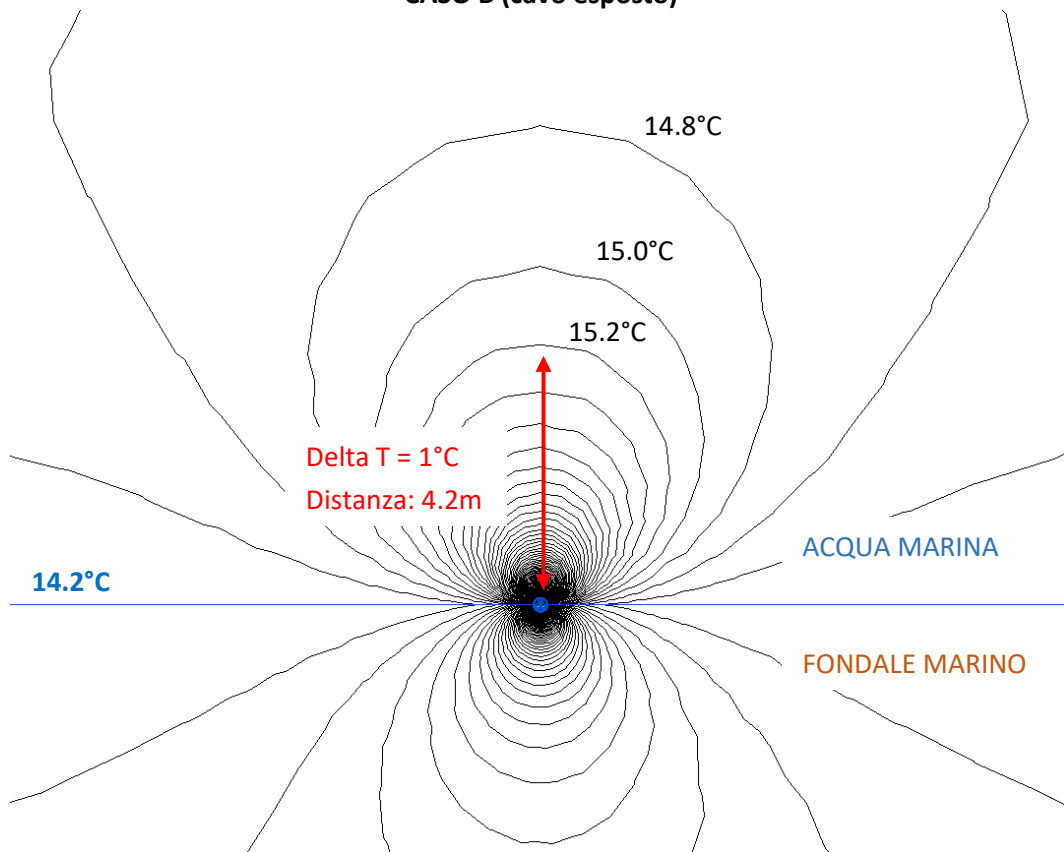
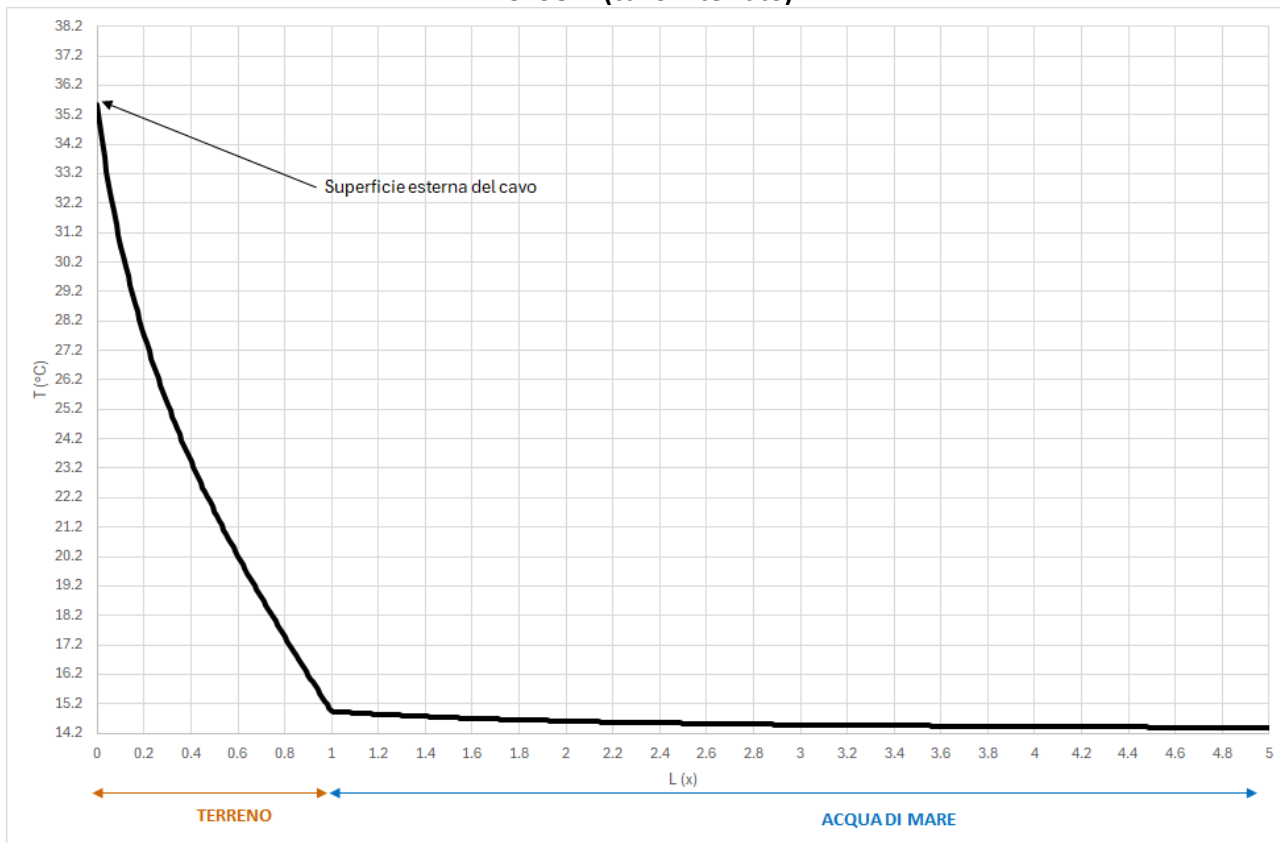


Figura 6-3 – Distribuzione di temperatura (Isotherme)



CASO A (cavo interrato)



CASO B (cavo esposto)

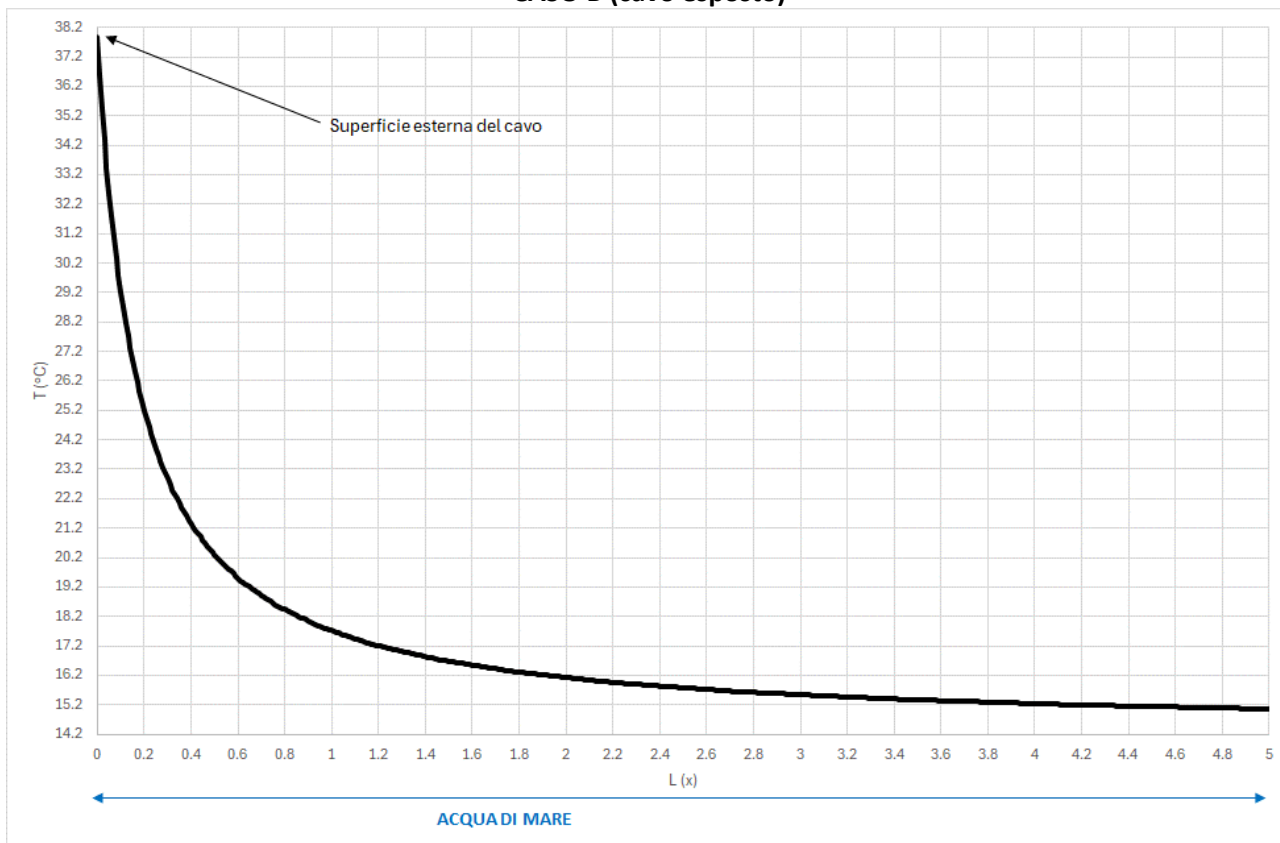


Figura 6-4 – Grafico X-Y della temperatura



Si può notare come l'effetto della sorgente di calore (i.e. conduttore del cavidotto) interessi solo una minima parte dell'ambiente attorno al cavidotto stesso.

Si può concludere che la massima variazione di temperatura dell'acqua di mare dalla condizione indisturbata (i.e. temperatura di 14.2°C) è di:

- 1 °C a 1.0 m dalla superficie esterna cavo per la condizione di cavo interrato, approssimativamente al livello del fondale marino.
- 1 °C a 4.2 m dalla superficie esterna cavo la condizione di cavo esposto.
- 3 °C a 0.8 m dalla superficie esterna cavo per la condizione di cavo interrato, al di sotto del livello del fondale marino.
- 3 °C a 1.2 m dalla superficie esterna cavo la condizione di cavo esposto.

Tali valori sono ampiamente entro i limiti previsti dalla normativa nazionale.



7 CONCLUSIONI

Il presente studio ha valutato la diffusione del calore dal cavidotto al fondale marino circostante e conseguentemente all'acqua di mare.

Lo studio è stato effettuato per il cavo di export in quanto ha dimensioni maggiori ed esporta maggiore potenza, nelle seguenti condizioni:

- condizione interrata, alla profondità di interramento teorica minima (1 metro);
- condizione accidentale, in cui il cavo risulta esposto all'acqua di mare.

L'analisi è stata sviluppata con l'utilizzo di analisi agli elementi finiti, validato per le analisi di trasmissione del calore per cavi interrati in accordo alla normativa IEC 60853-2.

I risultati mostrano come, dal punto di vista termico, il limitato flusso di calore proveniente dai cavidotti di potenza elettrica non influenzi significativamente la massa d'acqua marina e pertanto sono rispettati i requisiti di legge.

Nello specifico, la massima variazione di temperatura dell'acqua di mare dalla condizione indisturbata (i.e. temperatura di 14.2°C) è di:

- 3 °C a 0.8 m dalla superficie esterna cavo per la condizione di cavo interrato, al di sotto del livello del fondale marino.
- 3 °C a 1.2 m dalla superficie esterna cavo la condizione di cavo esposto.

Relativamente al caso più gravoso quale il caso esposto, si fa presente che sono stati conservativamente trascurati metodologie di protezione del cavo quali ghiaia o materassi articolati in calcestruzzo.



8 RIFERIMENTI

- /A1/ IEC 60853-2 “Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages”
- /A2/ DECRETO LEGISLATIVO 11 maggio 1999, n. 152 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.”
- /A3/ REL_05-RELAZIONE TECNICA ELETTRODOTTO MARINO
- /A4/ REL_12-RELAZIONE METEOMARINA