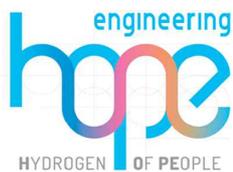


PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA  
 PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO  
 NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - NEMETUN ISLAND  
 63 WTG – 945 MW

**PROGETTO DEFINITIVO - SIA**

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progettazione e Studio di Impatto Ambientale



Indagini ambientali e studi specialistici



Studio misure di mitigazione e compensazione



Supervisione scientifica



**5. OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE**

REV.	DATA	DESCRIZIONE
------	------	-------------

**R.5.1 Relazione tecnica opere elettriche e di connessione**

00	02/24	1° emissione



INDICE

1	<b>PREMESSA</b> .....	3
2	<b>NORME DI RIFERIMENTO</b> .....	4
3	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA</b> .....	6
4	<b>SOTTOSTAZIONE ELETTRICA OFFSHORE</b> .....	9
	4.1 LA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA SU PIATTAFORMA.....	9
	4.2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	9
	4.3 DIMENSIONI E PESI .....	10
	4.4 CONFIGURAZIONE IMPIANTISTICA E COMPONENTI PRINCIPALI.....	10
5	<b>LA SOTTOSTAZIONE UTENTE E IL GRUPPO DI RIFASAMENTO</b> .....	13
	5.1 MOTIVAZIONE DELL'OPERA .....	13
	5.2 UBICAZIONE DELL'OPERA .....	13
	5.3 DISPOSIZIONE ELETTROMECCANICA .....	14
	5.4 SCHEMA ELETTRICO .....	15
	5.5 OPERE CIVILI.....	16
	5.5.1 <i>Edificio principale</i> .....	16
	5.5.2 <i>Edificio per punti di consegna MT</i> .....	16
	5.5.3 <i>Viabilità interna e finiture</i> .....	17
	5.5.4 <i>Recinzione</i> .....	17
	5.5.5 <i>Reattori di compensazione</i> .....	17
	5.5.6 <i>Caratteristiche</i> .....	17
	5.5.7 <i>Dati di targa</i> .....	17
	5.5.8 <i>Costruzione</i> .....	18
6	<b>CAVI ELETTRICI MARINI - DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E SCHEMI DI POSA</b> .....	19
	6.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL SISTEMA ELETTRICO .....	19
	6.2 DATI RELATIVI ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI .....	20
	6.3 DATI ELETTRICI GENERALI DEL SISTEMA.....	20
	6.4 DATI E CARATTERISTICHE ELETTRICHE DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO .....	20
	6.5 SCELTA DEL TIPO DI CAVO E DEL SISTEMA DI POSA .....	21
	6.6 CAVO MARINO A 380 kV IN CA - CAVI DI EXPORT .....	21
	6.6.1 <i>Attraversamento di sottoservizi in mare</i> .....	30
	6.6.2 <i>Giunzione cavo marino/cavo terrestre</i> .....	32
	6.7 CAVI MARINI A 66 kV IN CA - CAVI INTER-ARRAY .....	33
7	<b>CAVI ELETTRICI TERRESTRI - DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E SCHEMI DI POSA</b> .....	36
	7.1 MODALITÀ DI CALCOLO .....	36
	7.2 SCELTA DEL TIPO DI CAVO E DEL SISTEMA DI POSA .....	37
	7.2.1 <i>Cavi terrestri a 380 kV in CA</i> .....	38
	7.2.2 <i>Giunti AT</i> .....	40
	7.2.3 <i>Temperatura di posa</i> .....	41



<b>7.2.4</b>	<b>Segnalazione della presenza dei cavi</b>	<b>41</b>
<b>7.2.5</b>	<b>Prova di isolamento</b>	<b>41</b>



## 1 PREMESSA

La società Nemetun Island intende realizzare un impianto eolico offshore formato da 63 aerogeneratori da 15 MW per una potenza totale di 945 MW, posizionati nel mare Adriatico ad una distanza dalla costa di almeno 55 km.

Nel presente documento vengono descritti gli impianti elettrici del parco eolico offshore e le opere che costituiscono l'impianto di utenza per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

Tali opere interesseranno, oltre ad un ampio tratto di mare, anche il territorio dei comuni di Zapponeta, Trinitapoli e Cerignola, all'interno dei quali si sviluppa il tracciato dell'elettrodotto interrato AAT a 380 kV a partire dal punto di approdo dell'elettrodotto marino nel comune di Zapponeta fino a raggiungere la Stazione Elettrica 380 kV di Cerignola, punto di connessione indicato da TERNA spa, soggetto gestore della RTN.

Gli elettrodotti marini, la sottostazione offshore e la sottostazione onshore con relativo sistema di rifasamento sono oggetto di specifiche relazioni ed elaborati grafici all'interno dei quali vengono dettagliate anche le scelte e gli aspetti di natura specificatamente elettrica dei dispositivi utilizzati e dei relativi dimensionamenti. Nel presente elaborato questi aspetti vengono sintetizzati e raccolti rinviando per gli approfondimenti agli elaborati specialistici. Allo stesso modo il progetto elettrico dell'impianto si completa con elaborati grafici quali schemi elettrici, inquadramenti cartografici e planimetrie a cui si invita a fare riferimento nel corso della trattazione.

Oltre alla progettazione delle opere di utenza per la connessione, cioè di quelle opere di connessione la cui proprietà e gestione è nella titolarità del soggetto produttore, si rende necessario autorizzare, con l'impianto eolico, anche le opere di rete per la connessione, cioè tutte quelle opere necessarie alla connessione dell'impianto che entreranno a parte della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). Per consentire ai produttori di connettere gli impianti di generazione di energia da fonte rinnovabile alla RTN spesso occorre, infatti, ampliare la RTN integrando tali interventi negli iter autorizzativi. TERNA, al fine di gestire la progettazione delle opere di rete necessarie, insedia uno o più tavoli tecnici nell'ambito dei quali individua tra i produttori interessati da tali opere una società capofila incaricata della progettazione. TERNA quindi valuta i progetti, rilascia il proprio benestare, ne acquisisce la titolarità e infine li mette a disposizione dei produttori interessati dallo sviluppo di tali opere.

Nell'ambito del presente documento si fornisce pertanto una la descrizione generale delle opere di rete che saranno poi dettagliate con uno specifico progetto da integrare all'interno dell'iter autorizzativi non appena TERNA lo avrà approvato e reso disponibile.

## 2 NORME DI RIFERIMENTO

Il progetto elettrico oggetto della presente relazione tecnica è stato realizzato nel rispetto dei più moderni criteri della tecnica impiantistica, nel rispetto della “regola dell’arte”, nonché delle leggi, norme e disposizioni vigenti, con particolare riferimento a:

- norme UNI/ISO per la parte meccanico/strutturale;
- norme CEI/IEC per la parte elettrica convenzionale;
- conformità al marchio CE per i componenti dell’ impianto;
- T.U. n. 81/08 per la tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- D.M. 37/08 norma per la sicurezza e realizzazione impianti elettrica
- unificazioni Società Elettriche (Terna, Enel e/o altre) per le interfacce con la rete elettrica;
- CEI EN 61936-1 (Classificazione CEI 99-2): Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.
- CEI EN 50522 (Classificazione CEI 99-3): Messa a terra degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.
- norma CEI 11-20 per gli impianti di produzione;
- norma CEI 0-16 per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica;
- CEI 11 - 17 per impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica- Linee in cavo;
- norma CEI 11-20 per gli impianti di produzione;
- Specifica Tecnica Terna: Requisiti e Caratteristiche di Riferimento delle Stazioni Elettriche della RTN
- Guida Tecnica Terna: Guida alla Preparazione della Documentazione Tecnica per la Connessione alla RTN degli Impianti di Utente
- DM 24/11/1984 (Norme relative ai gasdotti);
- DM 12/03/1998 Elenco riepilogativo di norme armonizzate adottate ai sensi del comma 2 dell'art. 3 del DPR 24 luglio 1996, n. 459: "Regolamento per l'attuazione delle direttive del Consiglio 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine.;
- Norme e Raccomandazioni IEC;
- Prescrizioni e raccomandazioni di Terna Spa e di Guide tecniche RTN (Terna);
- Prescrizioni e raccomandazioni della Struttura Pubblica di Controllo Competente (ASL/ISPESL);
- Direttive europee.
- Norme CEI CEI 99-2, 11-17 e 20-21 (equivalenti a IEC 60287);
- Per la redazione della presente relazione sono stati inoltre utilizzati i seguenti documenti di riferimento:
- Catalogo e documentazione tecnica PRYSMIAN, Nexans cavi ecc.;
- XLPE Submarine Cable Systems Attachment to XLPE Land Cable Systems - User’s Guide
- Varia letteratura e documentazione tecnica;



- DPR 547 del 27/04/1955;
- High voltage XLPE Cable systems-technical user Guide Brugg;
- XLPE Cable systems – user's guide ABB;
- Electrical power system – C.L Wadhawa;
- Impianti di terra – Cataliotti – Campoccia;

L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo; esso non è esaustivo per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, vanno comunque applicate. Le opere e installazioni saranno eseguite a regola d'arte in conformità alle Norme applicabili CEI, IEC, UNI, ISO vigenti, anche se non espressamente richiamate nel seguito.

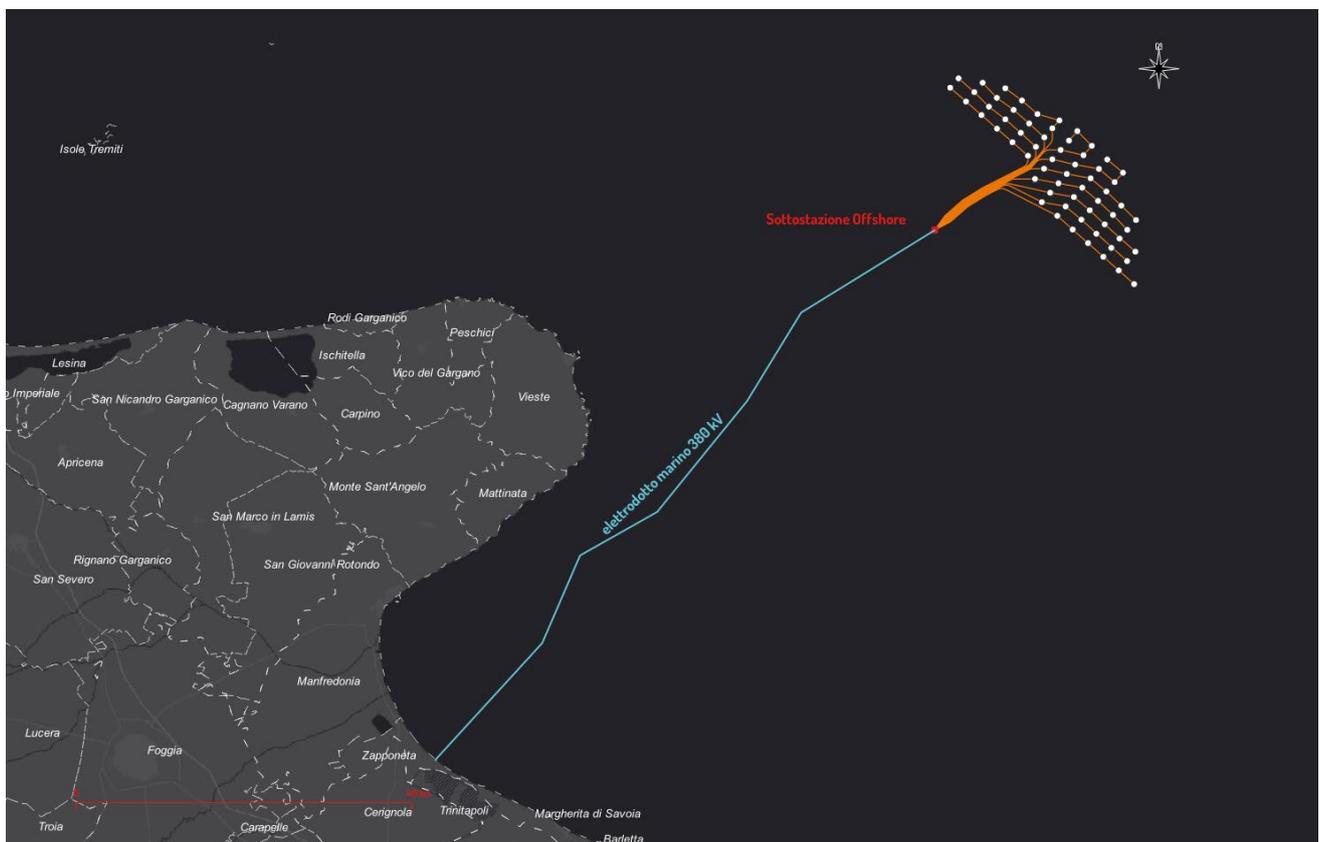
Inoltre, tutte le parti di impianto rilevanti ai fini dell'affidabilità e della continuità del servizio della rete (quali, ad esempio, macchine, apparecchiature o sistemi di controllo) devono essere fornite da costruttori operanti in regime di qualità, secondo ISO 9001, Vision 2000 (e s.m.i.).

### 3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Scopo del progetto è la realizzazione di un “Parco Eolico” per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica e l'immissione dell'energia prodotta, attraverso la costruzione delle opportune infrastrutture di rete, sulla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

I principali componenti dell'impianto per la parte offshore sono:

- **63 aerogeneratori eolici** di potenza pari a 15 MW installati su torri tubolari in acciaio e le relative fondazioni flottanti suddivisi in 11 sottocampi;
- **11 linee elettriche in cavo sottomarino** a 66 kV di collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica offshore, con tutti i dispositivi di trasformazione di tensione e sezionamento necessari;
- **Una Sottostazione Elettrica Offshore (66/380 kV)**, ovvero tutte le apparecchiature elettriche (interruttori, sezionatori, TA, TV, ecc.) necessarie a raccogliere l'energia prodotta nei sottocampi eoliche elevandone la tensione da 66 kV a 380 kV. La stazione elettrica è dotata di un sistema di rifasamento necessario alla compensazione della potenza reattiva prodotta dalla rete in cavo marino. La stazione elettrica marina sarà distante all'incirca 45 km dalla costa garganica e 12 km dal parco eolico in un tratto di mare caratterizzato da quote batimetriche comprese tra i 160 e i 170 m di profondità;
- **Un elettrodotto di esportazione in cavo marino a 380 kV** della lunghezza di circa 88,7 km per collegare l'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) posta sulla terra ferma.



#### *Rappresentazione sintetica delle opere a mare*

Per quanto riguarda le opere a terra, queste sono strettamente connesse alla necessità di collegare l'impianto eolico offshore alla rete di trasmissione nazionale gestita da TERN spa. La soluzione tecnica di

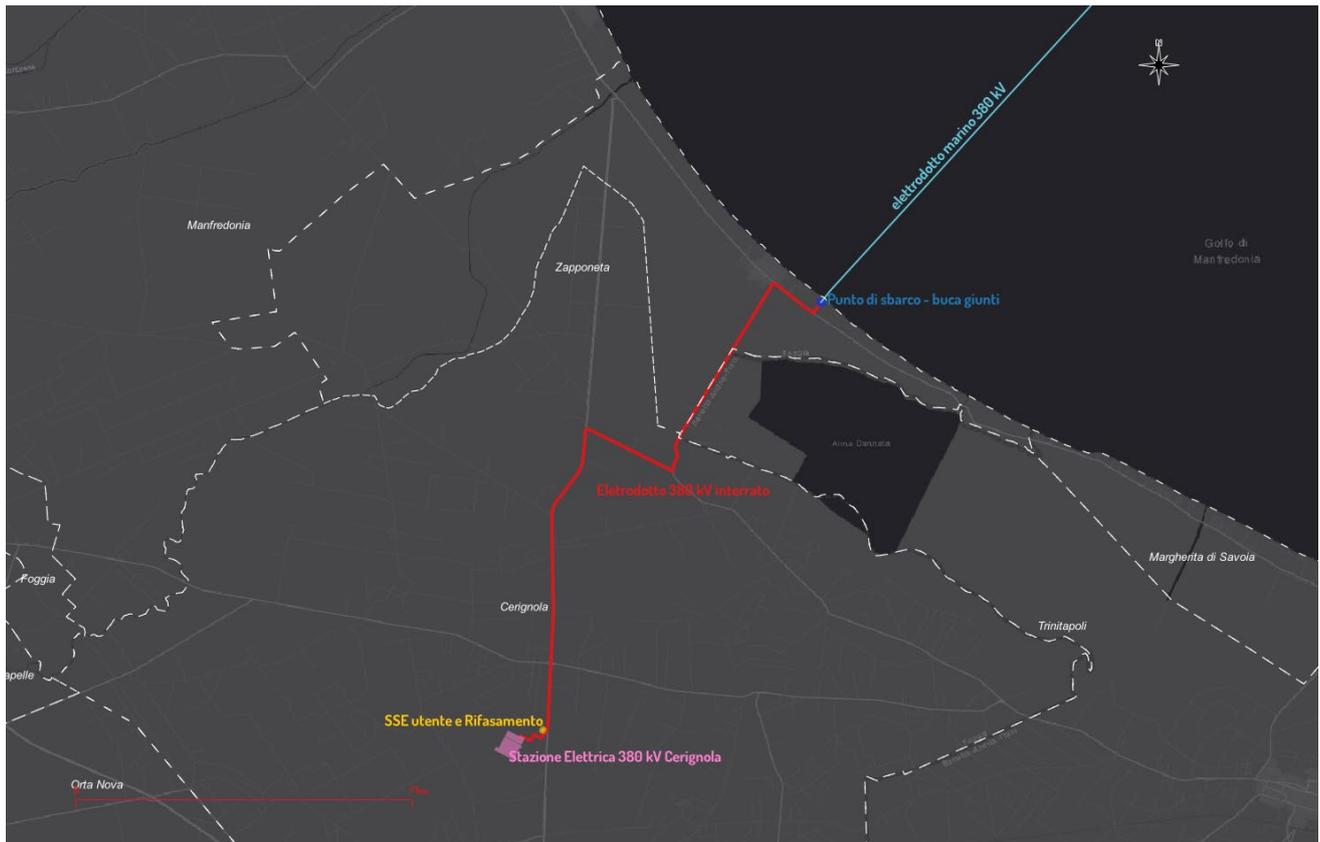
connessione indicata da TERNA con preventivo di connessione Codice Pratica: 202201688 prevede che l'impianto "venga collegato in antenna a 380 kV su di un futuro ampliamento della futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia-Palo del Colle" previa realizzazione dei Raccordi 380 kV dell'ampliamento della SE RTN suddetta all'elettrodotto 380 kV "Manfredonia-Andria" e ulteriori opere incluse nel Piano di Sviluppo TERNA. I successivi confronti con TERNA hanno chiarito che il punto di connessione corrisponde all'ampliamento della nuova Stazione Elettrica 380 kV attualmente in fase di costruzione in agro di Cerignola.

Si è pertanto individuato un punto di sbarco lungo la costa prossimo alla Stazione Elettrica di Cerignola. Nelle vicinanze del punto di sbarco previsto quindi nel comune di Zapponeta verrà realizzata una buca giunti interrata per realizzare la transizione da cavo marino a cavo terrestre e da lì in poi il cavo proseguirà con posa interrata seguendo la viabilità pubblica esistente. Prima di essere immessa in rete, l'energia prodotta verrà convogliata all'interno di una Sottostazione elettrica con associato un Gruppo di rifasamento. Tale opera si rende necessaria, oltre che per realizzare il rifasamento dell'energia prodotta secondo le specifiche di rete, anche a condividere lo stallo in stazione con altri impianti di produzione al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete realizzando un condominio con altri eventuali produttori, il tutto come indicato da TERNA nel preventivo di connessione.

In tali ipotesi le opere a terra constano di:

- **Una vasca giunti di transizione interrata**, posizionata nelle vicinanze del punto di approdo nel comune di Zapponeta, consentirà la transizione dal cavo sottomarino al cavo destinato alla posa interrata;
- **Un elettrodotto in cavo interrato a 380 kV**, esteso per circa 16 km nei territori dei comuni di Zapponeta, Trinitapoli e Cerignola e realizzato prevalentemente in affiancamento alla viabilità pubblica con brevi transiti su terreni agricoli. La posa avverrà principalmente in scavi a sezione obbligata e, solo in alcuni tratti, con la tecnica priva di scavi denominata "Trenchless Onsite Construction" (TOC). Si prevedono, in particolare, 11 tratti in TOC di lunghezza variabile necessari a gestire alcune interferenze presenti lungo il percorso dell'elettrodotto;
- **Una Sottostazione elettrica utente onshore** isolata in GIS per la condivisione dello stallo dotata di un sistema di rifasamento, anch'esso necessario alla compensazione della potenza reattiva prodotta dalla rete in cavo marino e interrato. La Sottostazione in GIS sarà collocata in un edificio industriale situato nel comune di Cerignola, nelle vicinanze del sito di ubicazione della nuova Stazione Elettrica e del suo futuro ampliamento ed equipaggiata con un gruppo di rifasamento.

Alle opere sopra descritte si aggiungono le opere di rete oggetto di un progetto dedicato che riguarderà l'ampliamento della Stazione Elettrica RTN 380 kV di Cerignola.



*Rappresentazione sintetica delle opere a terra*

## 4 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA OFFSHORE

### 4.1 La sottostazione elettrica su piattaforma

Le opere sono oggetto di una specifica sezione di progetto e pertanto di seguito si riporta solo una descrizione sintetica rinviando ogni informazione tecnica di dettaglio agli elaborati contenuti nella sezione di progetto denominata 4. SOTTOSTAZIONI DI TRASFORMAZIONE OFFSHORE a cura di ESE e TECON srl.

### 4.2 Descrizione della struttura

Il campo eolico di Nemetun Island include una sottostazione offshore di tipo fisso installata in 170m di profondità d'acqua.

La struttura della sottostazione offshore è composta dai seguenti componenti:

- sottostruttura (Jacket);
- pali di fondazione;
- sovrastruttura (Topsides).

Il Jacket corrisponde alla parte immersa della struttura della sottostazione offshore e consiste in una struttura reticolare saldata in acciaio tubolare a 4 gambe di forma tronco piramidale, che si estende dal fondale, -170m, a elevazione +13.3m sul livello del mare. Gli elementi tubolari e diagonali di controventatura sono disposti su quattro file principali, con inclinazione di 1/20, e 5/6 piani orizzontali, con distanza massima di interpiano di 26m.

I J-tubes sono tubi in acciaio che forniscono guida e protezione meccanica per i cavi sottomarini in risalita dal fondale, che sono contenuti al loro interno. I cavi entrano attraverso la campana predisposta sul fondo (bellmouth) e sono guidati fino a raggiungere il cable deck (+16.0m), piano a cui si trovano i sistemi di sospensione (hang-off). All'interno della struttura del Jacket sono presenti 13 J-tube di import da 16" e 2 J-tube di export da 24".

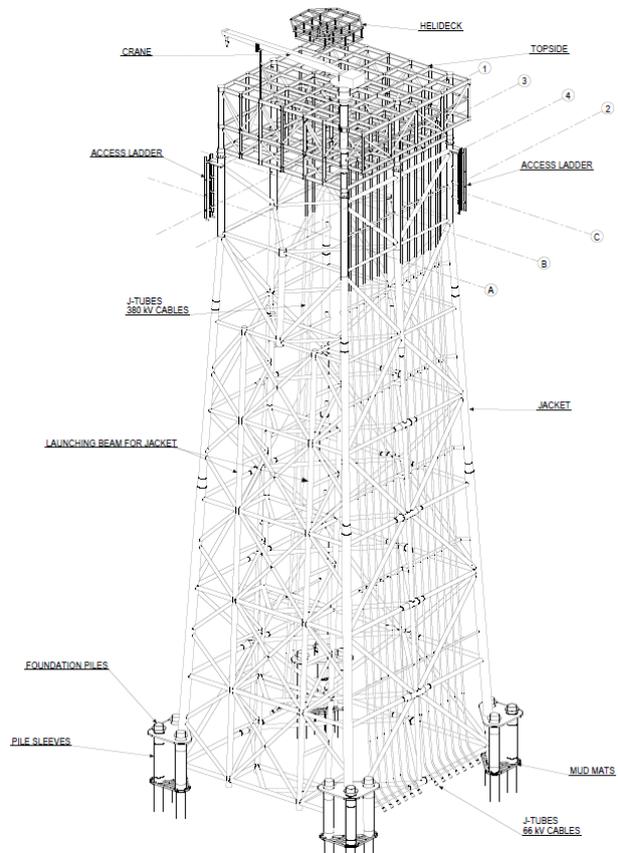
La piattaforma è dotata di due attracchi disposti sulle due gambe del Jacket lato est per consentire l'accesso dal mare tramite Crew Transfer Vessel (CTV). Gli attracchi sono fissati alla struttura principale e pertanto saranno installati insieme al Jacket.

La struttura del Jacket è ancorata al fondale mediante pali di fondazione di tipo 'skirt piles', posizionati ai quattro angoli. I pali sono infissi nel terreno a mezzo battitura (con battipalo idraulico subacqueo) attraverso delle opportune guide (pile sleeves) saldamente connesse alla base del jacket. Una volta raggiunta l'infissione di progetto, i pali saranno collegati al Jacket pompando malta di cemento nell'intercapedine tra palo e guida con apposito sistema di iniezione.

Il Topsides è una struttura tralicciata a 4 livelli, al cui interno si trovano tutte le apparecchiature elettriche, gli impianti e il modulo alloggi.

I principali livelli previsti sono (quote rispetto al livello del mare):

- Livello 1 – el +16.0m - Cable deck e Main deck: piano a cui arriva la sommità dei J-tubes, dedicato a fornire adeguata portata e spazio per i sistemi di pulling e per il routing dei cavi ai GIS 66kV e 380kV; e a cui si trovano main transformers e shunt reactors;



- Livello 2 - el. +23.0m – Utility deck: semi-piano a cui sono alloggiati i GIS 66kV, 380kV e le control rooms;
- Livello 3 - el. +28.6m – Accommodation: semi-piano intermedio per gli alloggi;
- Livello 4 - el. +34.0m - Weather deck: copertura di capacità portante adeguata al carico e la movimentazione di attrezzature, che alloggia i cooler dei main transformers/shunt reactors e i generatori diesel;
- Livello 5 - el.+37.0m - Helideck: piano di appontaggio per elicotteri..

#### 4.3 Dimensioni e pesi

Dimensioni e peso	Sottostazione
<b>Jackets</b>	
Altezza	183.3m (da -170m a +13.3m da livello mare)
Ingombro complessivo alla base	74 m x 72 m
Interasse gambe in testa al Jacket	42 m x 45m
Interasse gambe sul fondale	61 m x 58 m
N. di piani orizzontali	7
Elevazione piani orizzontali	el.-9.0m, -35.0m, -61.0m, -87.0m, -113.0m, -139.0m, -165.0m
Peso stimato	9500t
<b>Pali di fondazione</b>	
Nr pali per gamba	3
Nr pali totale	12
diametro	2000 mm - 2500 mm
lunghezza	120 m infissi per 100 m
peso complessivo	5400 t (12pali)
<b>Topsides</b>	
Ingombro massimo previsto:	L=58.0 m, B=58.0 m, H=24.0m
Interasse colonne principali:	42.0 m x 45.0m
N. di piani di servizio:	n.4 + n.1 eliporto
Elevazione piani di servizio dal livello mare:	+16m, +23m, +28.6m, +34m, +37m
Peso previsto al sollevamento:	5000

#### 4.4 Configurazione impiantistica e componenti principali

La sottostazione elettrica offshore in oggetto convoglia la potenza prodotta dall'impianto eolico verso terra. Il parco eolico è composto da n°63 turbine eoliche di potenza unitaria pari a 15 MW. La sottostazione raccoglie la potenza delle turbine, raggruppate in n°11 stringhe. Più precisamente, n°6 stringhe sono connesse al GIS 66kV-1 e n°5 stringhe sono connesse al GIS 66kV-2.

Tali stringhe sono collegate tramite cavi sottomarini a 66kV agli stalli dei GIS 66kV presenti nella sottostazione elettrica offshore.

La sottostazione innalza il livello di tensione da 66kV a 380kV tramite n°2 Trasformatori Elevatori di potenza nominale pari a 580MVA.

La sottostazione offshore è collegata alla RTN tramite due collegamenti in cavo, denominati L1 e L2, ciascuno della lunghezza complessiva (marino + terrestre) di circa 110km.

La sottostazione è composta da n°2 GIS 66kV e da n°1 GIS 380kV, come di seguito descritto.

Il GIS 66kV-1 è formato da:

- n°6 stalli (baie) in ingresso dal parco eolico;
- n°2 stalli (baie) per alimentazione dei n°2 trasformatori ausiliari utili all'alimentazione degli ausiliari di impianto;
- n°2 stalli collegati ai Trasformatori Elevatori da 580MVA per innalzare il livello di tensione a 380kV;
- il sistema è diviso in due semisbarre collegate tramite un congiuntore normalmente aperto. Ogni semisbarra è equipaggiata con trasformatore di tensione e sezionatore di messa a terra ad alta velocità.

Il GIS 66kV-2 è formato da:

- n°5 stalli (baie) in ingresso dal parco eolico;
- n°2 stalli collegati ai Trasformatori Elevatori da 580MVA per innalzare il livello di tensione a 380kV;
- il sistema è diviso in due semisbarre collegate tramite un congiuntore normalmente aperto. Ogni semisbarra è equipaggiata con trasformatore di tensione e sezionatore di messa a terra ad alta velocità.

Il GIS 380kV comprende n°2 baie necessarie per:

- collegamento tramite n°2 cavi sottomarini alla sottostazione onshore per l'esportazione dell'energia prodotta dall'impianto eolico;
- collegamento ai n°2 Trasformatori Elevatori 66/380kV;
- collegamento dei n°4 Reattori Shunt da 250MVA ciascuno, previsti per la compensazione dell'energia capacitiva dovuta al collegamento in cavo.

Dagli stalli dei trasformatori abbassatori del GIS 66kV-1, l'energia è distribuita agli ausiliari di sottostazione tramite n°2 trasformatori AT/BT. Ogni trasformatore si collega al quadro principale di Bassa Tensione che alimenta a sua volta gli ausiliari di impianto.

Il sistema in BT è caratterizzato da:

- n°1 quadro di Bassa Tensione a 400V per l'alimentazione dei sottoquadri ausiliari. Il quadro è diviso in n°3 semisbarre con due interruttori di accoppiamento sbarre automatico (ATS). Il quadro è normalmente alimentato dai due trasformatori ausiliari ed in caso di emergenza da n°2 generatori diesel;
- Sistema in corrente continua (DC UPS);
- Gruppo di continuità in corrente alternata (AC UPS).

In aggiunta a quanto sopra, sono previsti tutti i sistemi ausiliari d'impianto, necessari al corretto funzionamento della sottostazione, quali ad esempio:

- Sistema di controllo e protezione;
- Sistema HVAC;



- Sistema antincendio;
- Sistema luci e prese;
- Sistema di ausilio alla navigazione;
- Sistema di videosorveglianza;
- Sistema trattamento acqua.

## 5 LA SOTTOSTAZIONE UTENTE E IL GRUPPO DI RIFASAMENTO

Le opere sono oggetto di specifici elaborati di progetto e pertanto di seguito si riporta solo una descrizione sintetica rinviando ogni informazione tecnica di dettaglio agli elaborati R.5.3 - Relazione tecnica sottostazione utente e gruppo di rifasamento e alle tavole di progetto della serie T.5.5.\_ - Sottostazione Elettrica e gruppo di rifasamento

### 5.1 Motivazione dell'opera

Prima di essere immessa in rete, l'energia prodotta verrà convogliata all'interno di una Sottostazione elettrica utente dotata di un Gruppo di rifasamento. Tale opera si rende necessaria per due ordini di ragioni:

1. realizzare la compensazione della potenza reattiva prodotta dalla rete in cavo marino e interrato secondo le specifiche di rete. Il sistema di rifasamento dei cavi AT sarà realizzato proquota sia sulla sottostazione di trasformazione offshore sia sulla sottostazione di utenza onshore posta nelle immediate vicinanze della futura stazione Terna 380 kV.
2. condividere lo stallo assegnato del gestore di rete nella Stazione Elettrica RTN con altri impianti di produzione al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete realizzando un condominio con altri eventuali produttori, il tutto come indicato da TERNA nel preventivo di connessione.

### 5.2 Ubicazione dell'opera

L'ubicazione della Sottostazione Elettrica tiene conto di un sistema di indicatori sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell'ambito territoriale considerato, nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente, della protezione della salute umana e dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

Tra le possibili soluzioni si è scelto di ubicare la Sottostazione onshore nelle immediate vicinanze della Stazione Elettrica RTN 380 kV di Cerignola, indicata da TERNA quale punto di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale. Tale ubicazione risulta la più funzionale in considerazione di tutte le esigenze e delle possibili ripercussioni sull'ambiente, con riferimento alla legislazione nazionale e regionale vigente in materia.

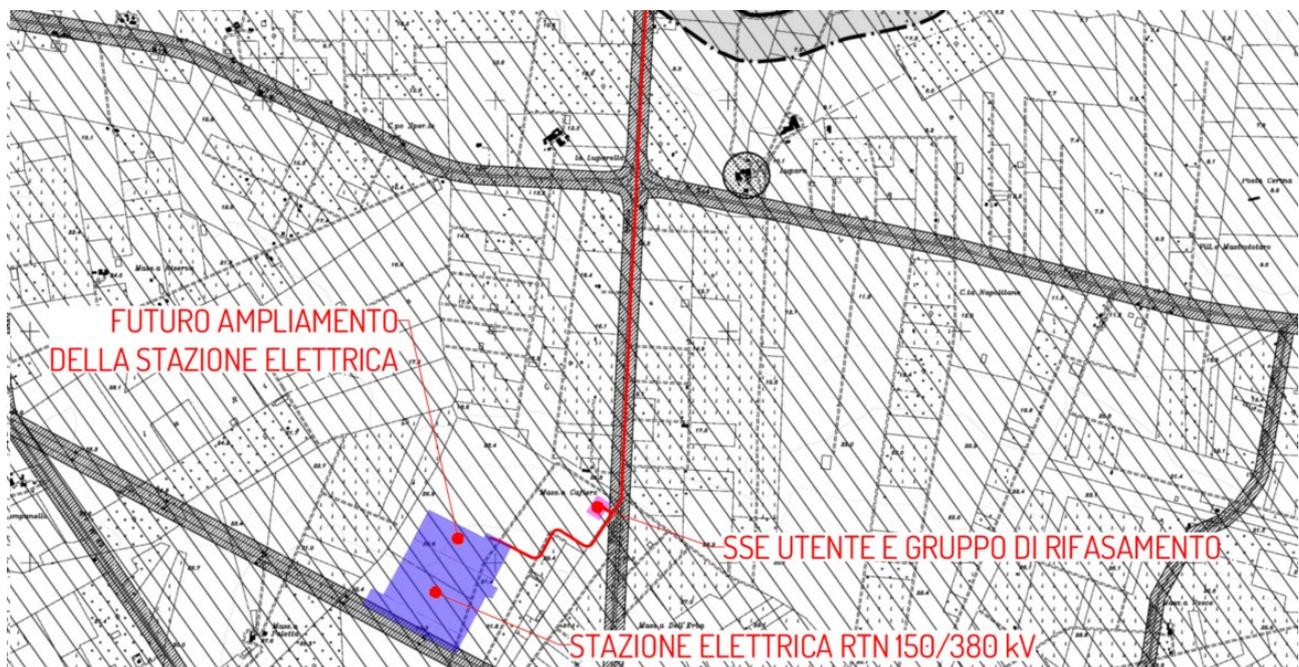
La posizione della sottostazione di utenza onshore, quale risulta dagli inquadramenti cartografici di progetto, è stata studiata comparando le esigenze della pubblica utilità delle opere con gli interessi pubblici e privati coinvolti, cercando in particolare di:

- minimizzare l'interferenza con le zone di pregio ambientale, naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- evitare, per quanto possibile, l'interessamento di aree urbanizzate o di sviluppo urbanistico;
- evitare aree di pregio agricolo;
- recare minor sacrificio possibile alle proprietà interessate, avendo cura di vagliare le situazioni esistenti sui fondi da asservire rispetto anche alle condizioni dei terreni limitrofi;
- permettere il regolare esercizio e manutenzione dell'impianto;
- contenere la lunghezza delle strade di accesso;
- minimizzare le lunghezze delle future linee di collegamento alla SE
- contenere la distanza dalle linee elettriche MT per l'alimentazione dei servizi ausiliari;

Per ridurre l'impatto ambientale si è inoltre scelto di realizzare la sottostazione ricorrendo a sistemi isolati in gas invece che ai classici sistemi con isolamento in aria. Tali sistemi consistono nel realizzare l'isolamento delle parti attive confinandole all'interno di un guscio metallico riempito con gas SF<sub>6</sub> ad una certa pressione e sono comunemente chiamati GIS (Gas Insulated Switchgear) sistemi in esecuzione blindata con isolamento in esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>). Il gas SF<sub>6</sub> ha elevata rigidità dielettrica che aumenta con la

pressione e viene utilizzato come dielettrico in cabine e stazioni elettriche. Utilizzando questo gas come isolante invece dell'aria si possono ridurre le distanze tra parti attive e quindi costruire le opere elettriche in Media e Alta Tensione in spazi più contenuti, consentendo di installare l'opera elettrica completamente all'interno di un edificio. Tale soluzione comporta inoltre ulteriori vantaggi tecnici permettendo di ridurre le manutenzioni degli apparati sottoposti ad agenti climatici e garantendo un livello di sicurezza molto elevato in virtù della tecnologia utilizzata. La realizzazione di una sottostazione in GIS non solo consente di ridurre gli ingombri dell'opera, ma permette anche di contenere l'impatto visivo, atteso che tutte le apparecchiature elettromeccaniche sono completamente schermata all'interno dell'edificio industriale.

La sottostazione utente così progettata occuperà un'area di 5355 m<sup>2</sup> sita in una zona Agricola (zona E) nel tessuto periurbano del comune di Cerignola. L'opera risulta facilmente accessibile dalla Strada Provinciale 77, anche tale scelta consente di minimizzare eventuali impatti dovuti alla realizzazione della viabilità di accesso.



*ubicazione della sottostazione utente onshore*

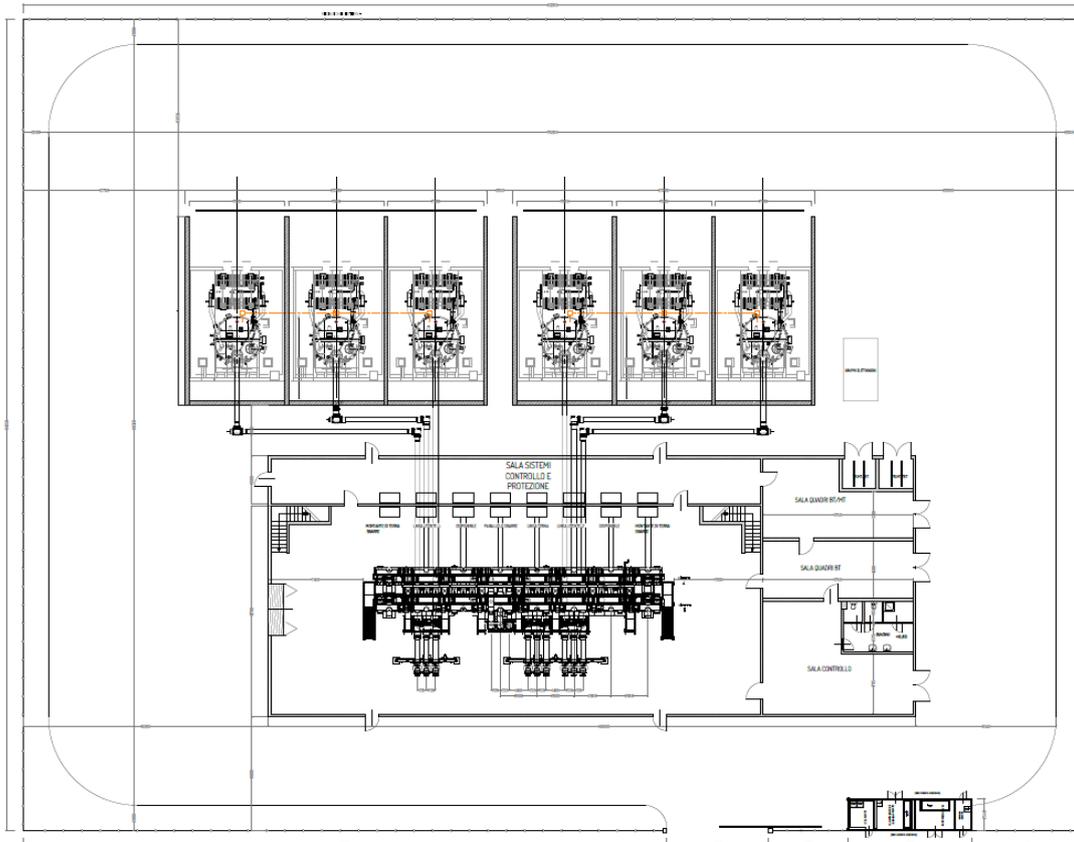
### 5.3 Disposizione elettromeccanica

La sottostazione, vista nel suo complesso sarà formata da un edificio di potenza atto a contenere tutti i componenti qui di seguito elencati.

La sottostazione interamente isolata in SF6 sarà composta da:

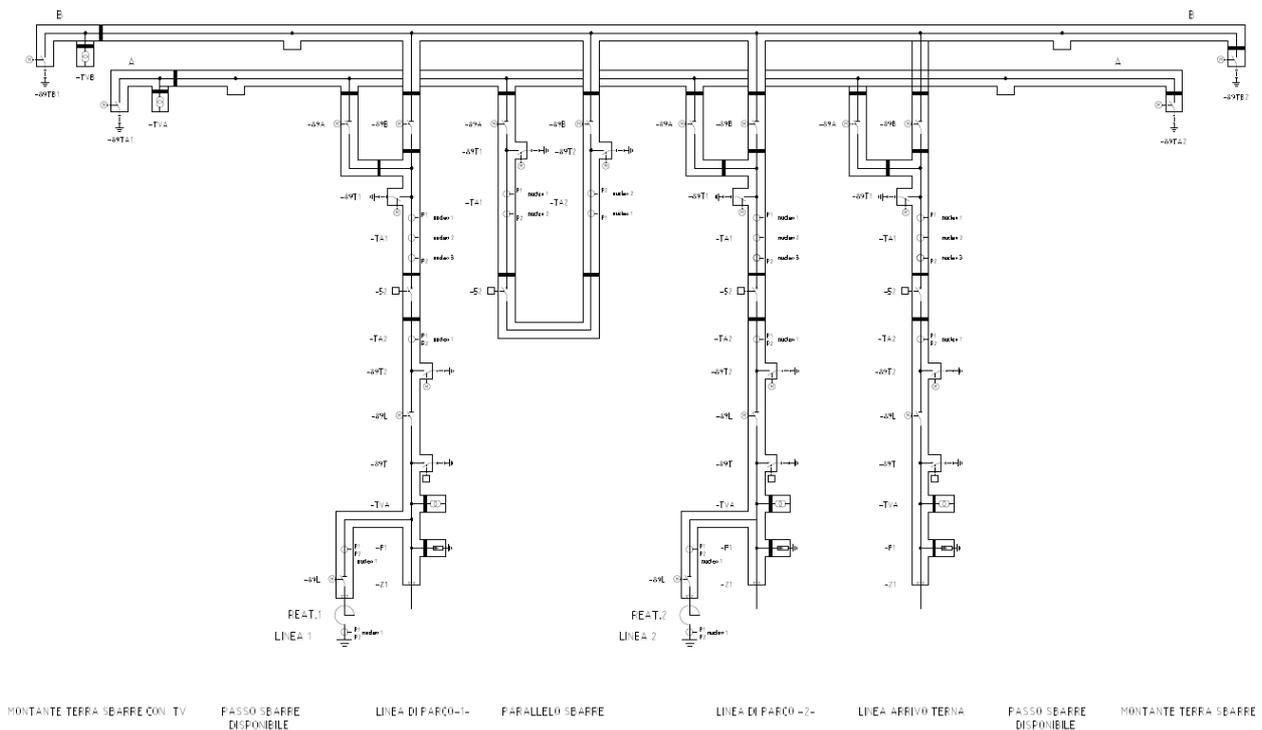
- Nr. 2 stalli di linea per arrivo in cavo 420kV e reattore di compensazione dal lato mare
- Nr.1 stallo di linea per arrivo in cavo verso la stazione RTN
- Nr.1 stallo congiuntore
- Nr.2 sistemi di sbarre segregate ed isolate tra loro.
- Nr.2 stalli disponibili
- Nr.2 Generali di Sezione, TV di sbarra e terra sbarre.

Si prevedono inoltre spazi per aggiungere ulteriori stalli linea di altri produttori per l'eventuale condivisione dello stallo 380 kV nella stazione TERNA.



*Pianta elettromeccanica dell'opera*

**5.4 Schema elettrico**





### 5.5.3 Viabilità interna e finiture

Le aree interessate dalle apparecchiature elettriche saranno sistemate con finitura a ghiaietto, mentre le strade e piazzali di servizio destinati alla circolazione interna, saranno pavimentate con binder e tappetino di usura in conglomerato bituminoso e delimitate da cordoli in calcestruzzo prefabbricato.

### 5.5.4 Recinzione

La recinzione perimetrale sarà del tipo cieco realizzata

### 5.5.5 Reattori di compensazione

Al fine di compensare la potenza reattiva capacitiva dei cavi a 380 kV sono stati inseriti reattori di compensazione a monte ed a valle delle linee in cavo.

La potenza dei singoli reattori trifase, potrà essere modificata nelle fasi successive di progetto in base alle reali esigenze tecniche.

I reattori saranno realizzati con gradini di regolazione sottocarico tale da permettere la correzione del reattivo in condizioni di funzionamento del parco, oltre che a permettere un corretto funzionamento dello stesso reattore.

### 5.5.6 Caratteristiche

Per il reattore si applicano le definizioni delle norme della serie CEI EN 60076; per le parti componenti e per gli accessori si applicano le definizioni delle rispettive norme.

Il reattore sarà costruito in accordo alle regole dello stato dell'arte e di buona tecnica, affinché sia idoneo a sopportare le normali sollecitazioni di servizio (sovratensioni, ecc.) senza perdita o degrado delle prestazioni richieste.

Il reattore sarà idoneo all'installazione in esterno; le condizioni di servizio sono quelle definite dalla norma CEI EN 60076-1 sez. 1.2.1, con le seguenti precisazioni:

- il valore di accelerazione sismica al suolo da considerare è 5 m/s<sup>2</sup> (Riferimento all'accelerazione del suolo AG5 secondo norma CEI EN 60068-3-3);
- l'ambiente di installazione è di tipo C5-M (altamente corrosivo, marino).

### 5.5.7 Dati di targa

Le caratteristiche nominali del reattore sono riportate nella Tabella 1.

<i>Dato di targa</i>	<i>Simbolo e formula</i>	<i>Valore</i>	<i>Definizione</i>
tipo di reattore		reattore in derivazione	60076-6 3.1.1
nucleo		a traferri	60076-6 3.2.4
fluido di isolamento		in olio	IEV 421-01-15
caratteristica magnetica		lineare fino a 150% U <sub>r</sub>	60076-6 3.2.8
numero di fasi		monofase	IEV 411-31-13
frequenza nominale	f <sub>r</sub>	50 Hz	IEV 421-04-03
tensione nominale	U <sub>r</sub>	400 kV/√3	60076-6 7.3.1
tensione massima di esercizio permanente	U <sub>max</sub>	420 kV/√3	60076-6 7.3.2
tensione massima di esercizio temporaneo	U <sub>m</sub>	450 kV/√3	60076-6 3.2.1
potenza nominale	S <sub>r</sub>	300 MVA <sub>r</sub>	60076-6 7.3.3
corrente nominale	I <sub>r</sub> = S <sub>r</sub> / U <sub>r</sub>	xxx A	60076-6 7.3.4
reattanza nominale	X <sub>r</sub> = U <sub>r</sub> <sup>2</sup> / S <sub>r</sub>	xxx Ω	60076-6 7.3.5
sistema di raffreddamento		ONAN	60076-2 3



regolazione sotto carico	100% ÷ 70% S <sub>r</sub>	IEV 421-05-07
numero di posizioni di regolazione	17	60214-1 3.33

*Tabella 1 – Caratteristiche nominali*

### 5.5.8 Costruzione

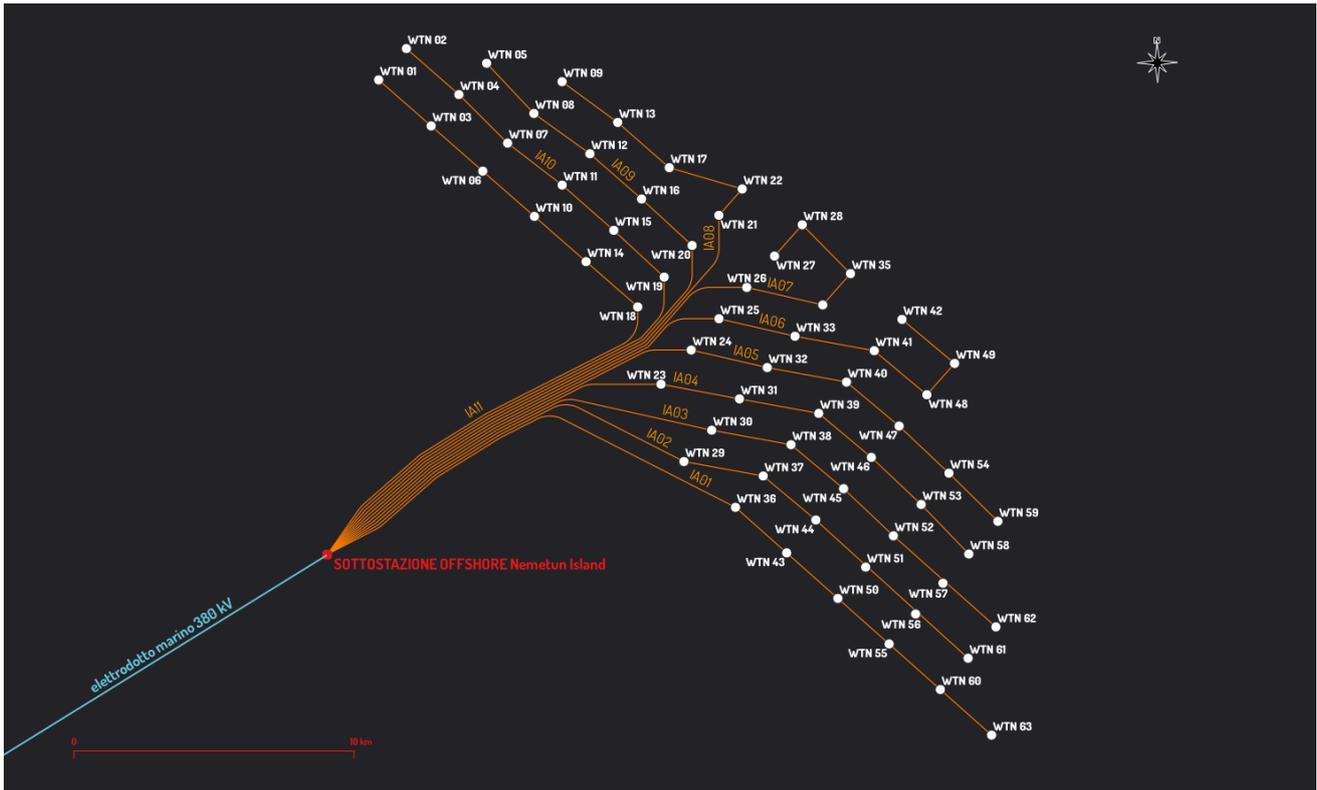
Il reattore sarà costituito da un avvolgimento con un'uscita di linea ed un'uscita di neutro.

Saranno installati tre reattori a formare un banco trifase; i neutri dei reattori saranno comunizzati e collegati francamente a terra.

## 6 CAVI ELETTRICI MARINI - DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E SCHEMI DI POSA

### 6.1 Descrizione sintetica del sistema elettrico

La sezione offshore del sistema elettrico da progettare è costituita da 63 aerogeneratori collegati in “entra-esce” mediante linee in cavo sottomarino a 66 kV che si attesteranno sui quadri in GIS a 66 kV inseriti a base palo di ciascun generatore. Gli aerogeneratori verranno suddivisi in 11 gruppi di produzione che raccoglieranno la potenza prodotta.



*Rappresentazione sintetica delle opere a mare*

Nella tabella che segue sono indicati i gruppi, le distanze coperte dai cavi di interconnessione (Interconnection Array) ed una stima delle lunghezze dei cavi da installare:

GRUPPO	WTG interconnessi	NR. WTG	Distanza massima WTG - Sottostazione Offshore (km)
IA01	WTN 36, WTN 43, WTN 50, WTN 55, WTN 60 WTN 63	6	29,10
IA02	WTN 29, WTN 37, WTN 44, WTN 51, WTN 56, WTN 61	6	27,51
IA03	WTN 30, WTN38, WTN45, WTN 52, WTN 57, WTN 62	6	28,21
IA04	WTN 23, WTN 31, WTN 39, WTN 46, WTN 53, WTN 58	6	26,85
IA05	WTN 24, WTN 32, WTN 40, WTN 47, WTN 54, WTN 58	6	28,20
IA06	WTN 25, WTN 33, WTN 41, WTN 48, WTN 49, WTN 42	6	28,72
IA07	WTN 26, WTN 34, WTN 35, WTN 28, WTN 27	5	26,43
IA08	WTN 21, WTN 22, WTN 17, WTN 13, WTN 09	5	28,17
IA09	WTN 20, WTN 16, WTN 12, WTN 08, WTN 05	5	27,65

IA10	WTN 19, WTN 15, WTN 11, WTN 07, WTN 04, WTN 02	6	28,59
IA11	WTN 18, WTN 14, WTN 10, WTN 06, WTN 03, WTN 01	6	27,01

### 6.2 Dati relativi alle condizioni ambientali

Temperatura massima dell'acqua alla superficie del mare [°C] (valore medio)	30
Temperatura massima dell'acqua sul fondo del mare [°C] (valore medio)	17
Temperatura massima dell'aria [°C]	40
Temperatura massima del suolo per tratto HDD [°C]	25
Resistenza termica del fondale marino [K.m/W]	0.7
Resistenza termica de suolo sul punto di sbarco [K.m/W]	0.8
Fattore di vento su piattaforma offshore J-tubes or I-tubes [m/s]	5m/s

### 6.3 Dati elettrici generali del sistema

Sistema:	trifase
Frequenza:	50 Hz
Numero di fasi:	3
Tensione nominale	66/380 kV
Tipo di messa a terra del neutro	isolato
Potenza totale dell'impianto eolico trasmessa [MW]	945
Potenza massima trasmessa da ciascun cavo di export 380 kV [MW]	472,5
Tensione nominale dei cavi di stringa (IAC) U [kV]	66
Tensione nominale del cavo di export, U [kV]	380
Fattore di Potenza per cavi di stringa IAC	0.9
Fattore di Potenza per cavi di export	0,7

### 6.4 Dati e caratteristiche elettriche dei componenti dell'impianto

Di seguito si riportano i dati caratteristici degli elementi costituenti l'impianto che sono stati utilizzati nei calcoli. In particolare, nelle tabelle seguenti si riportano i dati relativi a:

- rete Terna;
- convertitori (aerogeneratori);
- trasformatori AT/BT;
- trasformatore AT/AAT.

Rete	
Un [kV]	380

Tabella 1 - dati rete Terna

Convertitore	
Pn [MW]	2 x 7,5
Un gen [kV]	0.8
Un rete [kV]	0.72
Frequency [Hz]	50

Trasformatore AT/BT	
Un1 [kV]	66
Un2 [kV]	0.72
Sr [MVA] (ONAN)	2x9,2
Vcc [%]	10,9

Gruppo	Dyn11
--------	-------

*Tabella 2 – dati convertitore e trasformatore MT/BT*

2xTrasformatore 66/380	
Un1 [kV]	380
Un2 – Un3 [kV]	69,3
Sr [MVA] (OFWF)	580/330/250
Vcc I-II, Vcc I-III, Vcc II-III [%] (OFWF)	14,5 -14,5 – 20
Gruppo	YNd11 d11

*Tabella 3 – dati trasformatore MT/AT*

Si prevede inoltre l'installazione di due sistemi di rifasamento atti a compensare la potenza reattiva prodotta nei cavi:

- n°2 Reattori Shunt ciascuno da 250 MVA per compensazione offshore linea L1;
- n°2 Reattori Shunt ciascuno da 250 MVA per compensazione offshore linea L2;
- n°2 Reattori Shunt ciascuno da 300 MVA per compensazione onshore linea L1;
- n°2 Reattori Shunt ciascuno da 300 MVA per compensazione onshore linea L2.

### 6.5 Scelta del tipo di cavo e del sistema di posa

I cavi di collegamento e trasporto dell'energia previsti dal progetto, possono essere divisi per tipologia come di seguito elencato:

- cavo marino a 380 kV AC di collegamento tra la Stazione Elettrica offshore e il punto di approdo/giunzione a terra (cavi di export);
- cavi marini dinamici 66 kV in CA di interconnessione tra le turbine e la Sottostazione Elettrica offshore (cavi inter-array);

La progettazione ed il dimensionamento dei cavi marini è stata effettuata da Aventa Engineering ed è riportata nell'elaborato "R.5.2 - Relazione Preliminare sui Cavidotti Sottomarini". Di seguito si riportano i principali risultati di calcolo. Si evidenzia che trattasi comunque di un dimensionamento preliminare e che pertanto, in fase esecutiva, potranno utilizzarsi cavi di sezione maggiore in ragione dei calcoli di dettaglio e delle tecnologie sopravvenute.

### 6.6 Cavo marino a 380 kV in CA - cavi di export

Un dimensionamento preliminare del cavidotto Export viene fatto in base ai requisiti elettrici e di installazione secondo le norme IEC. I calcoli di portata vengono eseguiti per i vari scenari termici, includendo le sezioni all'interno del TOC, le sezioni in acqua, le sezioni interrato, le sezioni con altre protezioni esterne, le sezioni nell'aria interna del tubo a J alla stazione offshore.

Un carico costante del 100% è considerato nel cavo per la portata e i calcoli elettrici (cioè, tutto il FWTG che produce al 100% della sua capacità). Oltre ai calcoli elettrici, vengono forniti i seguenti parametri dimensionali: Diametro esterno, peso in aria, peso in acqua, massima tensione di trazione, MBR.

I dati meccanici (rigidezze assiali, flessionali e torsionali) saranno proposti per le sezioni trasversali specifiche sulla base di un approccio di riferimento, escludendo qualsiasi calcolo di analisi locale.

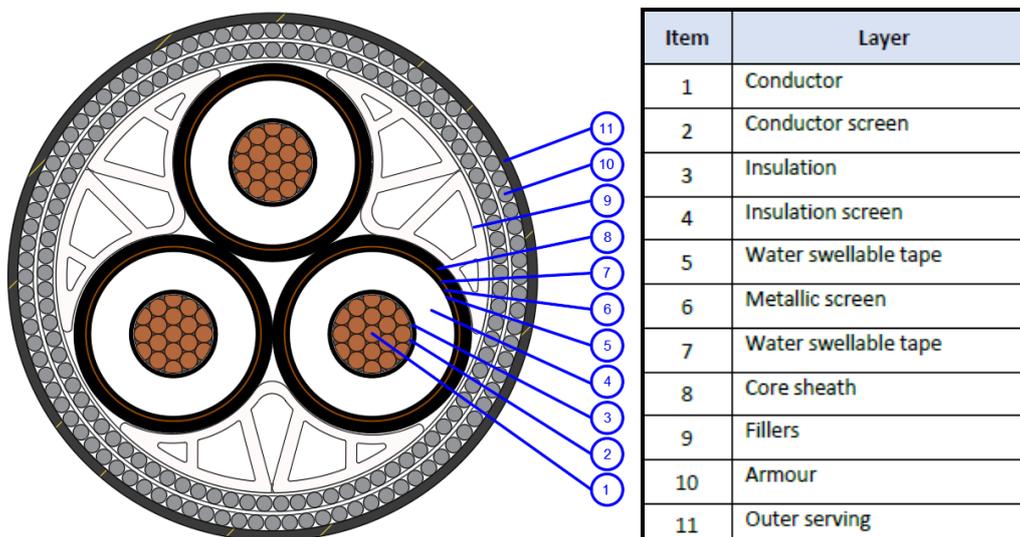
Parameters	Values
Total wind farm power transmitted [MW]	945
Max. power transmitted by each export cable [MW]	472
Max. power transmitted by each IAC Type 1 cable [MW]	90
Max. power transmitted by each IAC Type 2 cable [MW]	45
IAC Rated voltage, U [kV]	66
Export cable Rated voltage, U [kV]	380
Frequency [Hz]	50
Power factor for IAC	0.9
Power factor for export	0.7
Cable lifetime [years]	32
Load [%]	100

*Parametri elettrici*

Le sezioni dei cavi calcolati sono indicate sotto:

Cable cross section	Installation scenario	Conductor operating temperature at $I_N$ (°C)	Rated current at 90°C, $I_{MAX}$ (A)	Cable capacity utilization rate $I_N/I_{MAX}$ (%)
Export 1 630mm <sup>2</sup> Static	Inside J-tube	71.7	720	76
	At landfall	62.9	677	81

*Sezione del cavo Export*



All'interno della riunione del cavo, protetto da idoneo setto separatore, sarà presente un cavo in fibra ottica, a 24 fibre utile per il sistema di supervisione e controllo.

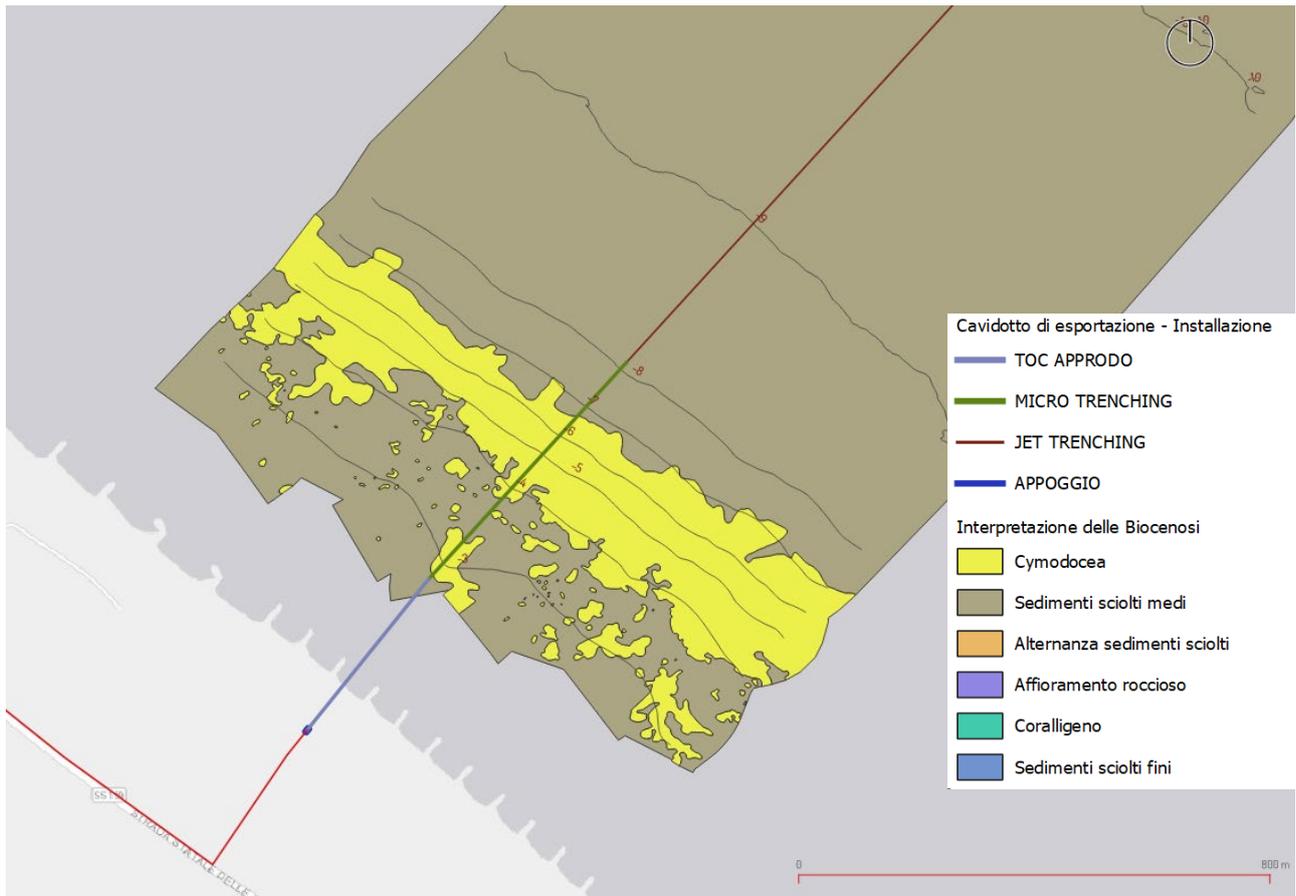


*Sezione di un cavo marino tripolare con isolamento in XLPE e armatura in acciaio*

Per preservare al meglio le condizioni ambientali lungo il tracciato previsto, è stato necessario sviluppare modalità di posa del cavo che riducessero al minimo gli impatti ambientali e simultaneamente assicurassero una adeguata protezione del cavo da potenziali rischi derivanti da interferenze con attività di pesca, altri usi del mare - come l'ancoraggio di imbarcazioni o la perdita di carichi trasportati - e condizioni meteomarine avverse.

In base alle specificità dei fondali sono stati individuati i seguenti tipi di posa:

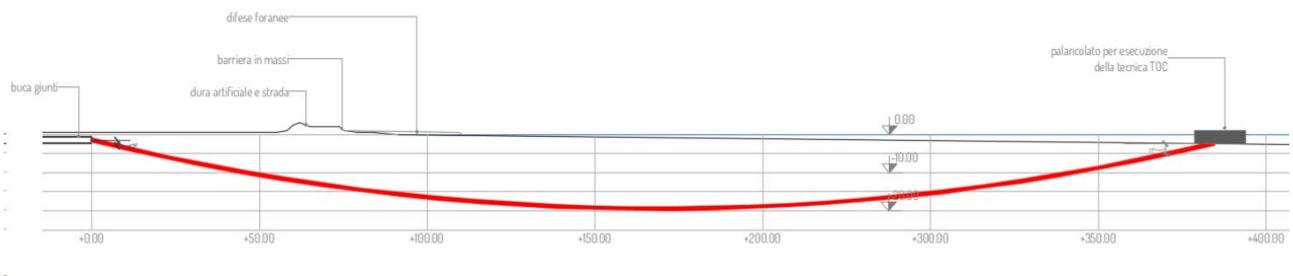
1. **In prossimità del punto di approdo** il cavo sarà posato nel fondale marino **per circa 350 m** e fino a raggiungere una batimetria minima di 3 m tramite tecnica **Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)**. Questa tecnica consentirà di attraversare le opere di difesa presenti sul litorale e di giungere alla vasca giunti di transizione senza operare scavi sulla linea del litorale.
2. **Nel segmento successivo**, vicino alla costa, le indagini geofisiche hanno rivelato la presenza di una pseudo prateria di *Cymodocea* costiera che si estende fino alla profondità di 7 metri. Per conservare questa caratteristica biocenotica, il cavidotto sottomarino sarà posato **per 500 metri** utilizzando la tecnica di **precisione** nota come **microtrenching, o trenching chirurgico**. Questo metodo permette di effettuare un taglio preciso sul fondale con uno scavo a sezione molto ridotta, riducendo al minimo le conseguenze sull'ambiente marino circostante. La decisione sull'uso di questa tecnica dipenderà dalle caratteristiche fisiche del fondale e sarà confermata dopo indagini dirette sul sito durante la fase di esecuzione; in alternativa, potrebbe essere adottato un metodo di posa di precisione mediante semplice appoggio.



*Posa del cavidotto marino in corrispondenza dell'approdo*



*Le difese foranee esistenti*



*Trivellazione orizzontale controllata profilo schematico*



*Trivellazione orizzontale controllata, il cantiere base a terra*

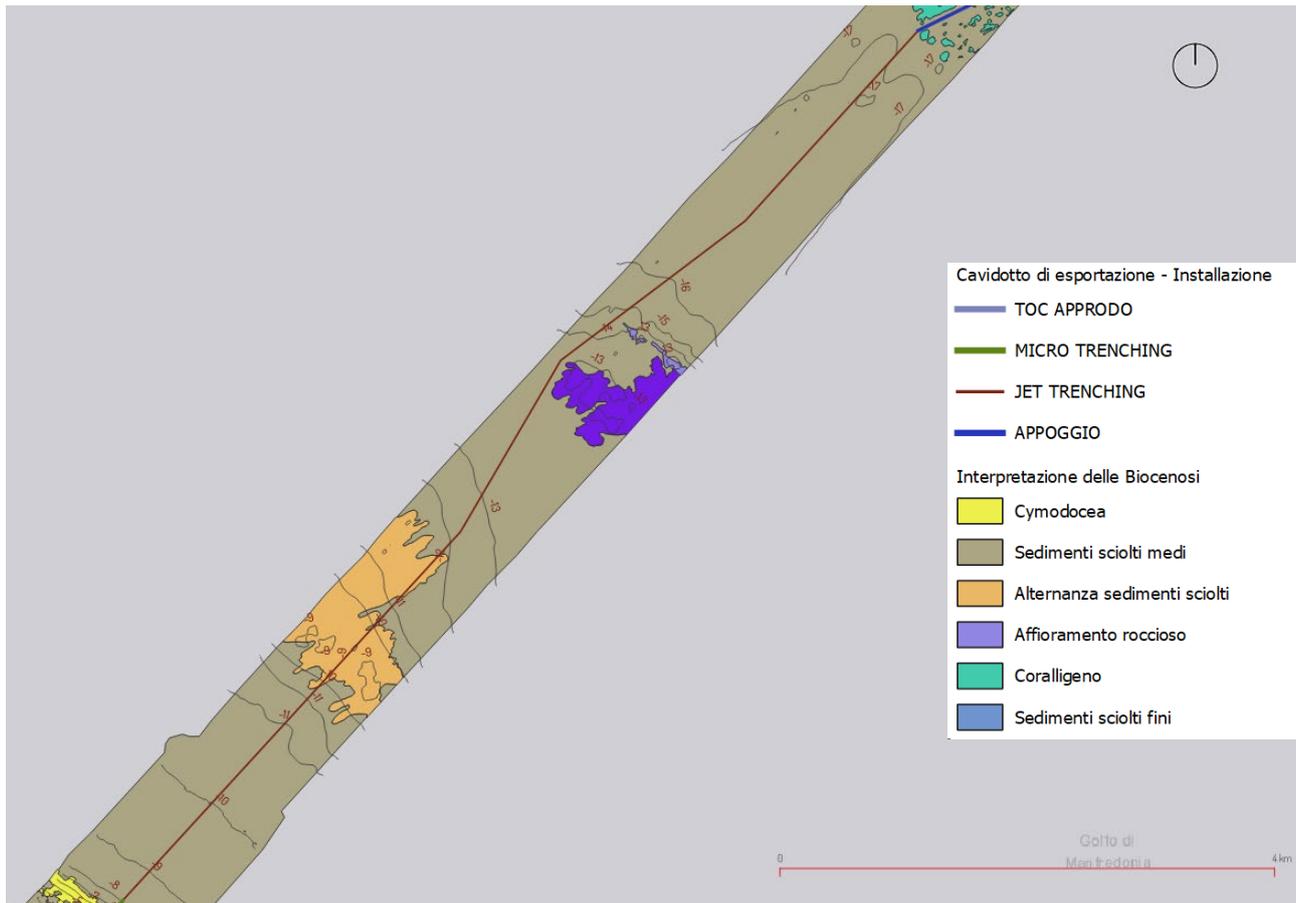


*Il trenching chirurgico – esecuzione con aratro a pilotaggio manuale*



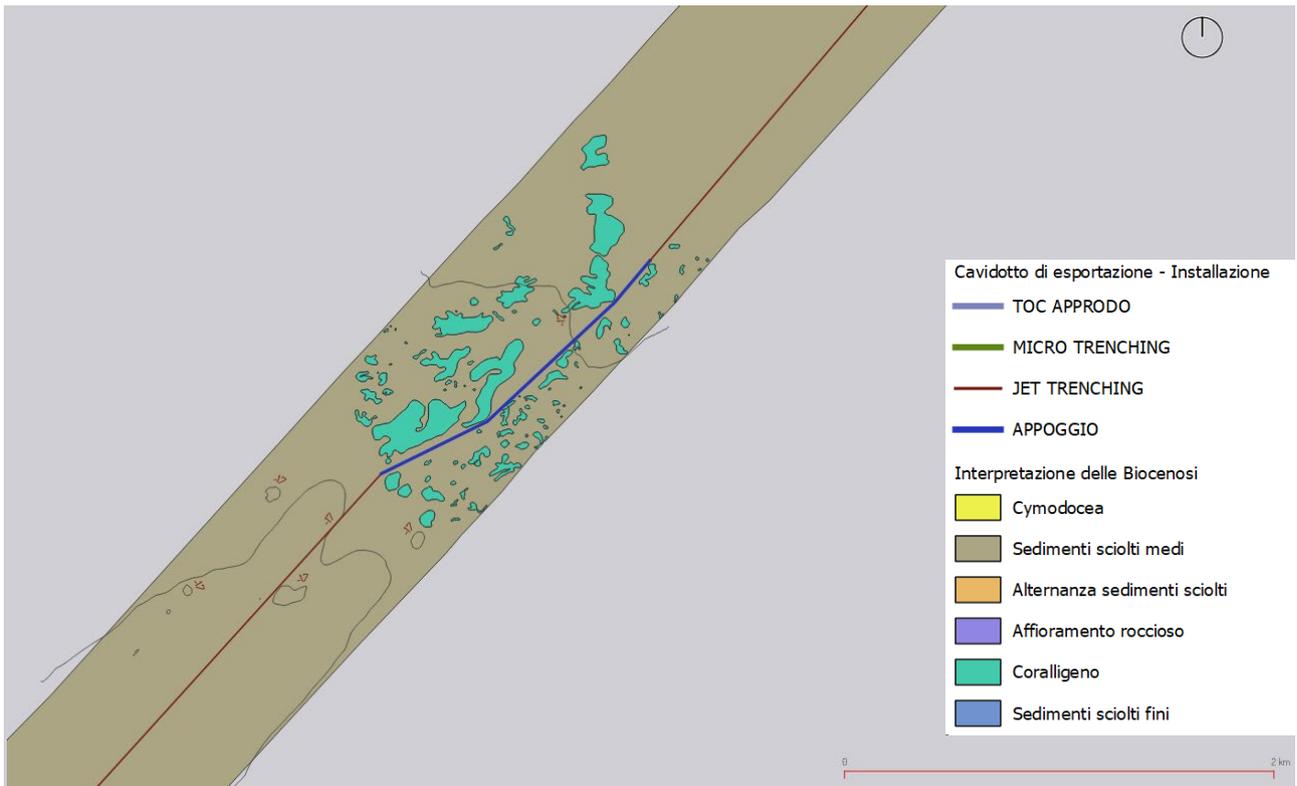
*Esempi di esecuzione del trenching chirurgico*

3. **Nel tratto seguente, per una percorrenza di circa 9.6 chilometri (equivalenti a 5.18 NM)** che va dalla profondità di 8 metri fino a quella di 17 metri, la posa avverrà tramite la tecnica conosciuta come **Jet Trenching**. Questa tecnica sarà utilizzata in fondali **caratterizzati** da depositi sedimentari sciolti, e il tracciato verrà opportunamente deviato per evitare la presenza di affioramenti rocciosi individuati dalla survey geofisica.

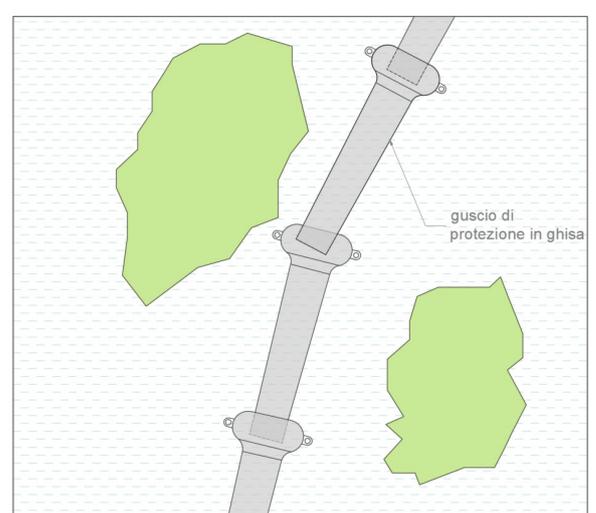
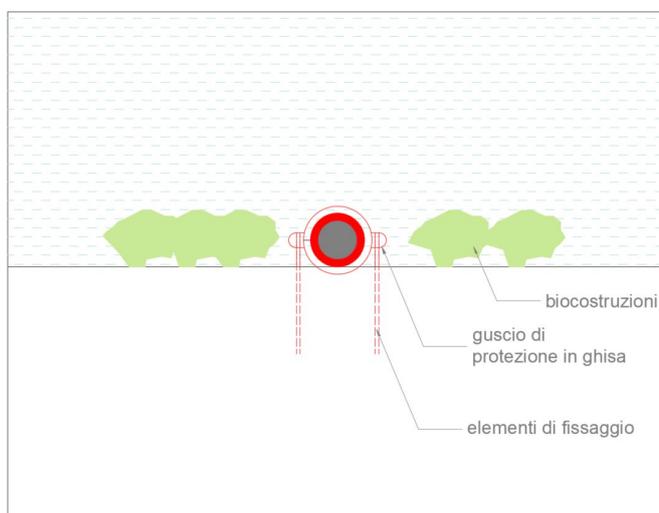


*Il tratto in Jet Trenching da -8 m a -17 m S.l.m.m.*

4. **Alla profondità di 17 metri**, il rilievo geofisico ha identificato la potenziale **presenza** di biocostruzioni a coralligeno. In questa sezione, **per una percorrenza di 1.6 Km (0.90 NM)** il cavidotto verrà posato **mediante un sistema di semplice appoggio e protezione meccanica** utilizzando elementi tubolari metallici accoppiati, spesso realizzati in ghisa. Questo metodo di posa offre una certa flessibilità al cavo anche dopo l'applicazione della protezione e impedisce il contatto con le biocostruzioni presenti, garantendone la migliore protezione. Inoltre, il materiale metallico fornisce un substrato ottimale per la crescita e la proliferazione delle biocenosi a coralligeno.



*Inquadramento del tratto in semplice appoggio*



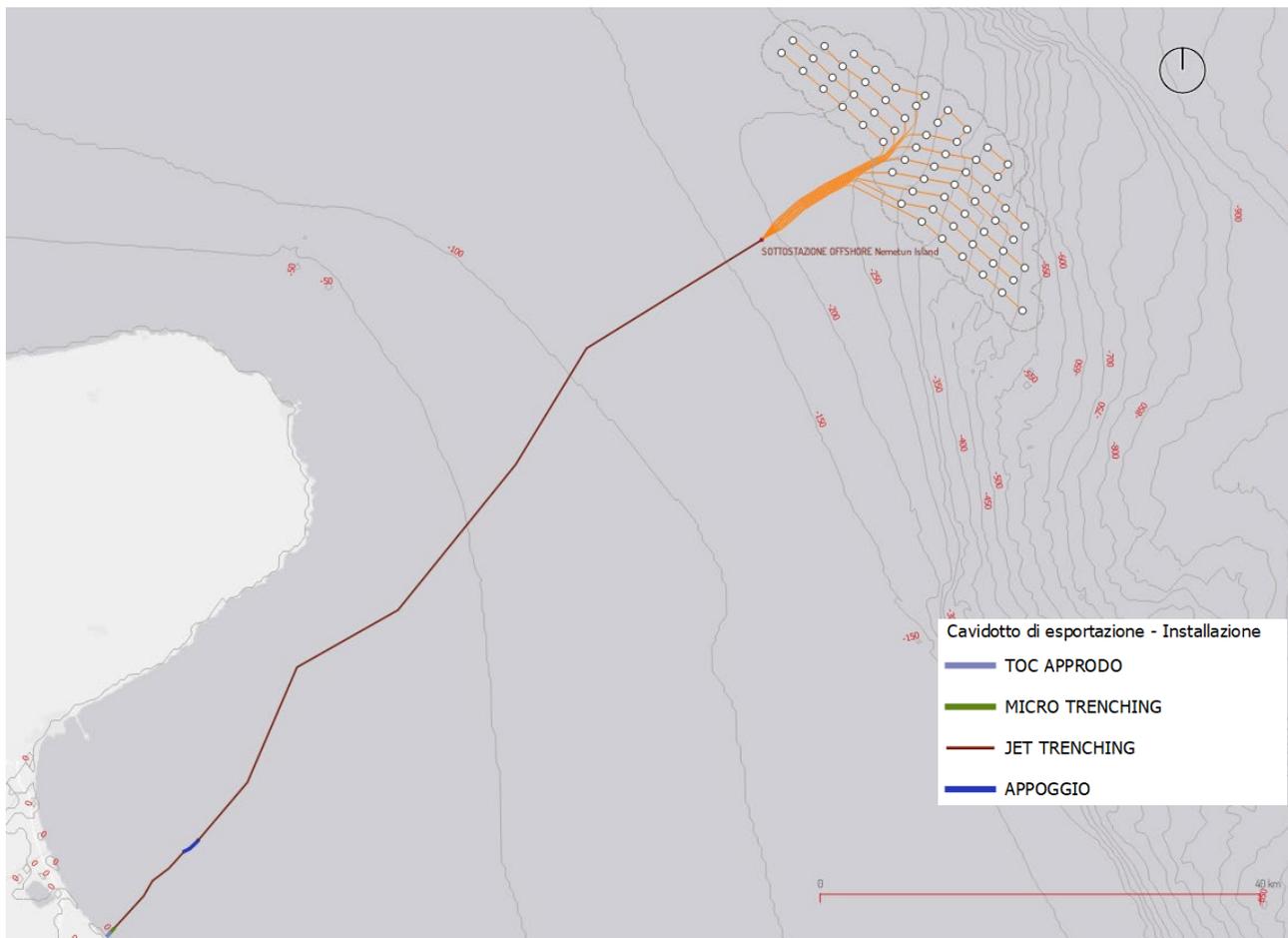
*La posa di precisione mediante semplice appoggio*

5. Per il tratto che va dalla quota batimetrica (-17 metri) fino alla stazione elettrica offshore, lungo un percorso di 77 chilometri (equivalente a circa 41.5 NM), la caratterizzazione del fondale rileva un substrato di **depositi** sedimentari sciolti, pertanto, il cavidotto sarà installato in trincea utilizzando la tecnica conosciuta come **Jet Trenching**. Questi sistemi scava-trincee a trascinamento **impiegano** un aratro appositamente progettato per adattarsi a diversi tipi di terreno e profondità di posa. Lo scavo avviene grazie all'azione di traino esercitata sull'aratro da un'imbarcazione da traino, la quale fornisce la necessaria forza di trazione. L'aratro è dotato di getti d'acqua che liquefano il fondale, creando la trincea, posano il cavidotto e contemporaneamente richiudono la trincea.

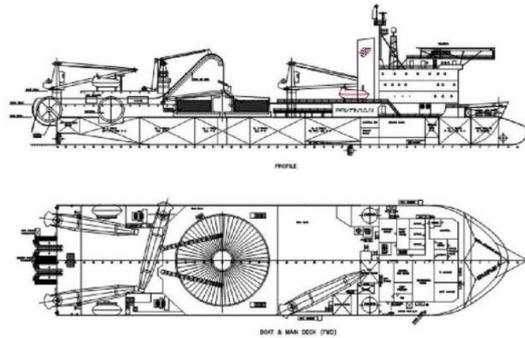
La lavorazione non richiede alcuna movimentazione del cavo sul fondo. L'operazione può essere interrotta in qualsiasi punto ed eventualmente ripresa in un punto successivo. Si prevede, per tutto lo sviluppo della posa in Jet Trenching un tempo di lavorazione di circa 78 ore, da svolgere con minime interruzioni e organizzato nell'arco temporale di dieci giorni. Tutte le operazioni verranno eseguite in stretta collaborazione con le autorità portuali al fine di coordinare i lavori nelle zone soggette a circolazione di natanti.

In generale la tecnica a getto d'acqua "jet trenching" consente:

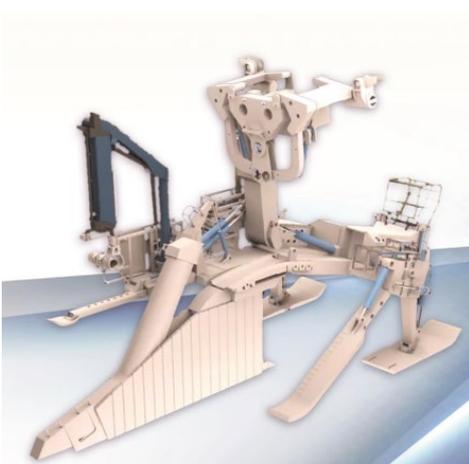
- un modesto impatto sull'ambiente e sugli organismi viventi, limitato al solo periodo dei lavori;
- la ricolonizzazione naturale della zona di posa dopo i lavori;
- nessun impatto dopo la posa.



*Sistemi di posa del cavidotto di esportazione – inquadramento generale*



*Nave posacavi*

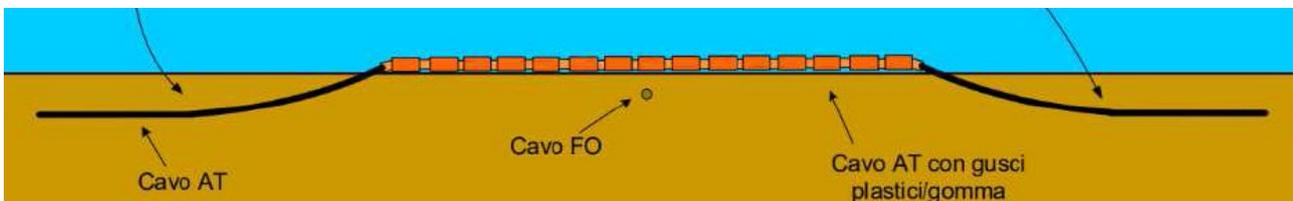


*Aratro marino e schema tridimensionale della trincea di scavo*

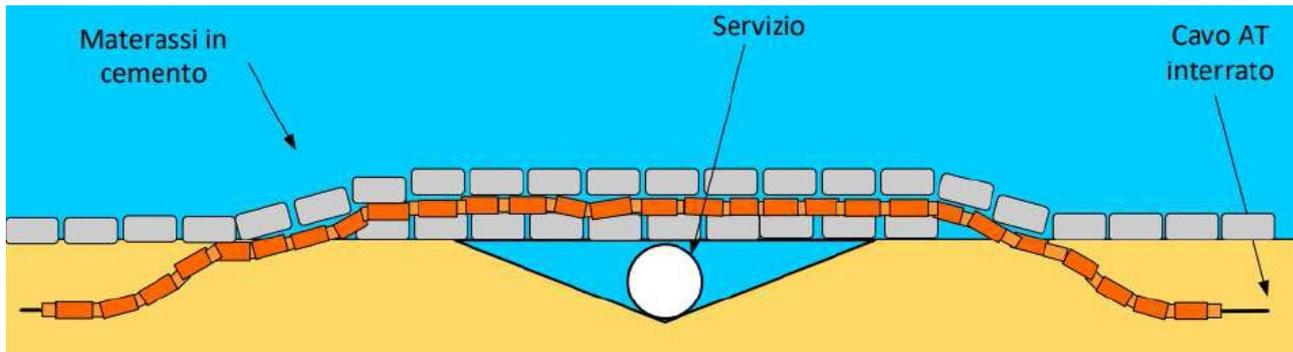
### 6.6.1 Attraversamento di sottoservizi in mare

Le ricerche condotte non hanno rilevato interferenze con altri servizi sottomarini. Tuttavia, nel caso in cui si rendesse necessario attraversare altri cavi o gasdotti, sarà possibile sovrapporre il cavo da installare al servizio esistente, separando accuratamente i due e adottando soluzioni di ricopertura del cavo con gusci in materiale plastico, seguiti dalla protezione dell'attraversamento mediante materassi di cemento o sacchi riempiti di sabbia, come illustrato nelle figure successive.

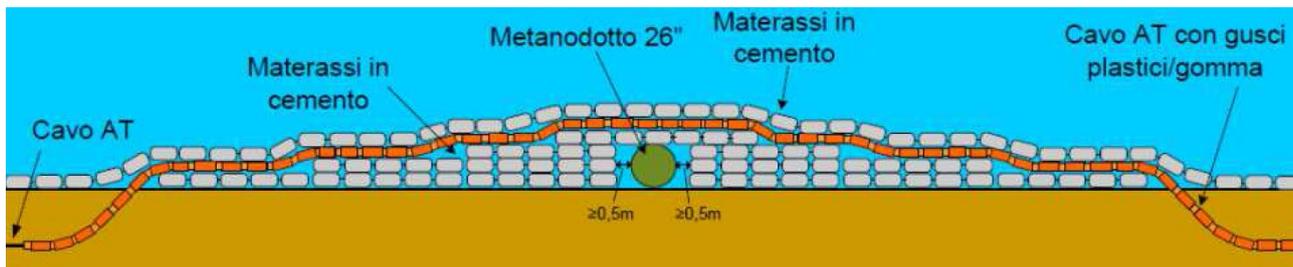
La stessa tecnica può essere necessaria anche in caso che il cavo o il tubo attraversato sia interrato artificialmente o naturalmente.



*Tipico di attraversamento di cavo*



*Tipico di attraversamento di tubazione metallica affiorante*

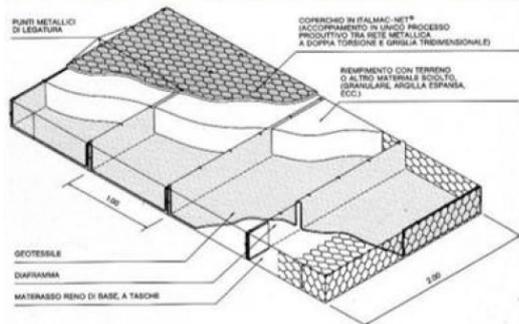


*Tipico di attraversamento di gasdotto affiorante*

La tecnica di protezione può essere integrata con specifici elementi reattivi per condurre interventi di bonifica in aree localmente contaminate, offrendo inoltre la possibilità di creare un substrato idoneo per l'impianto di biocenosi di valore ecologico.



*Sistemi di protezione con gusci in materiale plastico*



*Materassi zavorrati per la creazione di substrati biocentici*

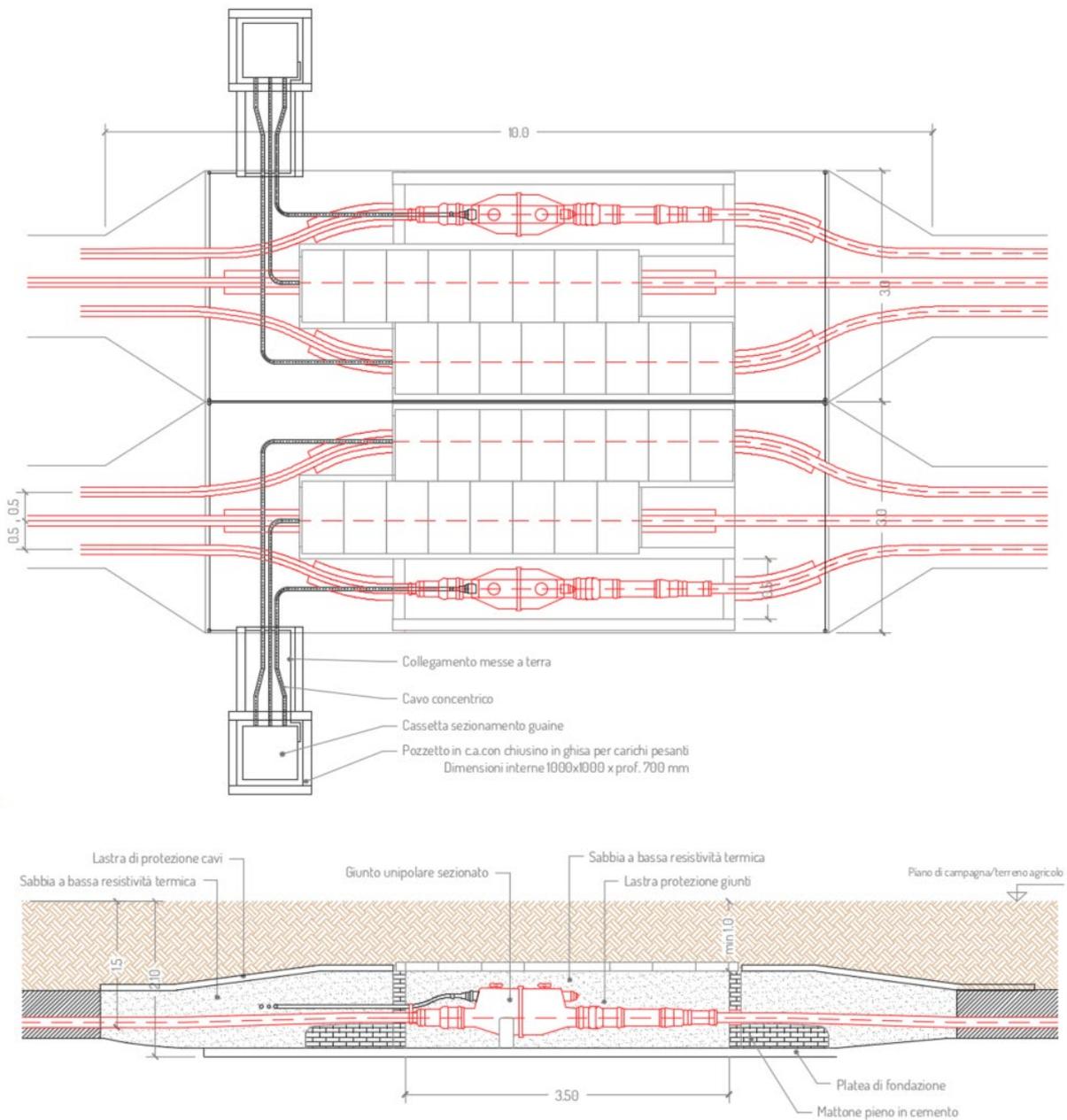
### 6.6.2 Giunzione cavo marino/cavo terrestre

In prossimità del sito di approdo, a circa 120 m dalla linea di costa, il cavo marino verrà giuntato con il cavo terrestre. Il giunto terra-mare sarà realizzato in apposito manufatto in calcestruzzo, da interrare in corrispondenza dell'approdo in una buca giunti. La “buca-giunti” o “vasca giunti” avrà dimensioni indicative di 10 m (lunghezza) x 6 m (larghezza) x 2,1 m (profondità).

I giunti avranno le seguenti caratteristiche:

- Saranno realizzati all'interno di loculi riempiti con sabbia e coperti con lastre in calcestruzzo armato, aventi funzione di protezione meccanica;
- Sul fondo della buca giunti, sarà realizzata una platea di sottofondo in c.l.s., allo scopo di creare un piano stabile sul quale poggiare i supporti dei giunti. Inoltre, sarà realizzata una maglia di terra locale costituita da 4 o più picchetti, collegati fra loro ed alla cassetta di sezionamento, per mezzo di una corda in rame.
- Accanto alla buca di giunzione sarà installato un pozzetto per l'alloggiamento della cassetta di sezionamento della guaina dei cavi. Agendo sui collegamenti interni della cassetta è possibile collegare o scollegare le guaine dei cavi dall'impianto di terra.

TIPICO DELLA VASCA GIUNTI DI APPRODO  
scala 1:20



*Tipico della vasca giunti*

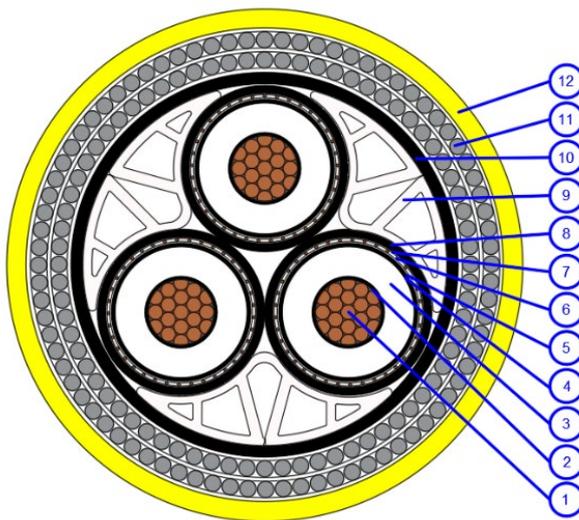
## 6.7 Cavi marini a 66 kV in CA - cavi inter-array

Il dimensionamento dei cavi inter-array segue un processo simile ai cavi export, includendo calcoli elettrici e stima dei parametri dimensionali. Inoltre, i dati meccanici (rigidezze assiali, flessionali e torsionali) sono stimati per permettere il dimensionamento delle configurazione dinamiche.

Le sezioni dei cavi calcolati sono indicate sotto:

Cable cross section	Installation scenario	Conductor operating temperature at $I_N$ (°C)	Rated current at 90°C, $I_{MAX}$ (A)	Cable capacity utilization rate $I_N/I_{MAX}$ (%)
IAC 1 300mm <sup>2</sup> Dynamic	Inside I-tube	75.8	474	83
	Buried	47.9	572	69
IAC 1 300mm <sup>2</sup> Static	Inside J-tube	74.4	487	81
	Buried	47.4	580	68
IAC 2 1200mm <sup>2</sup> Dynamic	Inside I-tube	87.2	815	97
	Buried	68.3	931	85
IAC 2 1200mm <sup>2</sup> Static	Inside J-tube	89.3	795	99
	Buried	72.9	896	88

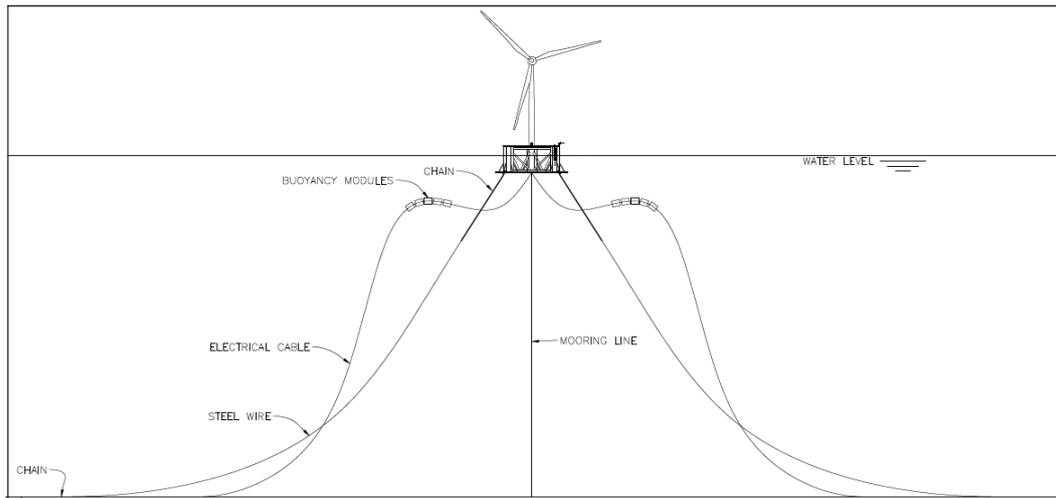
Sezione dei cavo di collegamento



Item	Layer
1	Conductor
2	Conductor screen
3	Insulation
4	Insulation screen
5	Water swellable tape
6	Metallic screen
7	Water swellable tape
8	Core sheath
9	Fillers
10	Inner sheath
11	Armour
12	Outer sheath

Per il percorso del cavo dinamico nei tratti tra la piattaforma ed il punto di arrivo sul fondale (touchdown point) si adatterà la configurazione ad onda pigra ("lazy wave") installando moduli di galleggiamento lungo specifiche sezioni del cavo: si è infatti dimostrato che le prestazioni della "lazy wave" sono superiori a quelle della più classica forma a catenaria nel compensare il movimento della fondazione galleggiante e ridurre, quindi, i cicli massimi di danno dovuti a tensione e fatica.

Le tratte di cavo tra due touchdown point successivi potranno essere semplicemente appoggiate sul fondale o posati in trincea. Nel primo caso, se necessario per assicurare il livello di stabilizzazione o di protezione meccanica richiesto al touchdown point o lungo la tratta, i cavi potranno essere ricoperti con inerti di tipo cementizio (es. materassi in cls) o massi (rockdumping).



*posa dei cavi dinamici "lazy wave" realizzata mediante galleggianti*

## 7 CAVI ELETTRICI TERRESTRI - DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E SCHEMI DI POSA

Il presente capitolo ha lo scopo di definire la metodologia e i calcoli preliminari degli impianti elettrici del parco eolico Off-shore.

Verranno riportati i dimensionamenti preliminari e le sezioni dei cavi a 66 kV e a 380 kV dei cavi terrestri e i relativi criteri per i sistemi di protezione. In particolare i calcoli per il dimensionamento dei cavi sarà effettuato confrontando le correnti di impiego ricavate da calcoli di load flow con la portata limite del cavo in funzione del suo regime termico di funzionamento e delle sue condizioni di installazione (temperatura ambiente, modalità di posa, loro raggruppamento e resistività termica del terreno ecc.) tale da ottenere perdite inferiori al 2 % sulla linea di vettoriamento, margine di sicurezza sulla portata del 20 % ed una caduta di tensione al massimo del 4%.

### 7.1 Modalità di calcolo

Partendo dalla modellazione del sistema con i parametri dei generatori, dei trasformatori, si introducono i parametri dei cavi e si risolve il problema del load flow con il metodo di Newton – Raphson utilizzando un software proprietario e si verifica se sono rispettati i vincoli imposti sulla portata, caduta di tensione, perdite di potenze, etc.

Il processo è iterativo, nel senso che se uno dei vincoli non è rispettato si maggiora la sezione dei cavi, e si risolve di nuovo il problema.

Questa operazione sarà ripetuta fino a quando tutti i vincoli saranno rispettati.

Per la scelta delle caratteristiche delle apparecchiature elettriche e per la scelta definitiva dei cavi, si risolve il problema del corto circuito con la norma IEC 60909/2001 equivalente alla norma CEI 11-25, sulla rete precedentemente modellata (con i cavi che rispettano tutti i vincoli imposti).

Risolto il problema del corto circuito, si verifica se tutti i cavi precedentemente scelti, sono in grado di sostenere la corrente presunta di corto circuito per 0,5 secondi. Se si verifica che una data linea non è in grado di sostenere il corto circuito, si maggiora la sezione e si procede di nuovo alla verifica, il tutto fino a quando i risultati sono coerenti.

#### 7.1.1 Calcolo della portata

Una delle principali caratteristiche funzionali dei cavi interrati è la portata nominale al limite termico  $I_n$ , intesa come la massima intensità di corrente che può circolare in un conduttore, in condizioni di servizio, senza che la temperatura sia superiore a quella massima ammissibile  $\theta_{max}$  dell'isolante. Ovviamente questo valore di temperatura varierà a seconda delle caratteristiche dielettriche dell'isolante impiegato e, di conseguenza, la corrente che può circolare nel conduttore dipende fortemente dal tipo di isolante adoperato che, come precedentemente osservato, è la parte più sensibile alle sollecitazioni elettriche e termiche.

Considerando che il cavo è isolato in XLPE (polietilene reticolato), oppure in E4 o in P1 la temperatura massima ammissibile per l'isolante vale:

$$\theta_{max}=90^{\circ}(\text{caso peggiorativo})$$

Un altro parametro termico da tener presente è la temperatura dell'ambiente di posa del cavo, che varia a seconda delle sue condizioni di posa e, per ciascuna di esse, tiene conto della situazione ambientale più sfavorevole allo smaltimento del calore. In particolare, si è scelto:

$$\theta_{amb}=20^{\circ} \text{ (come previsto dalla CEI 20-21 per l'Italia)}$$

quale temperatura del terreno di posa.

Si definisce salto termico totale  $\Delta\theta_{tot}$  la quantità (funzione della portata In):

$$\Delta\theta_{tot} = \theta_{max} - \theta_{amb} = f(I)$$

Il salto termico totale è un limite di temperatura che non deve essere superato. Infatti, la trasmissione di elevati valori di energia elettrica comporta notevoli difficoltà legate, oltre che al tipo di isolante e alle dimensioni del cavo, anche al modo in cui il calore viene smaltito all'esterno. Inoltre la vita dell'isolante, intesa come l'intervallo di tempo durante il quale il cavo può esercitare le funzioni per le quali è stato realizzato, cala bruscamente se il salto termico totale viene superato.

Assegnato  $\Delta\theta_{tot}$ , lo scopo del progetto termico è quello di determinare la portata massima ammissibile del cavo. Per determinare la portata occorre valutare l'intera potenza che si dissipa all'interno del cavo (ovvero la potenza termica che si genera al suo interno per effetto dei diversi fenomeni di perdita che hanno sede nei vari strati). Nota la potenza termica, sarà possibile valutare i salti di temperatura  $\Delta\theta$  relativi a ogni strato di cui è composto il cavo. A ciascun elemento del cavo, infatti, compete un diverso salto di temperatura, oltre che una diversa potenza dissipata, e la somma di questi  $\Delta\theta$  non dovrà superare  $\Delta\theta_{tot}$ .

Il progetto termico viene effettuato facendo riferimento alla norma tecnica Norma CEI 20-21, in modo tale da determinare la portata in regime permanente in funzione della temperatura ambiente e modalità di posa. Le elaborazioni di calcolo ed i risultati sono ottenuti, come riportato dalle tabelle sotto riportate, utilizzando la procedura indicata dalla norma:

$$I = [\Delta\theta_{tot} - W_d(0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)) / (RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4))]^{1/2}$$

dove:

- $W_d = \omega C U^2 \tan\delta$  (perdite dell'isolante per unità di lunghezza)
- $C = \epsilon / 18 \cdot \ln(D_i/d_c)$  (capacità dell'isolante per unità di lunghezza)
- $R = R'(1 + Y_s + Y_p)$  [ $\Omega/m$ ] (resistenza in corrente alternata del conduttore)
- $R' = R_0[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$  [ $\Omega/m$ ] (resistenza in corrente continua)
- $Y_s$  (fattore dell'effetto pelle)
- $Y_p$  (fattore dell'effetto di prossimità)
- $X_s^2 = 8\pi f 10^{-7} K_p/R'$
- $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$  (fattore di perdita nella guaina e nello schermo ( $\lambda_2 = 0$  cavo non armato))
- $T_1$  (resistenza termica dell'isolante)
- $T_2$  (resistenza termica dell'imbottitura tra isolante e guaina esterna)
- $T_3$  (resistenza termica del rivestimento esterno del cavo)
- $T_4 = 1,5/3,14 \cdot \rho_T \ln(16L_3/D_e \cdot s^2)$  (resistenza termica tra la superficie del cavo ed il mezzo ambiente per unaterna)
- $\rho_T$  (resistività termica del terreno)
- $T_4'$  (resistenza termica tra superficie esterna del cavo ed il mezzo ambiente per due terne affiancate)
- $T_4''$  (resistenza termica tra superficie esterna del cavo ed il mezzo ambiente per tre terne affiancate)

## 7.2 Scelta del tipo di cavo e del sistema di posa

Nelle tavole allegate è riportato il percorso dell'elettrodotto interrato, la posizione della Sottostazione offshore della Sottostazione onshore e della Stazione RTN di Cerignola.

I cavi di collegamento e trasporto dell'energia previsti dal progetto, possono essere divisi per tipologia come di seguito elencato:

- cavo terrestre a 380 kV tra il punto di approdo/giunzione a terra e la Sottostazione Elettrica onshore
- cavo terrestre a 380 kV tra la Sottostazione Elettrica onshore e la Stazione elettrica RTN di Cerignola.

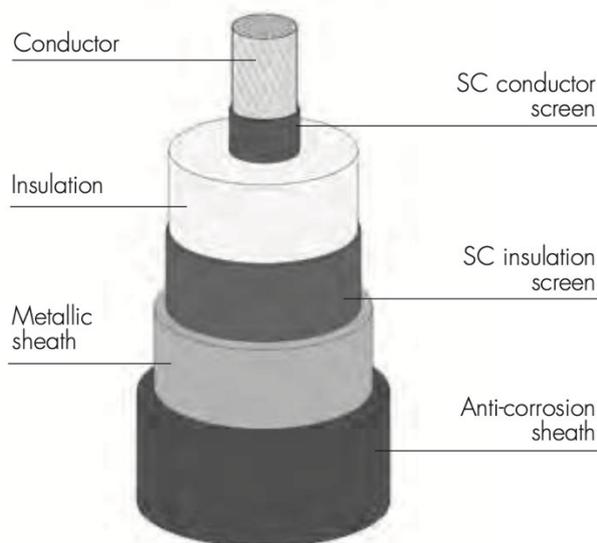
### 7.2.1 Cavi terrestri a 380 kV in CA

L'elettrodotto terrestre è costituito da un primo tratto di collegamento tra il punto di sbarco e la sottostazione onshore e da un secondo tratto che interconnette la sottostazione alla stazione RTN.

La tensione nominale di esercizio del cavo di connessione sarà a 380 kV in corrente alternata. Nel primo tratto, vista la potenza attiva massima di produzione e la potenza reattiva generata sul cavo, si considera una corrente nominale totale di produzione di circa 2100 A da ripartire sulle due terne di cavi. Nel tratto compreso tra la Sottostazione Elettrica onshore e la Stazione Elettrica RTN di Cerignola si ipotizza invece di installare una singola terna di cavi della sezione massima possibile considerando quindi la possibilità che lo stallo in stazione RTN venga condiviso con altri produttori per il tramite della sottostazione onshore.

I cavi scelto per la posa interrata su terra ferma saranno del tipo unipolare con isolamento in XLPE e armatura in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

Tensione nominale:	380 kV
Frequenza nominale:	50 Hz
Formazione:	2x3x1x2000 - 3x1x2500
Tipo di conduttore:	Rame
Isolamento:	XLPE
Tensione massima permanente di esercizio:	420 kV
Diametro esterno massimo singolo cavo:	132,8 mm - 140,8 mm



**Cable components**

#### *Struttura di un cavo terrestre unipolare con isolamento in XLPE e armatura in acciaio*

L'elettrodotto interrato a 380 kV sarà formato, nel primo tratto compreso tra il punto di sbarco e la sottostazione onshore, da due terne di cavi posate su due piani e costituite da cavi unipolari con anima in rame da 2000 mm<sup>2</sup>, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, schermo a fili di rame e guaina

in alluminio monoplaccato e rivestimento in politene (PE) con grafitatura esterna. Nel tratto tra la sottostazione onshore e la Stazione Elettrica RTN si utilizzerà invece una singola terna di cavi con anima in rame da 2500 mm<sup>2</sup> e posa su singolo piano. I cavi devono essere conformi al documento Cenelec HD 632 ovvero alla norma IEC 60840 seconda edizione 1999.

Il rivestimento protettivo esterno deve essere una guaina in polietilene conforme alla norma CEI 20-11 di colore nero. La curvatura dei cavi deve essere tale da non provocare danno agli stessi.

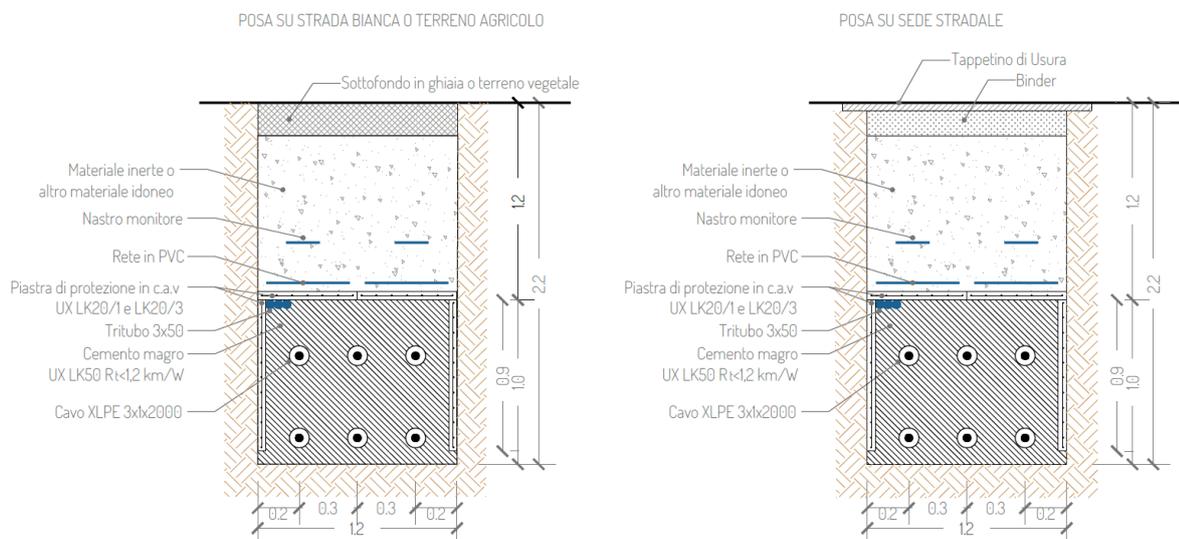
Le condizioni ambientali (temperatura, umidità) durante la posa dei cavi dovranno essere nel range fissato dal fabbricante dei cavi.

Nei tratti in cui si attraverseranno terreni rocciosi o in altre circostanze eccezionali in cui non potranno essere rispettate le profondità minime sopra indicate, dovranno essere predisposte adeguate protezioni.

Saranno eseguiti scavi a sezione ridotta e obbligata di profondità massima 220 cm a seconda del tipo di attraversamento.

Si procederà quindi con:

1. scavo;
2. posa primo strato di magrone cementizio;
3. posa prima terna di cavi AAT;
4. rinfiacamento e riempimento con magrone cementizio per uno strato di circa 40 cm;
5. posa seconda terna di cavi AAT;
6. rinfiacamento e riempimento con magrone cementizio fino alla quota stabilita;
7. posa cavo di controllo entro tritubo in PEHD;
8. Posa protezione tegoli in cls come da sezioni di scavo
9. riempimento con terra derivante dallo scavo,
10. posa di rete in plastica forata e di uno o più nastri segnalatori,
11. rinterro con materiale arido proveniente dagli scavi, preventivamente approvato dalla D.L., per gli attraversamenti particolari; rinterro con conglomerato cementizio classe Rck 150;
12. eventuale ripristino della pavimentazione stradale.



*Schema di posa cavi interrati*

Nel secondo tratto realizzato in singola terna lo scavo sarà profondo circa 1,7 m e si salteranno le lavorazioni 5 e 6.

I cavi saranno posati direttamente a contatto con il terreno. La profondità di posa è di 1,5 m / 2 m e le terne saranno sovrapposte ad una distanza di 0,5 m asse-asse. La portata dei cavi è calcolata tenendo conto anche del riscaldamento causato su di esso dalle correnti che effettivamente percorrono gli altri cavi posti nello stesso scavo. Tale calcolo per i vari casi previsti è fatto applicando il principio dell'immagine termica proposta dalla norma CEI 20-21.

Saranno inoltre possibili ulteriori interferenze con le reti interrato esistenti: reti idriche AQP, reti elettriche Enel, reti elettriche di produttori di energia da fonte rinnovabile (impianti fotovoltaici ed eolici), reti gas e reti telefoniche. Tali interferenze saranno puntualmente verificate in sede di progettazione esecutiva con gli enti/società proprietarie delle reti e saranno definite di concerto le modalità tecniche di posa dei cavi AT in corrispondenza delle intersezioni, ove necessario si utilizzerà la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata. Tutti i dettagli sulle modalità di posa e sulla gestione delle interferenze sono dettagliati nell'elaborato *PTO 5.9 Sezioni di posa - interferenze e attraversamenti*.

Nella tabella sotto riportate sono illustrati i risultati dei calcoli di portata.

È importante sottolineare che la portata dei cavi dipende fortemente dalla resistività termica del mezzo che circonda il cavo interrato. Preliminarmente si è utilizzato per il calcolo delle portate di corrente il valore di resistenza termica del terreno di  $1 \text{ C}\cdot\text{m}/\text{W}$

Tratto	Sezione [mmq]	Lunghezza [m]	Numero terne max affiancate	Corrente di impiego da Load Flow [A]	Portata Conduttore [A] ( $\rho T=1 \text{ C}\cdot\text{m}/\text{W}$ )	Caduta di tensione sulla linea [%]
Approdo - Sottostazione onshore	2000	14465	2	1050	1180	2.6
Sottostazione onshore - RTN	2500	750	1	1600	1765	0.2

*Tabella 4: verifica portata cavidotto AAT (potenza erogata 100%)*

Sarà cura del fornitore del cavo AAT (e dei relativi terminali) la posa del cavo e il montaggio dei relativi terminali.

### 7.2.2 Giunti AT

Per la giunzione elettrica dell'elettrodotto in cavo terrestre si devono utilizzare connettori che rispettino gli standard Terna adatti alla giunzione di cavi in alluminio ad isolamento estruso con ripristino dell'isolamento e degli strati sovrapposti. Tutti i giunti devono essere rispondenti alle norme CEI 20-73. L'esecuzione delle giunzioni su cavi deve avvenire con la massima accuratezza, seguendo le indicazioni fornite dal costruttore.

Il giunto essenzialmente è costituito da un connettore a compressione di giunzione del conduttore, da un elettrodo metallico, da un corpo prestampato in gomma EPR, da una calza di rame che garantisce la continuità metallica dello schermo e da una protezione esterna anticorrosiva.

In prossimità del sito di approdo, a circa 120 m dalla linea di costa, il cavo marino verrà giuntato con il corrispettivo cavo terrestre. Il giunto terra-mare sarà realizzato in apposito manufatto in calcestruzzo, da

interrare in corrispondenza dell'approdo in una buca giunti. La "buca-giunti" avrà dimensioni indicative di 10m (lunghezza) x 6m (larghezza) x 2,1m (profondità).

I giunti avranno le seguenti caratteristiche:

- Saranno realizzati all'interno di loculi riempiti con sabbia e coperti con lastre in calcestruzzo armato, aventi funzione di protezione meccanica;
- Sul fondo della buca giunti, sarà realizzata una platea di sottofondo in c.l.s., allo scopo di creare un piano stabile sul quale poggiare i supporti dei giunti. Inoltre, sarà realizzata una maglia di terra locale costituita da 4 o più picchetti, collegati fra loro ed alla cassetta di sezionamento, per mezzo di una corda in rame.
- Accanto alla buca di giunzione sarà installato un pozzetto per l'alloggiamento della cassetta di sezionamento della guaina dei cavi. Agendo sui collegamenti interni della cassetta è possibile collegare o scollegare le guaine dei cavi dall'impianto di terra.

### **7.2.3 Temperatura di posa**

Durante le operazioni di installazione la temperatura dei cavi per tutta la loro lunghezza e per tutto il tempo in cui essi possono venir piegati o raddrizzati non deve essere inferiore a quanto specificato dal produttore del cavo.

### **7.2.4 Segnalazione della presenza dei cavi**

Al fine di evitare danneggiamenti nel caso di scavo da parte di terzi, lungo il percorso del cavo dovrà essere posato sotto la pavimentazione, a non meno di 20 cm dalla protezione del cavo, una rete di segnalazione.

### **7.2.5 Prova di isolamento**

Successivamente alle operazioni di posa e comunque prima della messa in servizio, l'isolamento del cavo a AT, dei giunti e dei terminali, sarà verificato attraverso opportune misurazioni secondo le CEI 11-17.