



CENTRALE EOLICA OFFSHORE "RIMINI" (330 MW) ANTISTANTE LA COSTA TRA RIMINI E CATTOLICA

proponente:

EnergiaWind 2020 srl _ Riccardo Ducoli amministratore unico



RELAZIONE SPECIALISTICA DEL PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SUGLI ASPETTI LOGISTICI E L'ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE



Progetto e redazione:

Tecnoconsult Engineering Construction srl

Ing. Paolo Pierangeli

Albo Ingegneri di Pesaro e Urbino A2162

Febbraio 2022

INDICE DELLA RELAZIONE

1	INTRODUZIONE	6
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGICI PER L'ELABORAZIONE DELLO STUDIO	6
1.2	UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	7
1.3	NOTE RELATIVE AL PROGETTO PREDISPOSTO PER LA VIA, ALTERNATIVE CONSIDERATE E AMBITO DI INDAGINE	8
1.4	OPERE PRINCIPALI	10
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	12
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA	15
4	DATI TECNICI DEGLI AEROGENERATORI	17
5	DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FASI DI CANTIERE A MARE	20
5.1	INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI STOCCAGGIO A TERRA	20
5.2	TRASPORTO DELLE COMPONENTI DALL'AREA DI STOCCAGGIO AL SITO	26
5.3	INSTALLAZIONE DELLE FONDAZIONI DEGLI AEROGENERATORI	27
5.4	FASI DI ASSEMBLAGGIO DEGLI AEROGENERATORI	30
5.5	INSTALLAZIONE DEGLI AEROGENERATORI	32
5.6	STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE (SET)	34
5.7	OPERATIVITÀ DEL CANTIERE OFFSHORE	38
5.8	POSA DEI CAVI MARINI	39
5.8.1	<i>Lavori di preinstallazione</i>	39
5.8.2	<i>Metodi di installazione del cavo</i>	39
5.9	OFFSHORE SIMOPS	41
5.10	DISTANZE DI SICUREZZA DURANTE LA COSTRUZIONE	41
5.11	APPRODO DEL CONDOTTO MARINO (HDD)	42
5.11.1	<i>Caratteristiche geologiche</i>	46
5.11.2	<i>Fluido di perforazione</i>	49
6	DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FASI DI CANTIERE A TERRA	50
6.1	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO A TERRA	50
6.2	LAYOUT AREA RICEZIONE HDD	53
6.3	POSA DEI CAVI INTERRATI	55

6.4	ATTRAVERSAMENTO MEDIANTE TOC DEL TORRENTE AUSA	57
6.5	FASI DI COSTRUZIONE	60
6.5.1	<i>Fuori servizio necessari alla realizzazione dell'elettrodotto</i>	60
6.5.2	<i>Realizzazione delle infrastrutture temporanee di cantiere per la posa</i>	60
6.5.3	<i>Picchettamento</i>	60
6.5.4	<i>Apertura della fascia di lavoro e scavo della trincea</i>	61
6.5.5	<i>Posa del cavo</i>	61
6.5.6	<i>Scavo della trincea in corrispondenza dei tratti lungo percorso stradale</i>	61
6.5.7	<i>Ricopertura e ripristini su terreno naturale</i>	62
6.6	STAZIONE DI TRANSIZIONE CAVO_AEREO E STALLO 380 kV	64
7	CRONOPROGRAMMA LAVORI	68
8	RIFERIMENTI	70
9	APPENDICE (CALCOLO HDD TERRA-MARE)	71
9.1	SEZIONI DRITTE	72
9.2	SEZIONI CURVE	73
9.2.1	<i>Pipe Buoyant Weight</i>	73
9.2.2	<i>Rigidezza del tubo</i>	74
9.2.3	<i>Cambio di direzione della forza di trazione</i>	75
9.3	RESISTENZA VISCOSA DEI FANGHI	76
9.4	CALCOLO DEL TIRO	77

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).	7
Figura 1.2 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A.....	9
Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B.....	9
Figura 1.4 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l'approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia).....	11
Figura 2.1 – Distribuzione dei cavi del LAYOUT A di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione in mare.	12

Figura 2.2 – Distribuzione dei cavi del LAYOUT B di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione in mare.	13
Figura 2.3 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)	14
Figura 3.1 – Inquadramento geografico layout A	15
Figura 3.2 – Inquadramento geografico layout B	16
Figura 3.3 – simulazione della centrale eolica off-shore "Rimini" _ LAYOUT B e stazione elettrica marina ...	16
Figura 4.1 – MySE6.45-180 WTGS	17
Figura 4.2 – Rotore della turbina	19
Figura 5-1 Possibile area adibita a deposito merci, area Canale PIOMBONE	21
Figura 5-2 Tragitto mezzi per andare nel campo eolico (circa 63 km)	21
Figura 5-3 Ipotesi di stoccaggio di monopali (stimata con la lunghezza massima pari a 96m)	23
Figura 5-4 Ipotesi di stoccaggio di giunti di transizione	23
Figura 5-5 Ipotesi di stoccaggio di navicella	24
Figura 5-6 Ipotesi di stoccaggio della torre.....	24
Figura 5-7 Ipotesi di stoccaggio della pale	25
Figura 5-8 Esempio di stoccaggio componenti turbina eolica su nave (Fonte, Ref./a11/)	26
Figura 5-9 Esempi di movimentazione, sollevamento di monopali per offshore.....	27
Figura 5-10 Esempio di installazione di un monopalo offshore e del tronchetto di transizione (Fonte: Seaway Heavy Lifting, Ref/a8/)	28
Figura 5.11 – Fondazioni aerogeneratori - Conteggio dei colpi e tempo di battitura	28
Figura 5-12 Esempio di installazione di un giunto di transizione per fondazione a monopalo (Fonte Ref. /a8/)	29
Figura 5-13 Esempio di installazione di protezione da scouring del monopalo	29
Figura 5-14 Esempio di installazione Rotor Star	30
Figura 5-15 Esempio di trasporto ed installazione componenti aerogeneratori (progetto Gemini, Van Oord)	31
Figura 5-16 Pontone durante l'assemblaggio di una navicella	32
Figura 5-17 Esempio di trasporto di pale di turbine tramite chiatte (Fonte: Breakbulk Project Cargo).....	32
Figura 5-18 Installazione delle pale del rotore su Aerogeneratore	33

Figura 5-19 Trasporto del Jacket nel campo con chiatta	35
Figura 5-20 Installazione: Jacket lifting and lowering	35
Figura 5.21 – SET- Conteggio dei colpi e tempi di battitura.....	36
Figura 5-22 Installazione Topside	37
Figura 5-23 Esempio di post trenching jetting macchine (DEEPOCEAN).....	40
Figura 5-24 Sezione di scavo offshore tramite post trenching	40
Figura 5-25 Tipica sequenza di HDD	42
Figura 5-26 esempi di punta di perforazione HDD e Reamer	43
Figura 5-27 Percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling).....	44
Figura 5-28 Esempio di layout di cantiere per HDD (Horizontal directional Drilling)	44
Figura 5-29 Foro HDD (Horizontal directional Drilling)	44
Figura 5-30 esempio di fase di perforazione e successivo inserimento di una tubazione	45
Figura 5-31 tipico di posa del cavo mediante "directional drilling"	45
Figura 5-32 Postazione di recupero con palancole per il contenimento e il recupero dei fanghi di perforazione	46
Figura 5-33 – Carta di sintesi della zona costiera.....	47
Figura 5-34 -Sommaro del sondaggio n°256160P440.....	48
Figura 5-35 -Dettaglio del sondaggio n°256160P440.....	48
Figura 6.1 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)	50
Figura 6-2 Rendering area proposta per la realizzazione postazione di recupero HDD terra-mare.	53
Figura 6-3 Dimensione area proposta cantiere temporaneo per la realizzazione di HDD terra-mare	53
Figura 6-4 Foto area proposta per la realizzazione di HDD terra-mare	53
Figura 6-5 Esempio di drilling rig per la realizzazione di HDD terra-mare (Burbo Bank)	54
Figura 6-6 Tipici di sezione di cavi interrata	55
Figura 6.7 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)	57
Figura 6.8 – Inquadramento della TOC su Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, "San Martino Monte l'Abate".....	57

Figura 6.9 – Ortofoto ricavata mediante aerofotogrammetria da drone.	58
Figura 6.10 – Sequenza tipica di realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).	59
Figura 6-11 esempio di scavo per interrimento cavo (Hornsea Project One) in campagna.	62
Figura 6-12 esempio di scavo per interrimento su asfalto	62
Figura 6-13 Stazione Utente e area Terna	64
Figura 7-1 Cronoprogramma lavori	69
Figura 9-1 Schematico di HDD.	71
Figura 9-2 Un tipico segmento di tubo diritto sottoposto a forze applicate, esclusa la resistenza viscosa	72
Figura 9-3 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dal peso sommerso del tubo	74
Figura 9-4 Trave a sbalzo sotto carico concentrato in punta	74
Figura 9-5 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dalla rigidità alla flessione del tubo	75
Figura 9-6 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dal cambiamento di direzione della forza di trazione lungo una curva	75
Figura 9-7 Calcolo dei tiri lungo la rotta con (linea rossa) e senza (linea blu) fattore di sicurezza pari a 1.5. .	77

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 – Principali caratteristiche dell'aerogeneratore MingYang MySE6.45-180	17
Tabella 4.2 – Principali caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore MingYang MySE6.45-180.....	18
Tabella 4.3 – Caratteristiche principali della turbina	19
Tabella 5.1 – Sequenza di caricamento componenti su nave	26
Tabella 5.2 – Sequenza di trasporto (andata/ritorno) da porto al sito di installazione	26
Tabella 5-3 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	38
Tabella 9.1 – Principali dati cavo di export e del tubo guida	71
Tabella 9.2 – Geometria HDD	72

1 INTRODUZIONE

Oggetto dello Studio è la valutazione degli aspetti logistici e l'organizzazione del cantiere in relazione alla Centrale eolica offshore "Rimini" ubicata nel mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica, composta da 51 aerogeneratori della potenza di 6,45 MW (per 330 MW complessivi) e opere di collegamento alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale), con punto di connessione alla Stazione TERNA "San Martino in Venti" ubicata in comune di Rimini.

Il soggetto proponente è Energia Wind 2020 srl, con sede legale in via Aldo Moro 28 - 25043 Breno (BS) C.F. P. IVA e Iscrizione al Registro delle Imprese di Brescia n. 03466270984.

Il progetto della Centrale Eolica "Rimini" è stato presentato a livello di Preliminare il 30 marzo 2020, allegato all'istanza di Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.lgs 387/2003 (secondo quanto stabilito dalla Circolare n. 40 del 05/01/2012 del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che stabilisce l'articolazione del procedimento in 3 fasi) e **ha superato la prima fase del procedimento**, coordinato dalla Capitaneria di Porto di Rimini e relativo all'istruttoria tecnico amministrativa finalizzata al rilascio della Concessione Demaniale.

L'approfondimento tematico di cui al presente studio costituisce parte integrante del Progetto (approfondito a livello di Definitivo) e della documentazione allegata allo Studio di Impatto Ambientale, documenti redatti in conformità delle norme vigenti e richiesti dal D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dalla Circolare 40/2012 relativamente alla fase di Valutazione di Impatto Ambientale e alla fase di Autorizzazione Unica.

1.1 Riferimenti normativi e metodologici per l'elaborazione dello Studio

Il presente studio costituisce parte integrante della Relazione Generale, illustrativa e tecnica del Progetto definitivo, con i contenuti previsti dal D.lgs 50/2016 e ss.mm.ii. art. 23 comma 7 e descrive compiutamente le principali fasi di cantiere necessarie per la realizzazione delle opere previste a mare e a terra.

La descrizione puntuale delle fasi di cantiere risulta fondamentale sia per stimare gli spazi occupati, le quantità di materiali e le risorse in termini di consumi necessarie per la realizzazione delle opere e sia per stabilire quali possano essere le tipologie di pressioni sulle componenti ambientali generate dalle modalità di organizzazione logistica e di lavorazione individuate.

In assenza in Italia di specifiche normative e disciplinari tecnici di riferimento, soprattutto per le opere a mare sono stati presi a riferimento una serie di documenti specifici che illustrano le modalità di realizzazione di impianti eolici offshore o sono state mutate alcune pratiche ricorrenti nel settore dell'estrazione mineraria Oil&Gas offshore, soprattutto per ciò che riguarda l'installazione della piattaforma marina e degli elettrodotti posati in ambito marino.

Per l'elenco dei principali riferimenti considerati, si rimanda all'elenco riportato nel Capitolo 8; oltre a quelli elencati, si è fatto riferimento in particolare al seguente documento:

- ✓ DNVGL-ST-0054 – "Transport and Installation of wind power plants".

Si riportano di seguito alcune informazioni utili per l'inquadramento e la caratterizzazione del progetto:

1.2 Ubicazione dell'impianto e caratteristiche dell'area di intervento

Su larga scala l'area di progetto si inserisce nel bacino del mare Adriatico Settentrionale e per ubicazione geografica la centrale eolica offshore impegna il braccio di mare antistante la costa compresa tra Rimini e Cattolica e parte del litorale marchigiano che dal confine della Regione Emilia Romagna prosegue sino a Gabicce e al Colle San Bartolo.

Nello specifico, lo specchio d'acqua complessivo in cui ricadono gli aerogeneratori nelle diverse alternative di configurazione e localizzazione proposte, è compreso nei seguenti limiti:

- a nord ovest da aree concesse a ENI e occupate dalle piattaforme metanifere del gruppo Azalea e da attraversamenti di condotte;
- a nord est dal limite delle acque territoriali (12 MN) per il Layout "A", già oggetto di valutazione nella prima fase istruttoria, e dal limite delle 18 MN per le configurazioni di layout alternative proposte;
- a sud est dalle piattaforme del gruppo "Regina" e dal limite delle competenze amministrative delle Capitanerie di Porto di Rimini e Pesaro;
- a sud ovest da una linea teorica parallela alla costa e coincidente con il limite delle 6 MN per il layout "A" e con il limite delle 9 MN per i layout alternativi, entrambe identificate sia per attenuare la visibilità degli aerogeneratori dalla terra ferma e sia per rispettare le limitazioni relative agli ostacoli e ai pericoli per la navigazione aerea stabilite per l'aeroporto internazionale di Rimini _ San Marino; in tutti i layout proposti gli aerogeneratori mantengono una distanza minima dal ARP (Airport Reference Point) maggiore di 15 km e risultano esterni alla OHS (Other Horizontal Surface).

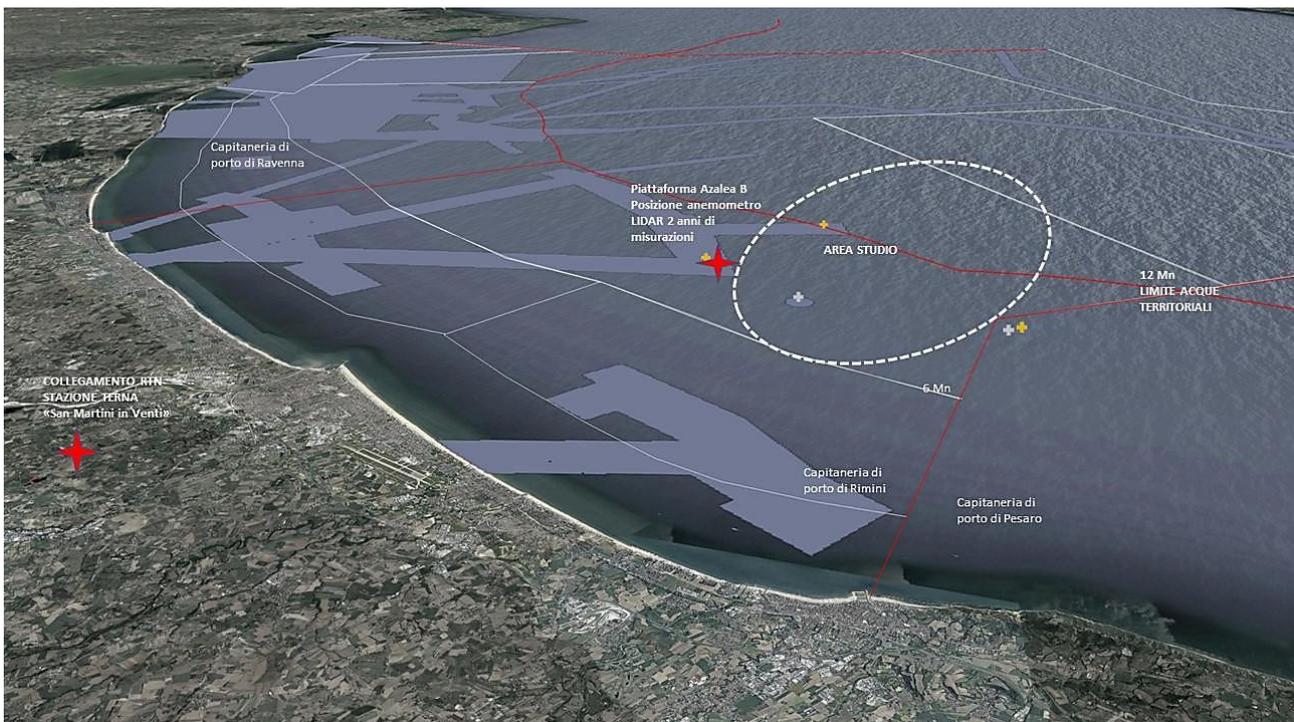


Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).

1.3 Note relative al progetto predisposto per la VIA, alternative considerate e ambito di indagine

Per il completamento delle procedure autorizzative, il progetto recepisce le prescrizioni e le osservazioni degli enti che hanno espresso parere nell'ambito della procedura sino a qui esperita nonché alcune considerazioni espresse dai portatori di interesse.

Come previsto dalle norme in materia di Valutazione di Impatto ambientale, il progetto prevede delle alternative sia riguardo al tracciato delle opere terrestri di connessione (cavo AT interrato) che alla localizzazione e disposizione degli aerogeneratori.

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, si precisa quanto segue:

- Per tutti i Layout considerati restano invariate la posizione della Stazione di Trasformazione Elettrica ubicata in mare nonché le opere di connessione alla RTN;
- il primo riferimento è il **Layout "A"** compreso tra le 6 Mn e le 12 Mn, presentato come integrazione volontaria il 25/09/2020 nell'ambito del procedimento di concessione demaniale, rispetto al quale si sono espressi gli Enti in Conferenza di Servizi attestandone l'ammissibilità in termini di localizzazione; le turbine occupano posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -15 e -34 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 680 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 2,8 km;
- rispetto al precedente, sono state studiate delle alternative localizzative e di configurazione che interessano in parte l'areale del layout "A" e in parte una zona immediatamente contigua e disposta verso il largo sino alle 18 MN; in tale ambito sono state verificate 3 configurazioni degli aerogeneratori; tra le alternative ne è stata approfondita una in particolare, il "Layout B", vista la sostanziale parità di implicazioni ambientali e di producibilità energetica rispetto agli altri 2 layout proposti e denominati "C" e "D", che in ogni caso vanno considerati come alternative possibili;
- Il **Layout "B"** esemplificativo delle alternative considerate e contiguo al layout "A", occupa un'area a cavallo delle 12 MN ed è compreso tra le 9 e le 18 MN; gli aerogeneratori si dispongono lungo le direttrici di tre archi, in questo caso paralleli e distanti tra loro 3 km, occupando posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -22 e -43 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 720 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 6 km;
- gli altri layout considerati sono il layout "C", anch'esso organizzato su tre archi, ma concavi verso Nord Ovest e il Layout "D" che è l'unico organizzato "a freccia" su tre rette che si svasano verso il largo; la distanza minima dal punto di misurazione è rispettivamente pari a circa 2,7 km e 3 km;
- per tutti i layout proposti, la profondità e la natura dei fondali fanno sì che le opere di fondazione siano del tipo a monopilone, con elementi cilindrici in acciaio di circa 7,5 m di diametro e infissi al di sotto del fondale con profondità variabili in base alla batimetria.
- Per quanto riguarda l'elettrodotto interrato AT terrestre il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la

viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

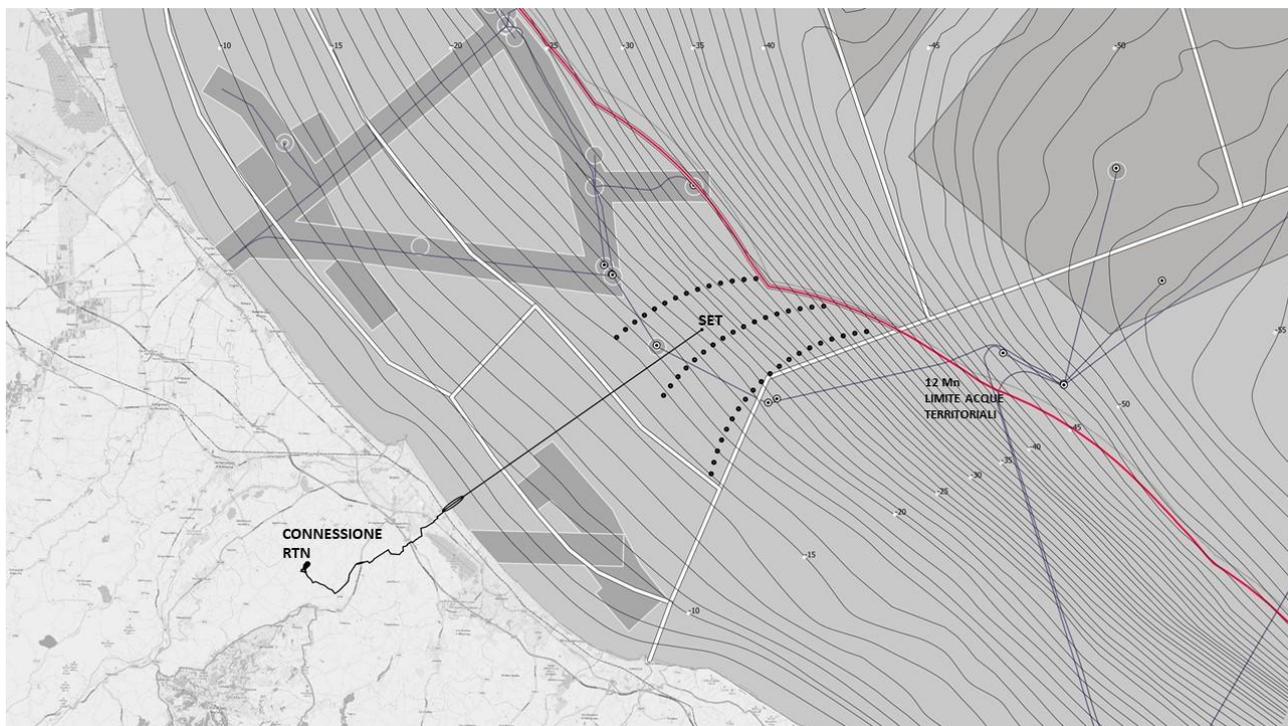


Figura 1.2 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A

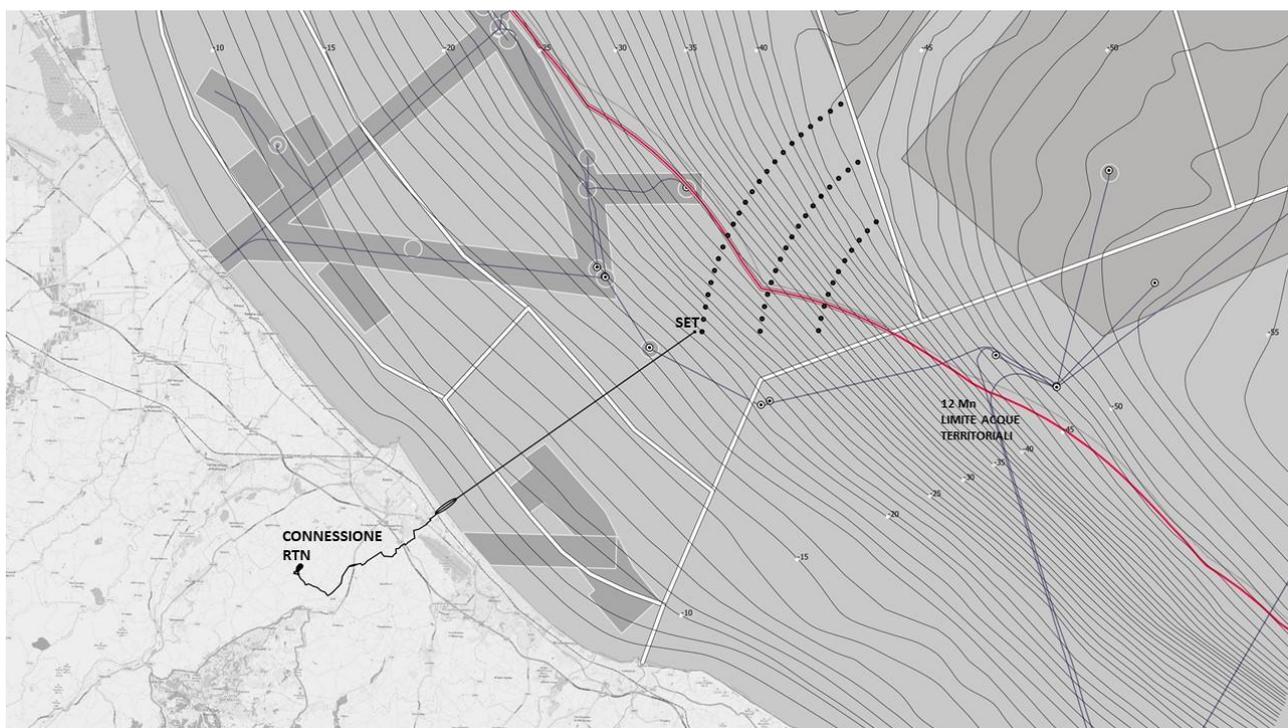


Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B

1.4 Opere principali

Si riporta di seguito l'elenco sintetico delle principali opere previste dal progetto.

OPERE IN MARE:

- **51 aerogeneratori di potenza nominale unitaria pari a 6,45 MW, per una capacità complessiva di 330 MW, ancorati al fondale con fondazione del tipo monopilone in acciaio;**

gli aerogeneratori presi come riferimento tecnologico per il progetto sono del tipo MingYang MySE 6.45-180, con hub a 110/125 m di altezza, diametro del rotore pari a 180 m, tronco di transizione con parte fuori acqua pari a 9/10 m, per un range di altezza complessiva massima compreso tra 210/220 m dal medio mare (in tali range di potenza e dimensionali rientrano altri aerogeneratori simili che potrebbero essere considerati in fase di progettazione esecutiva); gli aerogeneratori vengono proposti in configurazioni alternative, comparate per aspetti ambientali in merito alla localizzazione;

- **Una rete elettrica sottomarina a tensione nominale pari a 66 kV che collega gli aerogeneratori in serie, raggruppandoli in 8 sezioni principali, per poi connettersi alla Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore 66/380 kV ;**
- **Una piattaforma marina che ospita la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) 66/380 kV, attrezzata con 2 trasformatori da 180/200 MVA, 1 reattore per la compensazione della potenza reattiva, apparecchiature, quadri di controllo e manufatti di servizio e accessori;**
- **Un elettrodotto sottomarino di collegamento tra la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore e la buca giunti terra-mare, costituito da un cavo in AT 380 kV di lunghezza pari a 18,15 km di cui 1,45 km realizzato con HDD (Horizontal Directional Drilling) per la parte di transizione terra_mare);**

la parte di approdo e atterraggio (transizione terra-mare del cavo marino realizzata con HDD) inizia in mare a circa 930 m dalla linea di battigia e raggiunge la buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia (in corrispondenza del nuovo circolo velico di Bellariva ubicato tra il bagno 98 e 99), il lungomare Giuseppe Di Vittorio, gli edifici prospicienti, la rete ferroviaria e la linea Metro_Mare;

OPERE A TERRA PER LA CONNESSIONE ALLA RTN:

- **Una buca giunti interrata, in cui avviene la giunzione tra la l'elettrodotto sottomarino e quello terrestre, interrata e posizionata nello slargo compreso tra il sottopasso di Viale Portofino e Viale Siracusa, immediatamente a sud ovest della linea Metro_Mare e della Rete Ferroviaria adriatica;**
- **Un elettrodotto terrestre interrato costituito da una terna di cavi isolati in AT 380 kV, di lunghezza pari a circa 11,7 km (con buche giunti ogni 500/600 m), che raggiunge la Stazione di Transizione cavo-aereo adiacente alla SE TERNA 380/150 kV "San Martino in Venti", dove avviene la connessione alla RTN;**

il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San

Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

- **Una Stazione di Transizione cavo-aereo da realizzarsi in prossimità della stazione elettrica TERNA "San Martino in Venti", che ospiterà il reattore, le apparecchiature elettromeccaniche, i locali quadri e misure e il portale di partenza della linea aerea di collegamento alla stazione RTN;**

verrà realizzato un breve tratto stradale di lunghezza pari a circa 130 m e larghezza pari a 7 m incluso banchine laterali, di collegamento tra Via San Martino in Venti e la Stazione Utente;

- **Un elettrodotto aereo trifase lungo circa 450 m, in conduttori nudi binati alla tensione di 380 kV, di connessione con lo stallo a 380 kV nella stazione elettrica "San Martino in Venti" 150/380 kV esistente e di proprietà TERNA S.p.A.;**
- **Un nuovo stallo a 380 kV, previo ampliamento della stazione TERNA "San Martino in Venti", nella parte nord-ovest, e interrimento di un tratto di linea in cavo aereo esistente;**

per la realizzazione del nuovo stallo, come indicato dal gestore della rete TERNA, è previsto l'interrimento dell'ultima campata di un elettrodotto aereo a 132 kV "San Martino-Gambettola" esistente; l'elettrodotto aereo, lungo circa 170 m, e il traliccio di arrivo saranno eliminati e sostituiti da un elettrodotto interrato AT 150 kV, di lunghezza pari a circa 230 m, da realizzare all'interno dell'area di ampliamento della Stazione Elettrica San Martino in Venti.

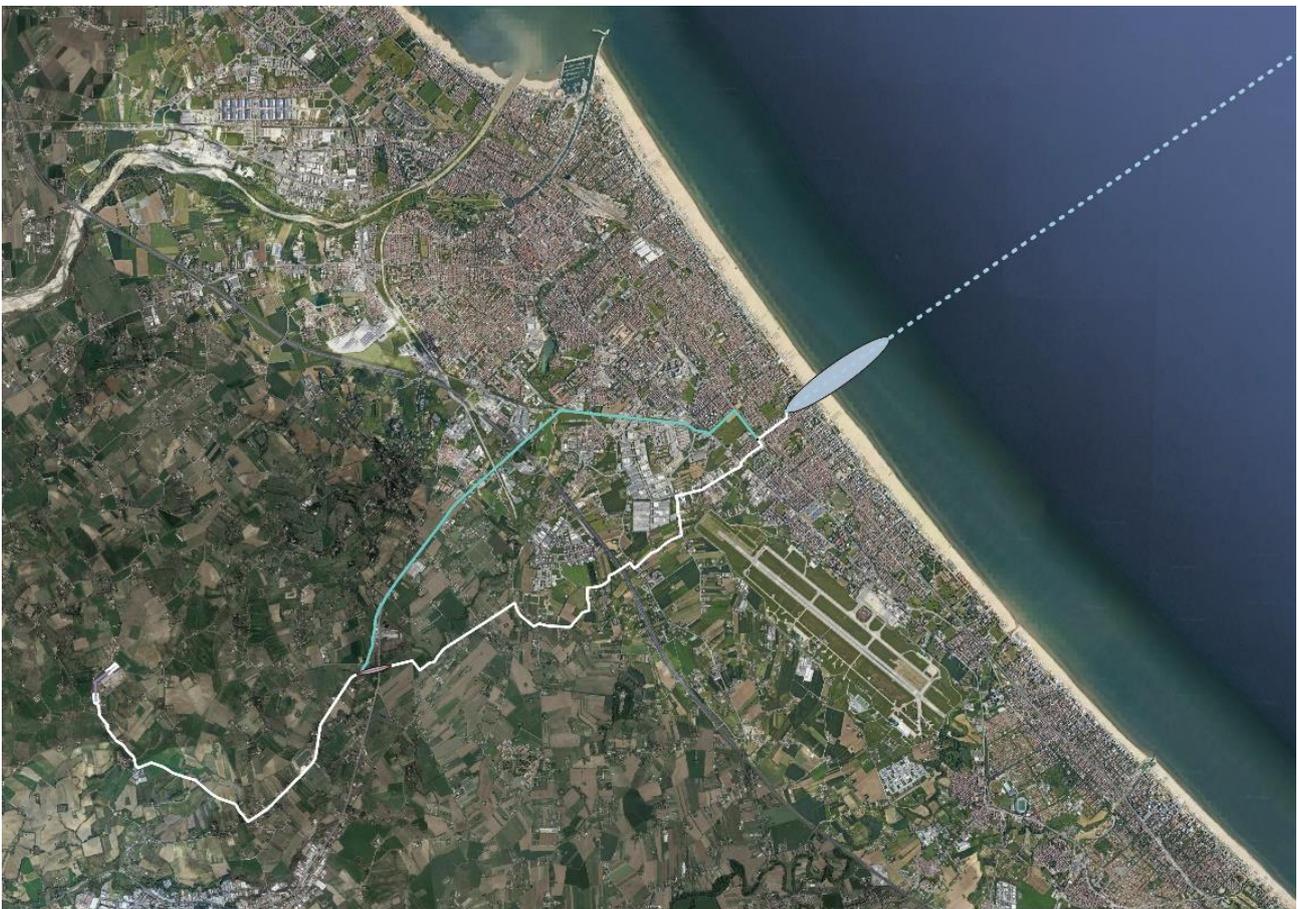


Figura 1.4 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l'approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia)

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è di fornire le indicazioni utili alla definizione di un adeguato "Piano Cantiere", al fine di potere pianificare opportunamente le diverse attività legate alla realizzazione del parco eolico offshore nel braccio di mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica, composto da 51 aerogeneratori installati su monopiloni cilindrici.

Sono oggetto del presente studio sia le operazioni a mare che le operazioni a terra, schematizzabili nel modo seguente e trattate in profondità nelle sezioni successive:

OPERAZIONI A MARE:

- Installazione delle fondazioni e dei giunti di transizione;
- trasporto, assemblaggio e avviamento degli aerogeneratori;
- trasporto, installazione e messa in esercizio della sottostazione elettrica di trasformazione offshore (SET) 66/380 kV;
- posa e collegamento degli elettrodotti sottomarini di interconnessione tra aerogeneratori e di collegamento alla SET ;
- posa e collegamento dell'elettrodotto sottomarino di export, che collega la SET alla buca giunti terrestre;
- Attraversamento terra-mare dell'elettrodotto tramite HDD (Horizontal Directional Drilling);

Di seguito vengono riportati le disposizioni delle turbine e i percorsi cavi a mare in base ai 2 layout principali a mare:

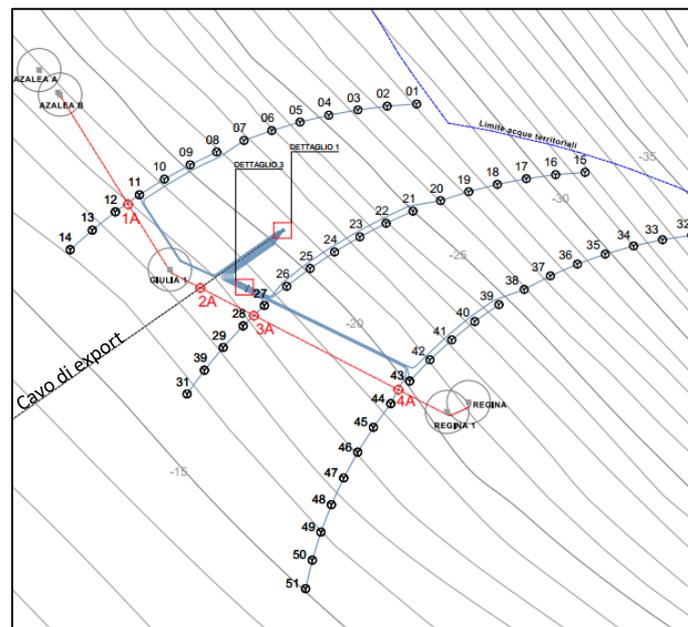


Figura 2.1 – Distribuzione dei cavi del LAYOUT A di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione in mare.

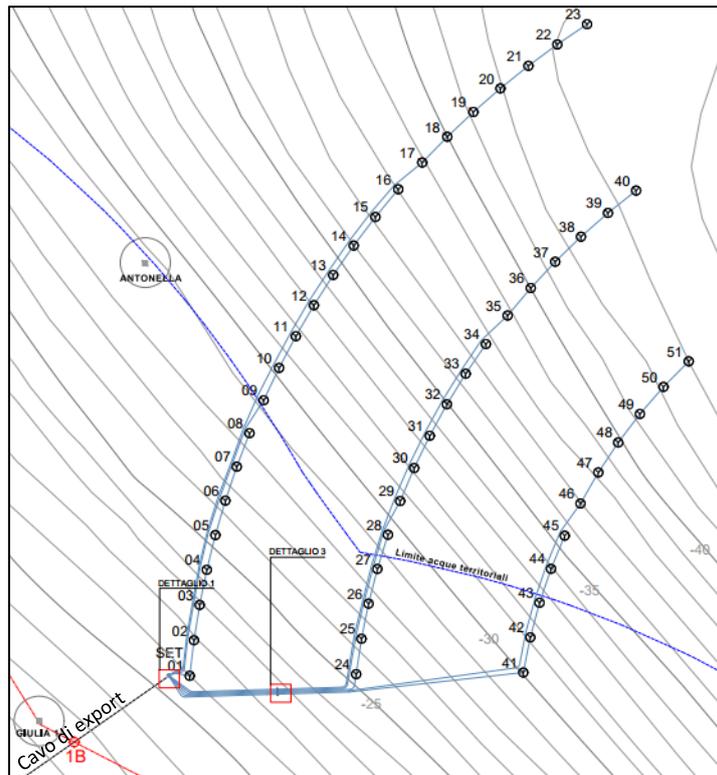


Figura 2.2 – Distribuzione dei cavi del LAYOUT B di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione in mare.

OPERAZIONI A TERRA:

- scavo e posa in opera della buca giunti per il collegamento fra l'elettrodotto sottomarino e quello terrestre;
- posa del tratto di cavidotto terrestre in corrente alternata, in partenza dalla vasca di giunzione terra/mare e in arrivo alla cabina utente onshore: allo stato attuale esistono n°2 diversi percorsi da alternativi seguire (vedi Figura 2.3), di cui quello bianco è il preferenziale. Entrambi confluiscono in un unico percorso.
- posa del tratto di cavidotto terrestre in corrente alternata per il collegamento tra la stazione utente onshore e l'esistente stazione RTN di San Martino in VENTI.
- Realizzazione della stazione utente e dello stallo adiacente alla stazione esistente RTN di San Martino in VENTI.

Di seguito viene riportato il percorso del cavo a terra.

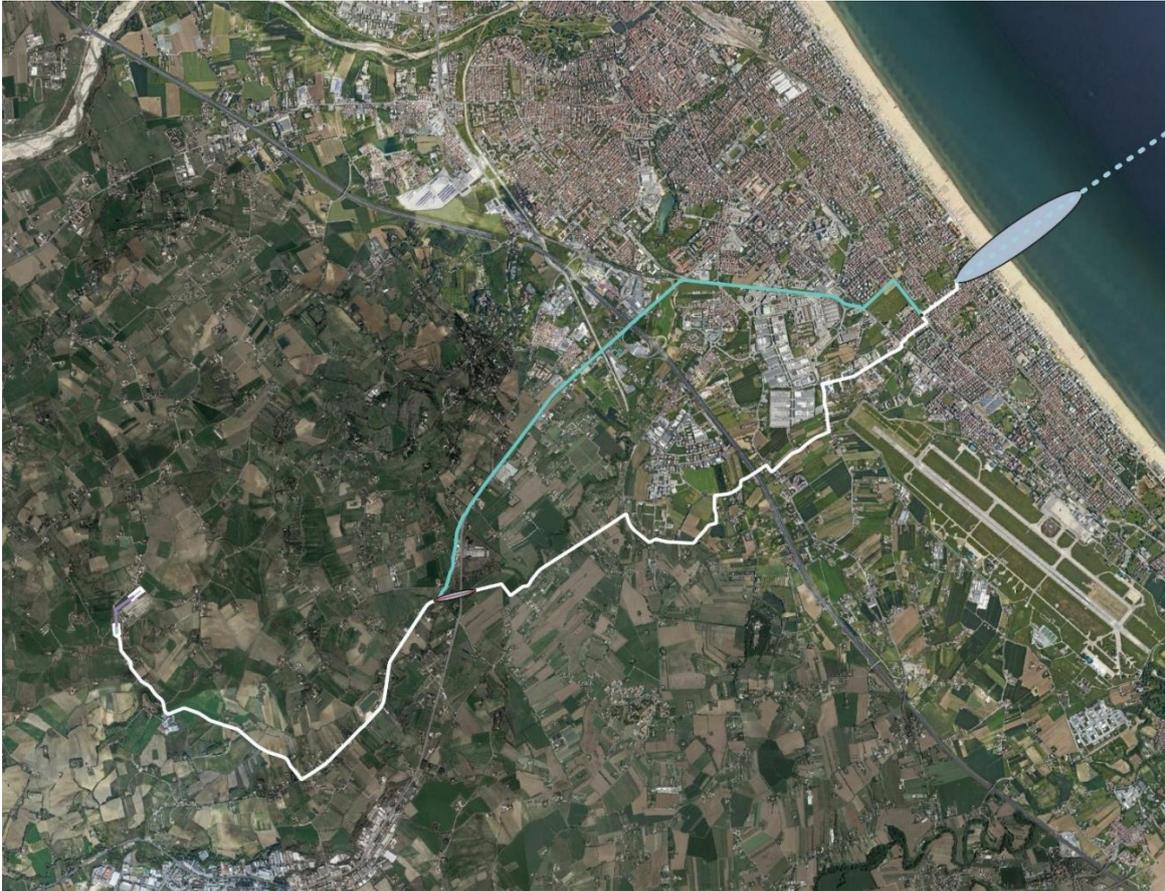


Figura 2.3 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area dove si intende effettuare la costruzione del parco si trova nel braccio di mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica.

La zona prescelta per il parco eolico ha un profilo batimetrico regolare con profondità comprese tra circa 20 e 45 metri. Le profondità non sono così elevate e permettono di utilizzare la tecnologia di fondazione a pali fissi.

Il layout A è situato ad est dalla costa Romagnola ad una distanza minima di circa 13km dalla costa riminese e a una distanza minima di 11,2 km dal Parco Naturale del San Bartolo.

Il layout B invece è situato ad una distanza minima maggiore (18.5km circa) dalla costa riminese.

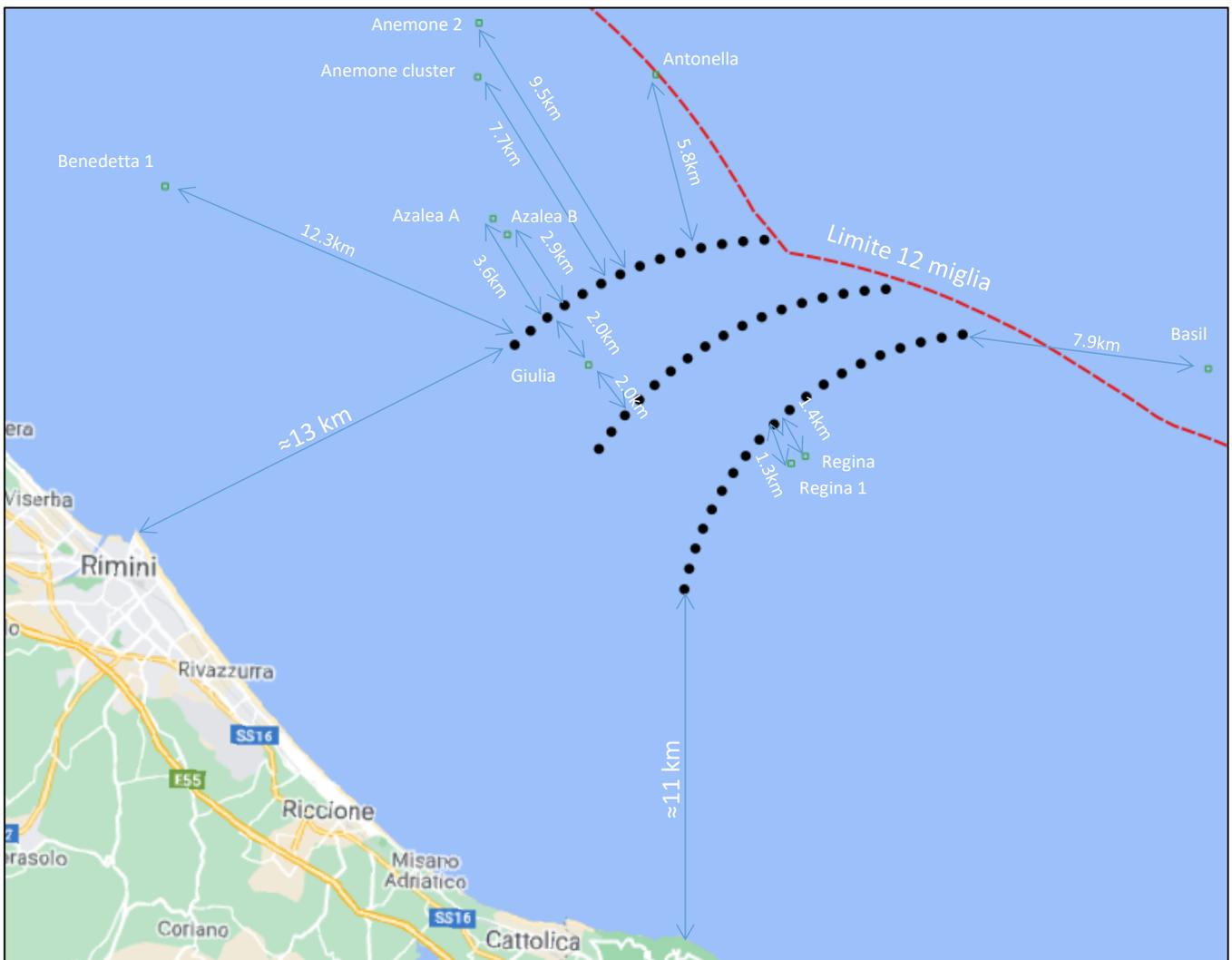


Figura 3.1 – Inquadramento geografico layout A

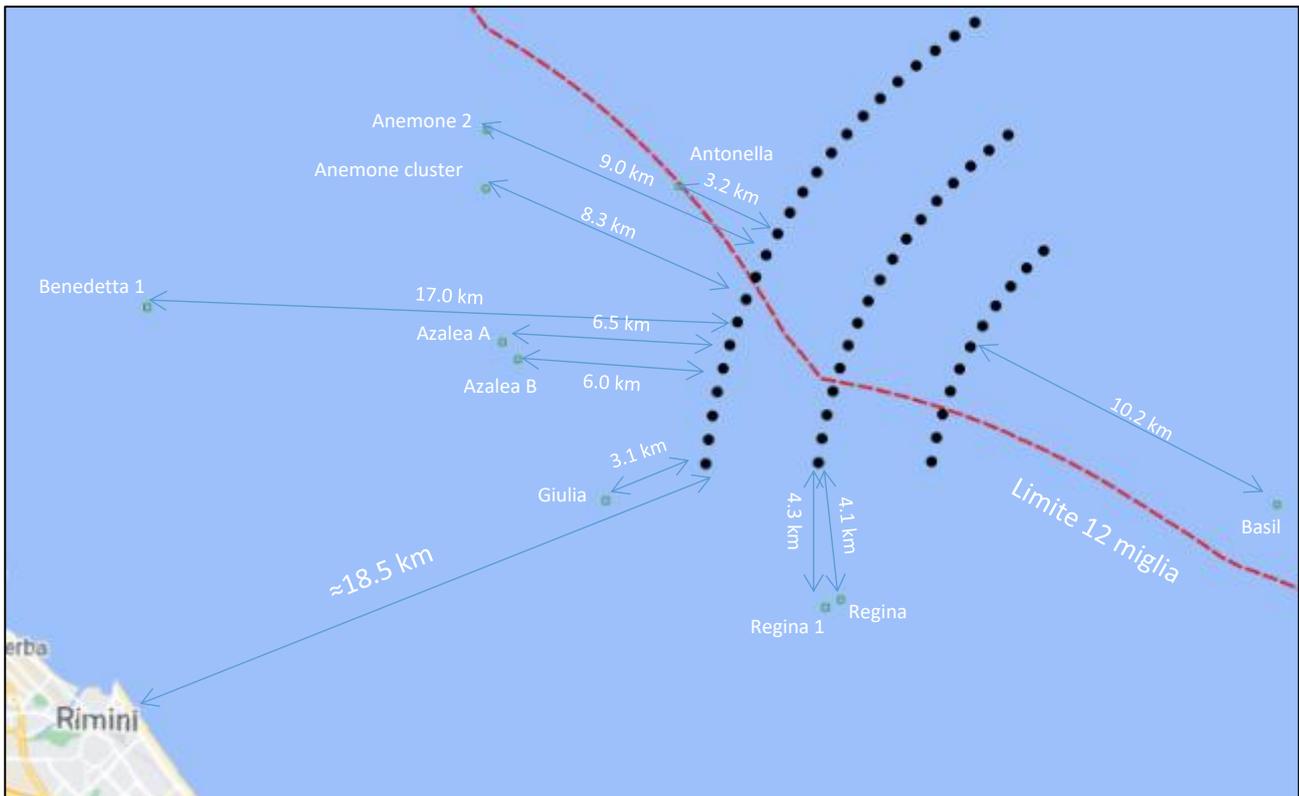


Figura 3.2 – Inquadramento geografico layout B

Nella Figura 3.1 e Figura 3.2 vengono anche riportate le distanze tra gli aerogeneratori e i ricettori più prossimi, ovvero le piattaforme a mare.

Per quanto riguarda il layout A la piattaforma più vicina è distante 1.3km (piattaforma Regina), mentre per il layout B la piattaforma più vicina è a 3.1km (piattaforma Giulia).



Figura 3.3 – simulazione della centrale eolica off-shore "Rimini" _ LAYOUT B e stazione elettrica marina

4 DATI TECNICI DEGLI AEROGENERATORI

L'impianto sarà costituito da 51 aerogeneratori.

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è il modello MySE6.45-180 WTGs. Ciascun aerogeneratore sarà tripala ad asse orizzontale costituito da una torre tubolare metallica a tronco di cono alta 111m e con un diametro di base di circa 7.5m. L'altezza della turbina viene incrementata a 119m grazie al transition piece. In cima alla torre troverà alloggio la navicella cui è collegato il rotore di diametro pari a 178m, per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 208m (TIP).



Figura 4.1 – MySE6.45-180 WTGS

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche geometriche e tecniche:

No.	Main component	Packing size (m) L×W×H	Weight (t)	Center of mass
1	Main frame assembly	10.36×5.478×9.207	247	X=-2.484 Y=0 Z=2.905
2	Hub assembly	6.333x5.764x6.111	92	X=0.237 Y=0 Z=0.034
3	Blade	86.5	3X31±3%	X=25.82

Tabella 4.1 – Principali caratteristiche dell'aerogeneratore MingYang MySE6.45-180

No.	Component	Unit	Technical parameter
1	General parameter		
1.1	Manufacturer/model		Ming Yang Smart Energy Group Limited /MySE6.45-180
1.2	Rated power	kW	6450
1.3	Rotor diameter	m	178
1.4	Cut-in wind speed	m/s	3
1.5	Design annual average wind speed	m/s	9
1.6	Turbulence intensity		0.14
1.7	Static rated power	m/s	10.5 (standard air density)
1.8	Cut-out wind speed (average within 10min)	m/s	25 (soft cut-out 28)
1.9	Hub height	m	111
1.10	Extreme (survival) wind speed (maximum within 3s)	m/s	77.28
1.11	Design service life	year	25
2	Blade		
2.1	Blade material		Reinforced glass fiber
2.2	Blade tip linear velocity	m/s	100.6
3	Gearbox		
3.1	Number of gear stage		2
3.2	Gear drive ratio		1: 23.187
3.3	Rated torque	kNm	6366.7 (input)
4	Generator		
4.1	Rated power	kW	7000
4.2	Rated voltage	V	710
4.3	Rated power factor		-0.95C
4.4	Insulation class		H/F
5	Converter		
5.1	Apparent power	kVA	6750
5.2	Rated output voltage	V	690
5.3	Rated output current	A	5648
5.4	Output frequency range:	Hz	50±2.5
5.5	Protection class		IP54
5.6	Cooling method		Water cooling
6	Braking system		
6.1	Main braking system		Independent pitch braking
6.2	Secondary braking system		Hydraulic disc brake
7	Yaw system		
7.1	Control		Active type
7.2	Yaw control speed	°/s	0.293
8	Lightning protection		
8.1	Lightning protection design standard		IEC61400-24 I
8.2	Grounding resistance of turbine	Ω	≤4
9	Weight		
9.1	Nacelle (including generator and gearbox)	kg	24600
9.2	Generator	kg	51000
9.3	Gearbox	kg	76000
9.4	Blades (1 set)	kg	3×31000±3%
9.5	Hub system	kg	92000

Tabella 4.2 – Principali caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore MingYang MySE6.45-180

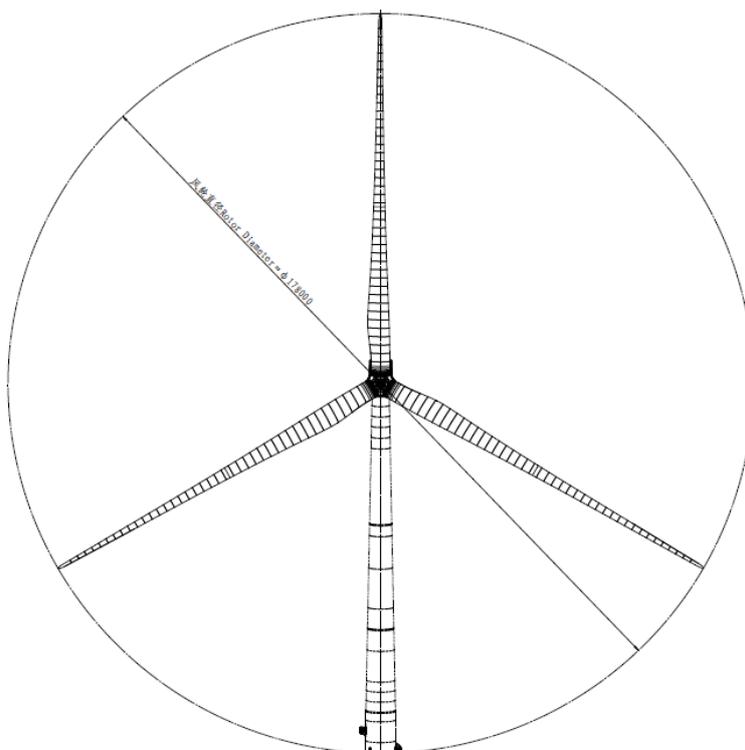


Figura 4.2 – Rotore della turbina

La Tabella 4.3 riassume le principali caratteristiche della turbina :

Altezza della turbina [m]	119
Max Giri al minuto [rpm]	12.3
Diametro del rotore [m]	178
Lunghezza delle pale [m]	86.5

Tabella 4.3 – Caratteristiche principali della turbina

COMPONENTE		[TONS]
ROTORE (Hub system + pale x3)		184
NAVICELLA		247
TORRE		929
ELEMENTO DI TRANSIZIONE		310
GROUT (CEMENTO PER EL. TRANSIZIONE)		74
MONOPALO	Length min (WD 14m) = 66 m	990
	Length max (WD 44m) = 96 m	1440
TOTALE min		2734
TOTALE max		3184

Tabella 2 Pesì e dimensioni singole componenti turbine eolica MySE6.45-180 WTGS (monopalo e pezzo di transizione escluso)

5 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FASI DI CANTIERE A MARE

Prima dell'inizio delle fasi di cantiere a mare, si procederà alla bonifica delle aree di intervento da eventuali ordigni bellici, verrà inoltre effettuata una prospezione archeologica subacquea a cura di personale tecnico-scientifico archeologo e verranno realizzate indagini strumentali, anche di natura gravimetrica (magnetometro), nelle aree di intervento, comprese le aree interessate dalla posa dei cavi marini 66 kV e dal cavidotto marino di export 380 kV, al fine di individuare eventuali relitti o reperti, come prescritto dalla Soprintendenza del Mare di Rimini – Servizio per i Beni Archeologici.

Nel caso in cui venga rilevata la presenza di relitti o reperti, verrà informata la Soprintendenza del Mare di Rimini, che procederà alla loro identificazione e all'eventuale estrazione dai fondali.

Le opere a mare relative alle fasi di costruzione del parco eolico comprendono l'installazione e la messa in opera degli aerogeneratori, comprensivi del monopalo di fondazione, e la predisposizione dei collegamenti elettrici necessari al trasporto dell'energia elettrica da essi prodotta alla costa romagnola. Le operazioni necessarie all'installazione delle fondazioni potranno procedere parallelamente alle operazioni di posa dei cavi elettrici e di installazione della sottostazione elettrica offshore; le attività di installazione degli aerogeneratori avranno inizio una volta completata l'installazione delle relative fondazioni.

Nei paragrafi successivi verranno analizzate nel dettaglio alcune fasi precedentemente elencate.

5.1 Individuazione dell'area di stoccaggio a terra

Al momento non sono confermati i fornitori delle strutture e dei vari componenti del parco eolico, ma viene considerato, ad eccezione dei cavi che andranno caricati con i mezzi di installazione direttamente nello stabilimento di fabbricazione, che i vari componenti (turbine, torre, monopali e pezzi di transizione) vengano fabbricati altrove e poi verranno trasportati e stoccati in area adeguata e vicino al parco. Di conseguenza i mezzi di installazione andranno direttamente nell'area di stoccaggio per prelevare i componenti e installarli a mare minimizzando gli stand-by.

Quindi per le attività a mare verrà predisposta un'area di stoccaggio a terra, in corrispondenza di un'area portuale adeguatamente attrezzata per attività di carico/scarico merci. Come idoneo è stato considerato il porto industriale di Ravenna.

Tale area dovrà avere caratteristiche di spazio, profondità fondali, utilizzo di gru e carriponte, al fine di garantire lo scarico delle singole parti, l'assemblaggio di assiemi, secondo il cronoprogramma in sezione 7.

In attesa di dati definitivi da parte dei fornitori delle pale, tali macchinari dovranno essere aditi al sollevamento e alla movimentazione di almeno 1500 ton (statico senza amplificazione dinamica).

Sulla base di tali considerazioni, dovrà essere valutata la possibilità di affittare e installare delle gru adeguate per mobilitare i vari componenti dell'aerogeneratore.

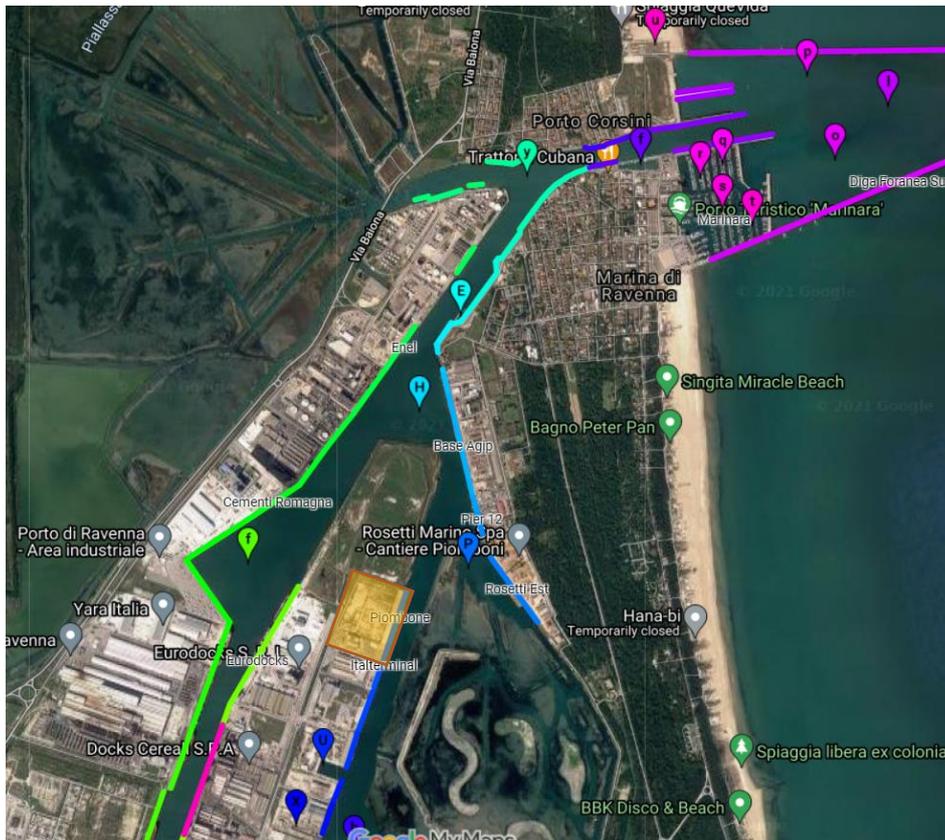


Figura 5-1 Possibile area adibita a deposito merci, area Canale PIOMBONE

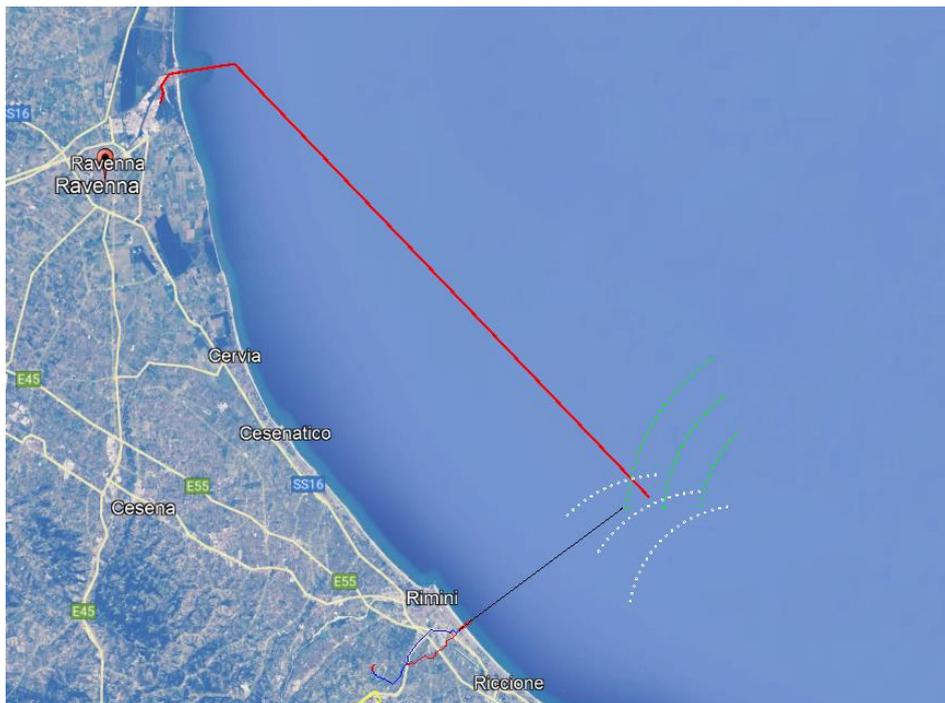


Figura 5-2 Tragitto mezzi per andare nel campo eolico (circa 63 km)

La superficie di tale area dovrà essere di almeno 100.000 m², in grado da garantire lo stoccaggio dei monopali, dei pezzi di transizione, della torre, delle navicelle e delle pale.

Si assume che l'area investigata sia solo di stoccaggio e che la fabbricazione venga fatta altrove dai rispettivi fornitori.

Di seguito si riporta un esempio di organizzazione dell'area di stoccaggio merci, prendendo come riferimento le dimensioni della banchina del Canale Piombone interna al Porto industriale di Ravenna. Considerazioni più dettagliate andranno demandate una volta confermati gli installatori e i vari fornitori nonché confermata dalla Capitaneria di Porto di Ravenna l'accessibilità e l'idoneità all'area.

L'approccio tiene in considerazione il fatto che la turbina eolica non viene montata a terra e poi trasportata intera verso il sito (in questo caso converrebbe stoccare tutte le componenti per l'assemblaggio di un aerogeneratore), bensì i componenti vengono installati in mare con la seguente sequenza:

- 1) Preparazione del fondo marino nel punto previsto per l'installazione (se necessario);
- 2) Trasporto delle componenti del monopalo;
- 3) Affondamento per battitura del monopalo nel fondale marino;
- 4) installazione dell'elemento di transizione fondazione;
- 5) Installazione della torre;
- 6) Installazione della navicella;
- 7) Installazione delle pale.

Ciò permette di stoccare nell'area a terra di volta in volta componenti differenti e di ottimizzare l'area di magazzino alle caratteristiche del pezzo.



Figura 5-3 Ipotesi di stoccaggio di monopali (stimata con la lunghezza massima pari a 96m)



Figura 5-4 Ipotesi di stoccaggio di giunti di transizione



Figura 5-5 Ipotesi di stoccaggio di navicella



Figura 5-6 Ipotesi di stoccaggio della torre

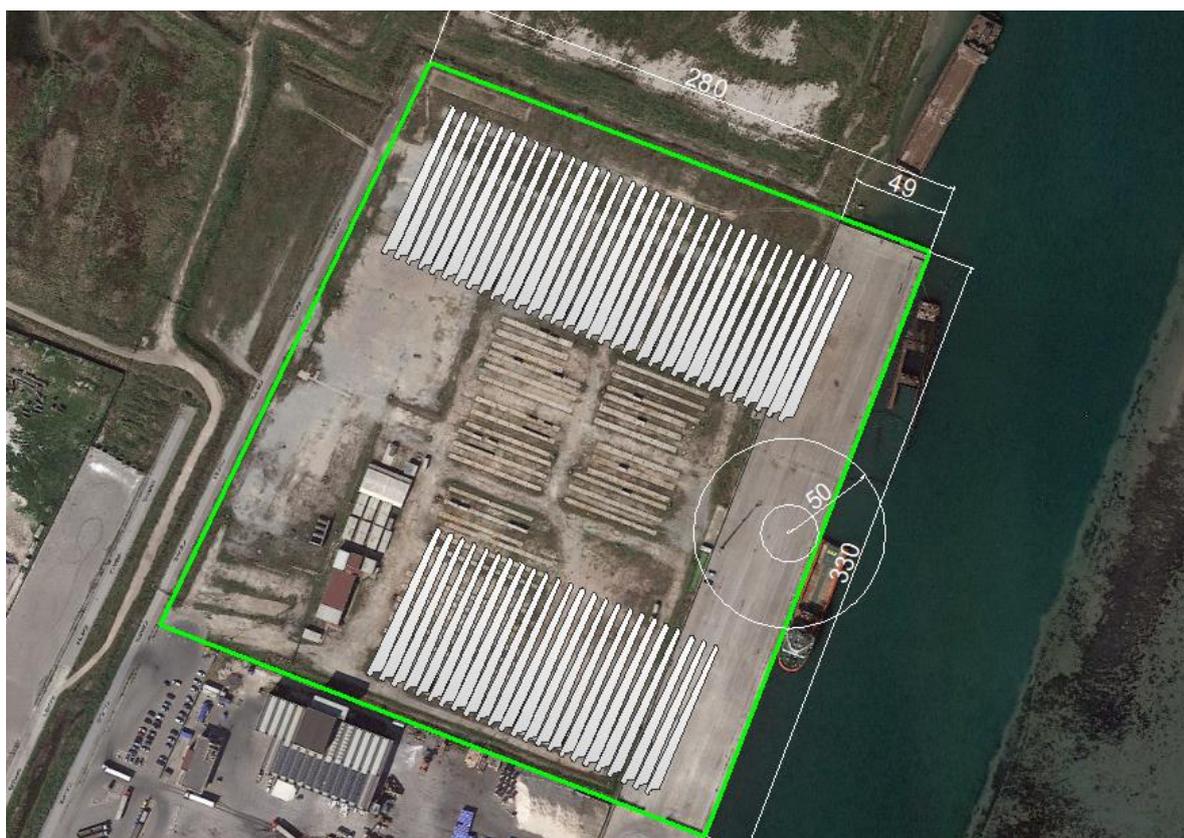


Figura 5-7 Ipotesi di stoccaggio della pale

In base alle ipotesi e all'ottimizzazione dell'area di cantiere a terra, rappresentata dalle figure soprastanti, si evince che sia possibile stoccare a terra:

- 30 monopali;
- 51 (tutti) i giunti di transizione;
- 51 (tutti) le navicelle;
- 36 torri
- 59 pale.

Dall'organizzazione dell'area di stoccaggio proposta si evince che la fornitura e lo stoccaggio dei monopali, delle torri e delle pale dovrà essere fasata al fine di non eccedere la capienza dell'area proposta, ma soprattutto di evitare stand by dei mezzi di installazione.

In alternativa dovrà essere identificata un'area di maggiore superficie.

Relativamente alle pale si può valutare l'ottimizzazione dello stoccaggio in rack tramite strutture apposite.

5.2 Trasporto delle componenti dall'area di stoccaggio al sito

L'installazione prevede l'utilizzo di una nave (vessel) che stazionerà nell'area marina del sito, mentre una seconda nave trasporterà le componenti dall'area di stoccaggio a terra fino al sito stesso.

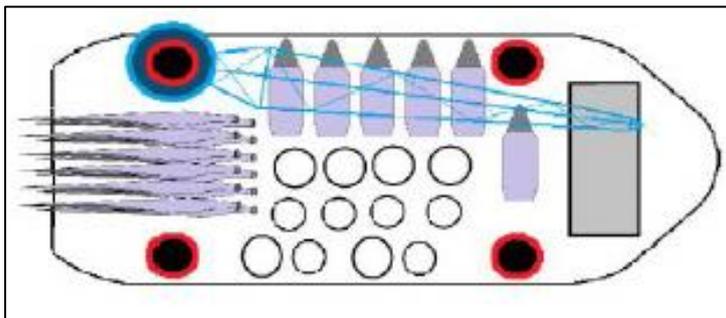


Figura 5-8 Esempio di stoccaggio componenti turbina eolica su nave (Fonte, Ref./a11/)

Considerando una velocità di crociera della nave in mare aperto 12 nodi (22km/h). Con queste assunzioni, il tempo stimato per il trasporto delle componenti (viaggio di sola andata) è di circa 3h, a cui vanno aggiunti i tempi necessari per effettuare in sequenza le operazioni seguenti:

CARICAMENTO
Aggancio pezzo
preparazione al sollevamento
sollevamento
spostamento orizzontale
calo del pezzo sulla nave
messa in sicurezza
sgancio pezzo

Tabella 5.1 – Sequenza di caricamento componenti su nave

VIAGGIO PER TRASPORTO COMPONENTI
caricamento su nave
disormeggio nave
uscita dal porto
viaggio
ormeggio
scaricamento componente su vessel di installazione
disormeggio nave
viaggio verso porto
entrata in porto
ormeggio

Tabella 5.2 – Sequenza di trasporto (andata/ritorno) da porto al sito di installazione

Inoltre, vanno considerati e stimati in aggiunta i tempi relativi a eventuali ritardi dovuti al maltempo, alla logistica, a difficoltà di manovre.

In accordo alla sezione 7 sono stati stimati i seguenti tempo medi per gli aerogeneratori:

- 1) Installazione Monopali: 1.25/giorno;
- 2) Installazione giunti transizione: 1.25/giorno;
- 3) Torre, nacella e pale: 0.3/giorno.

E' da sottolineare infine che tali considerazioni andranno verificate e confermate con gli armatori delle navi scelte.

5.3 Installazione delle Fondazioni degli Aerogeneratori

Nelle fasi preliminari sarà posizionato, nell'area in cui è prevista la costruzione del parco eolico, un pontone (jack-up barge), costituito da una piattaforma a sollevamento idraulico su cui sono installate una o due gru per l'elevazione. La piattaforma è saldamente poggiata al fondale marino tramite quattro o sei colonne di sostegno. Innalzandosi sopra la superficie dell'acqua, fornisce una piattaforma di lavoro. Tramite questa struttura saranno erette tutte le unità.

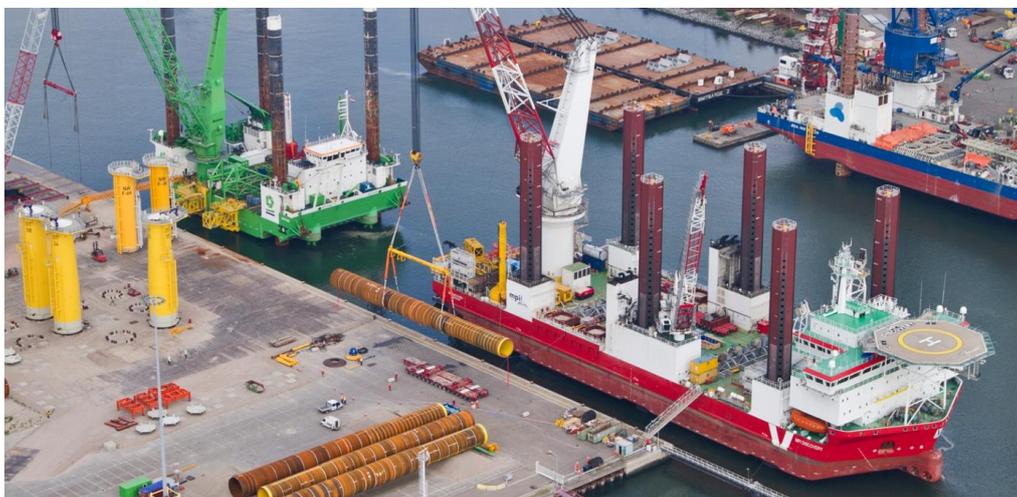


Figura 5-9 Esempi di movimentazione, sollevamento di monopali per offshore

Prima dell'arrivo in situ di ciascuna fondazione, verrà predisposto il fondale: se necessario si procederà alla "pulizia" del fondale mediante asportazione di eventuali detriti. Le strutture di fondazione, previste in acciaio, saranno interamente assemblate dalla ditta costruttrice e da essa periodicamente trasportate via mare, tramite chiatte, dall'officina di produzione all'area di stoccaggio a terra individuata in prossimità del porto prescelto come base per le operazioni di cantiere offshore.

Dall'area di stoccaggio verranno successivamente trasportate in situ mediante chiatte (vedi figura seguente), ove, ad opera di un pontone galleggiante dotato di gru, verranno sollevate e infisse nel terreno. Il corretto posizionamento avviene attraverso il simultaneo impiego della gru di cui è equipaggiato il pontone e del martello idraulico in dotazione al jack-up barge.



Figura 5-10 Esempio di installazione di un monopalo offshore e del tronchetto di transizione (Fonte: Seaway Heavy Lifting, Ref/a8/)

Di seguito viene riportato il calcolo preliminare della battitura del monopalo di fondazione dell'aerogeneratore:

Depth m	Rut kN	Rshaft kN	Rtoe kN	Blow Ct bl/m	Mx C-Str. MPa	Mx T-Str. MPa	Stroke m	ENTHRU kJ	Hammer -
2.0	84.6	2.3	82.4	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
4.0	173.8	9.1	164.7	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
6.0	267.6	20.5	247.1	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
8.0	365.9	36.4	329.4	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
10.0	6,682.1	232.3	6,449.7	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
12.0	13,171.3	764.6	12,406.8	0.0	0.00	0.00	2.03	0.0	S-5500
14.0	19,996.9	1,633.0	18,363.9	12.4	165.14	117.93	2.03	5,051.4	S-5500
16.0	69,493.3	2,991.2	66,502.1	36.7	165.14	40.63	2.03	5,115.7	S-5500
18.0	87,690.0	4,899.2	82,790.8	46.2	165.22	20.74	2.03	5,076.3	S-5500
20.0	106,303.1	7,223.5	99,079.6	53.1	171.89	17.37	2.03	5,050.1	S-5500
22.0	125,332.5	9,964.2	115,368.3	60.9	182.51	20.60	2.03	5,051.8	S-5500
24.0	144,778.3	13,121.2	131,657.1	69.8	192.02	26.50	2.03	5,052.1	S-5500
26.0	164,640.4	16,694.5	147,945.9	80.1	200.37	33.68	2.03	5,054.4	S-5500
28.0	184,918.8	20,684.2	164,234.6	92.1	207.64	39.21	2.03	5,054.6	S-5500
30.0	205,613.6	25,090.2	180,523.4	106.3	214.18	42.58	2.03	5,056.1	S-5500
32.0	226,724.7	29,912.6	196,812.1	123.3	220.42	46.82	2.03	5,055.6	S-5500
34.0	248,252.2	35,151.3	213,100.9	143.8	225.70	50.58	2.03	5,057.1	S-5500
36.0	270,196.0	40,806.4	229,389.6	169.1	229.76	53.84	2.03	5,056.9	S-5500
38.0	292,556.2	46,877.8	245,678.4	201.0	232.70	56.47	2.03	5,057.6	S-5500
40.0	315,332.7	53,365.5	261,967.2	242.3	235.89	58.17	2.03	5,058.3	S-5500
42.0	338,525.5	60,269.6	278,255.9	297.5	237.83	58.71	2.03	5,058.9	S-5500
44.0	362,134.7	67,590.0	294,544.7	374.7	238.39	58.24	2.03	5,058.3	S-5500
46.0	386,160.2	75,326.8	310,833.4	488.4	238.57	57.24	2.03	5,058.9	S-5500
48.0	410,602.1	83,479.9	327,122.2	669.7	238.05	55.43	2.03	5,059.4	S-5500

Total Number of Blows: 5865 (starting at penetration 2.0 m)

Driving Time(min): 195 146 117 97 83 73 65 58 53 48

@Blow Rate: 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Driving Time for continuously running hammer; any wait time not included.

Figura 5.11 – Fondazioni aerogeneratori - Conteggio dei colpi e tempo di battitura

Dai calcoli si evince che, con il martello scelto (5500 kJ) e date le condizioni geotecniche, è possibile infiggere il palo in meno di 3 ore e lo stress indotto rientra nei limiti di accettabilità.

Si procederà in ultimo all'inserimento degli elementi di transizione fondazione/torre, trasportati in situ tramite chiatte e sollevate dalla gru in dotazione al jack-up barge.



Figura 5-12 Esempio di installazione di un giunto di transizione per fondazione a monopalo (Fonte Ref. /a8/)

La funzione del giunto di transizione è quella di livellare le imprecisioni orizzontali che possono verificarsi a seguito dell'installazione della fondazione. I pezzi di transizione attraversano la maggior parte della colonna d'acqua ma non poggiano sul fondo del mare. Per le fondazioni monopalo, lo spazio tra il palo e il pezzo di transizione è normalmente riempito con boiaccia cementizia.

Infine verrà depositato, tramite specifico mezzo di installazione equipaggiato di condotta di eiezione, la ghiaia necessaria a proteggere il monopalo dalle azioni erosive dell'onda e della corrente (scouring).

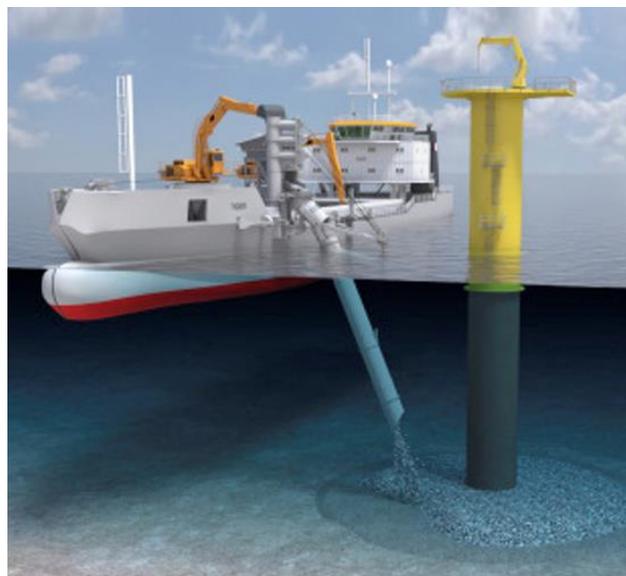


Figura 5-13 Esempio di installazione di protezione da scouring del monopalo

5.4 Fasi di assemblaggio degli Aerogeneratori

Installazione degli aerogeneratori:

Concordemente alla letteratura e ad altro progetti simili, sono possibili due tipologie di assemblaggio degli aerogeneratori:

- 1) Assemblaggio da effettuare nell'area di stoccaggio a terra: le pale vengono unite al mozzo, poi l'assieme viene trasportato da una chiatte e unito in mare alla navicella, già montata sulla torre.



Figura 5-14 Esempio di installazione Rotor Star

E' una modalità che permette di minimizzare il tempo di impiego della nave per l'installazione, tuttavia richiede grossi spazi di cantiere a terra e dei canali di navigazione fino all'uscita del porto molto larghi, in quanto l'ingombro laterale della chiatte è pari alla larghezza del rotore assemblato e ciò potrebbe comportare limitazioni al traffico marittimo del porto in questione.

- 2) Assemblaggio da effettuare completamente a mare: rotore e pale vengono singolarmente assemblati a mare direttamente sulla navicella.

Con questa modalità si massimizzano le capacità di stoccaggio e movimentazione merci sia all'interno dell'area presa in gestione sulla banchina, sia il trasporto delle componenti fino al luogo di assemblaggio. Di contro si allungano i tempi di assemblaggio in mare, tempi che, con le moderne tecniche e navi possono essere ridotti e ottimizzati. E' questa l'ipotesi che viene considerata nei successivi paragrafi.



Figura 5-15 Esempio di trasporto ed installazione componenti aerogeneratori (progetto Gemini, Van Oord)

Viste le premesse tecniche sopra riportate, l'installazione degli aerogeneratori seguirà le seguenti fase:

- Trasporto e installazione della torre, della navicella e delle pale;
- Assemblaggio della navicella sull'elemento di transizione;
- Assemblaggio del rotore e montaggio delle pale.

5.5 Installazione degli Aerogeneratori

I componenti degli aerogeneratori verranno inizialmente trasportati smontati dalla fabbrica della casa costruttrice alla base di stoccaggio a terra. Da qui una volta completata l'installazione delle relative fondazioni, i successivi pezzi verranno caricati su chiatte e trasportati in situ per l'assemblaggio, ad opera della jack-up barge prescelta per le fasi di cantiere a mare.

La gru per sollevamenti pesanti di cui è dotato il pontone (heavy lift vessel) prescelto per le operazioni a mare provvederà all'assemblaggio dei tronconi di cui è composta la torre e successivamente all'installazione della navicella (vedi figura seguente).



Figura 5-16 Pontone durante l'assemblaggio di una navicella

Le pale del rotore saranno trasportate in situ su apposita chiatta (come illustrato in figura) o sulla medesima chiatta utilizzata per le altre componenti dell'aerogeneratore (torre e navicella).



Figura 5-17 Esempio di trasporto di pale di turbine tramite chiatta (Fonte: Breakbulk Project Cargo)

Tramite l'ausilio di gru per il sollevamento e l'allineamento, il rotore verrà infine montato sulla navicella.



Figura 5-18 Installazione delle pale del rotore su Aerogeneratore

5.6 Stazione Elettrica di Trasformazione (SET)

La stazione elettrica di trasformazione (SET) è una struttura offshore costituita da un jacket convenzionale di 4 gambe controventate e un topside che conterrà l'equipaggiamento elettrico di trasformazione 66/380 kV, le reattanze e tutti gli annessi necessari al funzionamento.

Il jacket, che ha funzione strutturale di sostenere il topside e i j-tube per i cavi, verrà realizzato in cantiere a terra per essere poi trasportato tramite pontone e installato da navi attrezzate per sollevamento pesante HLV (heavy lifting vessels) nella posizione finale.

Il jacket sarà quindi consegnato tramite una chiatta da carico, che sarà ormeggiata in affiancamento alla nave di sollevamento.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali strutturali della SET.

JACKET

- Gambe: 4 piloni 183.8 cm x 5.5 cm Carbon Steel 355;
- Fondazione temporanea per installazione: mudmat Carbon Steel 355;
- Fondazione permanente: 4 pali 167.5 x 4.4 Carbon Steel 355;
- La struttura sarà protetta dalla corrosione tramite opportuna verniciatura e tramite protezione catodica passiva (anodi sacrificali) opportunamente dimensionati.

TOPSIDE

- 3 Decks portanti: Cellar Deck quota 15 m, Main Deck quota 19 m e Cover e Helideck quota 32 m;
- Il cellar deck e il main deck sono ravvicinati tra loro e collegati tramite pilastri e controventi di irrigidimento;
- Il cellar deck ospiterà: serbatoi olio e passaggio cavi;
- Sul main deck verranno posizionati i dispositivi principali quali: reattori, trasformatori, dispositivi elettronici;
- Strutture secondarie:
 - Sul main deck verranno realizzate anche zone uffici e spazi dedicati ai visitatori, disposti su più livelli che verranno sostenuti tramite un telaio strutturale in acciaio;
 - La scala di accesso verrà sostenuta tramite telaio in acciaio appeso al cellar deck, e continuerà fino alla copertura collegando di fatto tutte le elevazioni, dalla superficie marina all'helideck.

Un telaio perimetrale sosterrà la cover di protezione, delle passerelle di manutenzione e relative scalette di collegamento.

Di seguito sono riportate le principali fasi dell'installazione della sottostazione elettrica (SET).

Prima dell'installazione del jacket, viene eseguita, se necessario, la pulizia o rimozione oggetti dal del fondale per garantire la corretta installazione e successivo livellamento.

Il jacket sarà trasportato al sito di cantiere tramite una chiatta da carico (su cui sarà disposto verticalmente o orizzontalmente), che sarà ormeggiata affiancata alla nave di sollevamento HLV (heavy lift vessel).



Figura 5-19 Trasporto del Jacket nel campo con chiatta

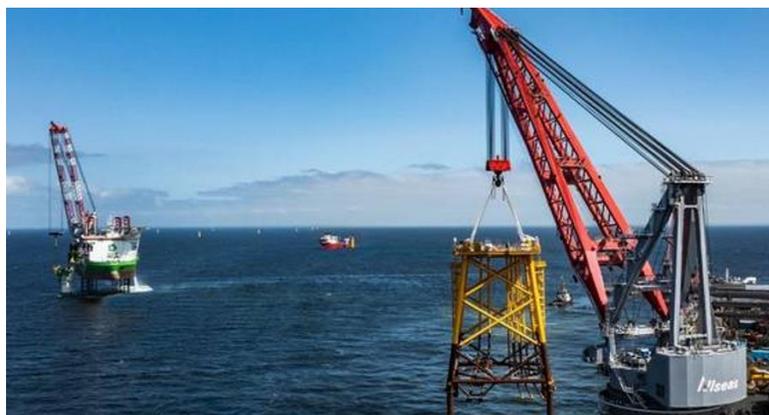
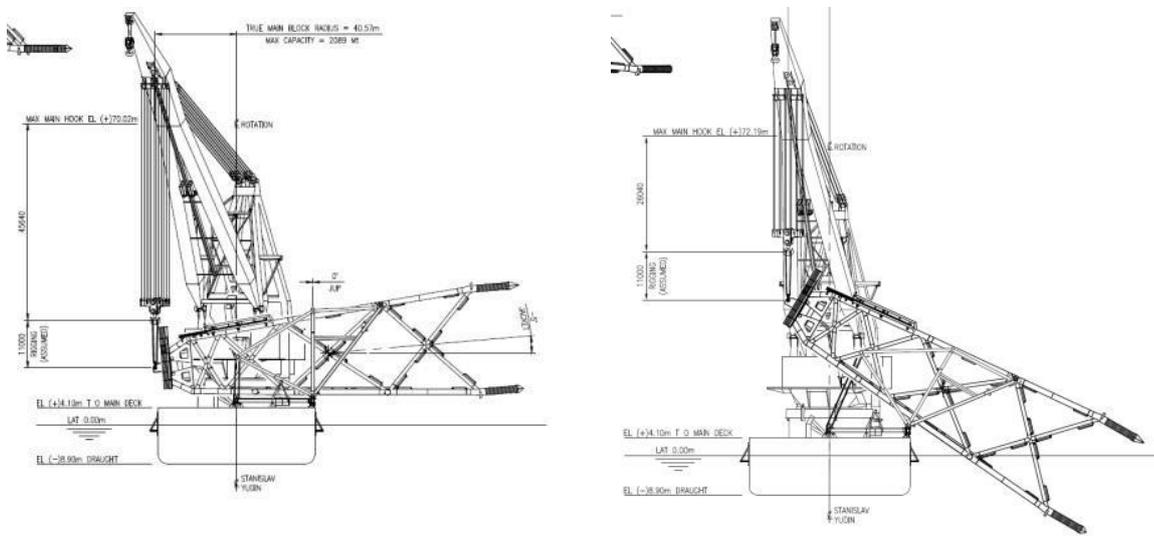


Figura 5-20 Installazione: Jacket lifting and lowering

L'HLV solleverà quindi il jacket per poi posizionarlo nel fondale una volta smobilitata la chiatta di supporto; una volta posato sul fondale, il jacket sarà sostenuto temporaneamente dai 4 mudmat posizionati ai piedi delle gambe, all'interno delle quali verranno battuti i pali di fondazione.

I pali di fondazione sono consegnati alla nave installazione HLV tramite chiatta da carico. La chiatta da carico è ormeggiata lungo l'HLV e le quattro pile vengono sollevate ciascuna e trasferite sul ponte dell'HLV. La chiatta da carico viene quindi disancorata e parte. Le operazioni di palificazione saranno condotte da una sola nave di palificazione.

Ciascuno dei quattro pali viene quindi sollevato, capovolto e abbassato pronto per l'operazione di battitura. Ogni palo viene tipicamente battuto fino alla penetrazione nominale o fino al rifiuto (a seconda di quale evento si verifica per prima), prima che il palo successivo venga sollevato.

Di seguito viene riportato il sommario del calcolo di battitura dei pali della SET:

Depth m	Rut kN	Rshaft kN	Rtoe kN	Blow Ct bl/m	Mx C-Str. MPa	Mx T-Str. MPa	Stroke m	ENTHRU kJ	Hammer -
50.0	36,522.4	19,393.8	17,128.6	19.8	261.24	43.63	2.03	4,985.9	S-5500
51.0	37,862.9	20,328.1	17,534.8	21.2	261.08	47.11	2.03	4,982.8	S-5500
52.0	39,225.3	21,284.2	17,941.0	22.7	260.93	50.18	2.03	4,979.4	S-5500
53.0	40,609.5	22,262.3	18,347.2	24.4	260.78	54.16	2.03	4,976.0	S-5500
54.0	42,015.7	23,262.2	18,753.5	26.3	260.60	64.22	2.03	4,973.3	S-5500
55.0	43,443.8	24,284.1	19,159.7	28.5	260.43	65.61	2.03	4,979.1	S-5500
56.0	44,893.7	25,327.8	19,565.9	30.8	260.26	66.47	2.03	4,984.4	S-5500
57.0	46,365.6	26,393.5	19,972.1	33.4	260.06	66.91	2.03	4,989.2	S-5500
58.0	47,858.7	27,480.4	20,378.4	36.2	259.87	67.45	2.03	4,993.4	S-5500
59.0	49,360.8	28,576.2	20,784.6	39.4	259.67	67.34	2.03	4,997.2	S-5500
60.0	50,862.9	29,672.0	21,190.8	42.8	259.47	66.88	2.03	5,000.5	S-5500
61.0	52,364.9	30,767.9	21,597.0	46.6	259.25	66.42	2.03	5,003.2	S-5500
62.0	53,867.0	31,863.7	22,003.3	50.7	259.04	66.17	2.03	5,005.4	S-5500
63.0	55,369.1	32,959.6	22,409.5	55.3	258.81	65.63	2.03	5,007.2	S-5500
64.0	56,871.1	34,055.4	22,815.7	60.2	258.57	65.48	2.03	5,008.4	S-5500
65.0	58,373.2	35,151.3	23,221.9	65.5	258.34	65.68	2.03	5,009.1	S-5500
66.0	59,875.3	36,247.1	23,628.1	70.0	258.08	66.28	2.03	5,009.3	S-5500
67.0	61,377.3	37,343.0	24,034.4	75.1	257.82	66.18	2.03	5,009.0	S-5500
68.0	62,879.4	38,438.8	24,440.6	80.8	257.55	65.76	2.03	5,008.1	S-5500
69.0	64,381.5	39,534.7	24,846.8	87.3	257.25	65.16	2.03	5,006.8	S-5500
70.0	65,883.6	40,630.5	25,253.0	94.7	256.97	64.24	2.03	5,004.9	S-5500
71.0	67,385.6	41,726.4	25,659.3	103.3	256.66	63.02	2.03	5,002.5	S-5500
72.0	68,887.7	42,822.2	26,065.5	113.4	256.34	62.07	2.03	4,999.6	S-5500
73.0	70,389.8	43,918.1	26,471.7	125.3	256.24	60.92	2.03	4,996.2	S-5500
74.0	71,891.8	45,013.9	26,877.9	139.1	258.26	59.73	2.03	4,992.3	S-5500
75.0	73,393.9	46,109.7	27,284.2	155.5	260.06	58.64	2.03	4,987.9	S-5500
76.0	74,896.0	47,205.6	27,690.4	176.1	261.74	57.77	2.03	4,983.0	S-5500
77.0	76,398.0	48,301.4	28,096.6	202.4	263.40	57.21	2.03	4,977.8	S-5500
78.0	77,900.1	49,397.3	28,502.8	237.4	264.96	56.63	2.03	4,973.3	S-5500
79.0	79,402.2	50,493.1	28,909.1	286.1	266.40	56.14	2.03	4,972.6	S-5500
80.0	80,904.3	51,589.0	29,315.3	357.9	267.92	55.55	2.03	4,972.1	S-5500

Total Number of Blows: 3032 (starting at penetration 1.0 m)

Driving Time(min): 101 75 60 50 43 37 33 30 27 25
 @Blow Rate: 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
 Driving Time for continuously running hammer; any wait time not included.

Figura 5.21 – SET- Conteggio dei colpi e tempi di battitura

Dai risultati sopra riportati si evince che, con il martello scelto (5500 kJ) e considerando le caratteristiche geotecniche sopra riportate, sia possibile infiggere il palo in meno di 3 ore e lo stress del palo è accettabile.

Una volta che tutti e quattro i pali sono stati portati alla profondità di penetrazione finale, viene eseguita la metrologia del palo (le misurazioni per determinare la posizione e la profondità del palo sono soddisfacenti).

Dopodiché il collegamento tra pali e jacket viene reso permanente tramite l'immissione di malta cementizia ad alta resistenza nelle gambe della piattaforma.

La malta verrà miscelata utilizzando acqua dolce a bordo della nave di installazione e conservata in silos per malta pronti per l'uso. La malta viene pompata utilizzando un sistema ad alta pressione attraverso tubi flessibili di mandata della malta ad alta pressione collegati a connettori sulla struttura del jacket e nel giunto tra la lo stesso e il palo di fondazione. La malta polimerizza e indurisce in un periodo di circa 8 ore.

Se necessario verrà posizionata la ghiaia sulle gambe per evitare fenomeni di scouring.

La parte superiore (topside) della Stazione Elettrica, che include trasformatori, reattanze e quadri, sarà assemblata come un'unica unità prima di essere sollevata su una chiatta e trasportata al sito di impianto; ciò garantirà che il sollevamento del modulo sul pezzo di transizione del Jacket richiederà un tempo minimo. Ove possibile, tutte le manovre per le operazioni di sollevamento saranno predisposte prima della spedizione del modulo offshore.

Il sollevamento inizierà utilizzando una nave per carichi pesanti e la parte superiore verrà abbassata sul jacket; si prevede che il topside verrà collegato al jacket tramite connessione saldata; installato il Topside, i cavi elettrici verranno tirati dentro i J-tube tramite verricello collegato con un maniglione sulla testa di tiro del cavo.

Successivamente verranno completate le connessioni con le apparecchiature elettriche all'interno della SET.



Figura 5-22 Installazione Topside

5.7 Operatività Del Cantiere Offshore

Le condizioni atmosferiche sono uno dei parametri più importanti da considerare nel caso di lavori in mare aperto. Durante le fasi di cantiere offshore le condizioni atmosferiche saranno pertanto monitorate costantemente in modo da produrre un bollettino meteorologico locale previsionale dettagliato e sempre aggiornato. Il cantiere procederà tenendo in considerazione l'ipotesi del verificarsi di condizioni atmosferiche difficili e prevedendo, già in fase di programmazione esecutiva dell'attività lavorativa, piani che permettano di adattarsi, in modo rapido e flessibile, alle variazioni delle condizioni meteo-marine.

In linea generale, il periodo utile per il cantiere offshore è compreso tra inizio maggio e fine ottobre. Viceversa, durante i mesi invernali (da inizio novembre a fine aprile), il cantiere potrebbe essere non operativo o più soggetto a stand by in base all'operatività dei mezzi.

In base alle indicazioni fornite dallo studio meteomarinario, è possibile effettuare una valutazione di massima dell'operatività del cantiere. L'altezza d'onda di soglia, al di sopra della quale è necessario sospendere le operazioni di cantiere, dipende dalle caratteristiche del pontone prescelto e dalla tipologia di lavoro considerata. In generale, i limiti di operatività per una jack-up barge impiegata per applicazioni offshore corrispondono ad un'altezza d'onda < 2m e ad una velocità del vento inferiore a 20 m/s.

Confrontando con i dati d'onda in accordo al report meteomarinario (vedi rif. /a13/), risulta un'operatività del 98% dei mezzi di installazione (da confermare in fase di esecuzione).

Tp(s)	Hs (m)													Tot	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5		
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.513	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.513
3.0	31.697	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	31.790
4.0	21.832	6.680	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.571
5.0	6.020	10.454	1.559	0.061	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.097
6.0	1.711	4.928	3.481	0.912	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.121
7.0	1.041	2.065	1.528	1.425	0.692	0.144	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.898
8.0	0.176	0.538	0.504	0.369	0.301	0.227	0.132	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.271
9.0	0.056	0.152	0.110	0.105	0.071	0.029	0.049	0.054	0.017	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.650
10.0	0.000	0.034	0.005	0.010	0.017	0.000	0.007	0.000	0.002	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.086
11.0	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
	63.048	24.946	7.245	2.882	1.173	0.401	0.191	0.078	0.020	0.010	0.007	0.000	0.000	0.000	100.000

Tabella 5-3 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

5.8 Posa dei Cavi Marini

5.8.1 Lavori di preinstallazione

Prima di essere varati, i percorsi dei cavi verificati tramite un'indagine geofisica pre-costruzione per individuare eventuali ostacoli che potrebbero ostacolare la posa dei cavi (ad esempio rocce, relitti, oggetti metallici, ordigni inesplosi). Se viene individuata un'ostruzione, questa verrà valutata e verrà stabilita una strategia appropriata per rimuovere o evitare l'ostruzione. In genere, per eliminare l'ostruzione, viene condotta un'indagine ROV (Remote Operated Vehicle). Laddove si sospetta che l'ostacolo sia un'ordinanza inesplosa (UXO), verrebbe impiegata una mitigazione specialistica per evitare o rendere sicura l'ostruzione.

5.8.2 Metodi di installazione del cavo

Per le attività di posa dei cavi di interconnessione tra aerogeneratori (66 kV) e stazione elettrica su piattaforma marina e dell'elettrodotto marino (380 kV), si prevede di utilizzare una nave posacavi di adeguate dimensioni opportunamente attrezzata.

La nave sarà dotata di tutte le attrezzature necessarie alla movimentazione ed al controllo dei cavi sia durante le fasi di imbarco del cavo che durante la posa. Le operazioni verranno eseguite in stretta collaborazione con le autorità portuali al fine di coordinare i lavori nelle zone soggette a circolazione di natanti.

Come criterio generale, i cavi saranno interrati come forma di protezione da traffico marino e da pesca; ove sono necessari attraversamenti sottomarini di condotte esistenti, va garantito lo stesso livello di protezione dell'interramento.

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

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

La macchina a getti d'acqua si basa sul principio di fluidificare il sedimento superficiale del fondo mediante l'uso di getti d'acqua marina prelevata in sito, getti che vengono usati anche per la propulsione.

La macchina si posa a cavallo del cavo da interrare e mediante l'uso esclusivo di getti d'acqua fluidifica il materiale creando una trincea entro la quale il cavo si adagia: quest'ultimo viene poi ricoperto dallo stesso materiale in sospensione.

Gran parte del materiale movimentato (circa il 60-70%) rimane all'interno della trincea e non può essere disperso nelle immediate zone limitrofe da eventuali correnti sottomarine; successivamente le correnti marine contribuiscono in modo naturale a ricoprire completamente il cavo e quindi a garantire una immobilizzazione totale del cavo e una sua efficace protezione.

Non verranno utilizzati fluidi diversi dall'acqua marina prelevata in sito e il riempimento dello scavo si effettuerà esclusivamente con lo stesso materiale di risulta dello scavo della trincea.

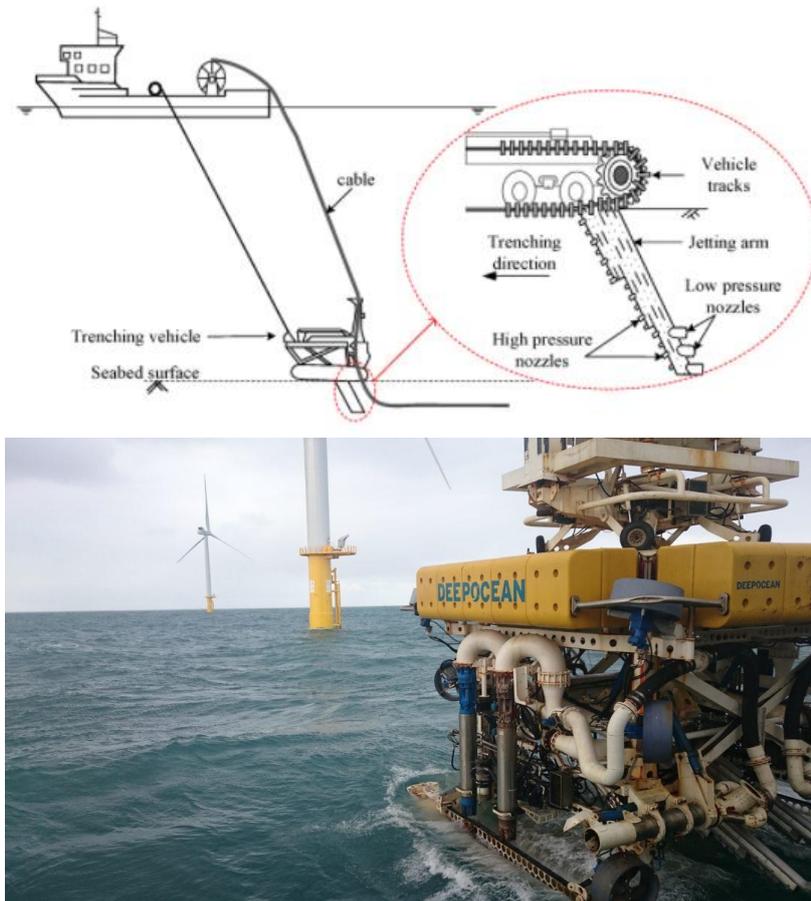


Figura 5-23 Esempio di post trenching jetting macchine (DEEPOCEAN)

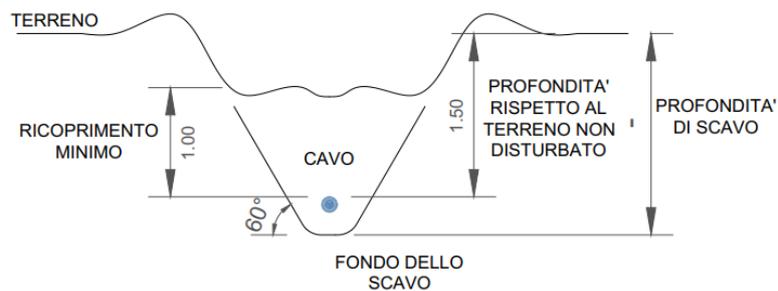


Figura 5-24 Sezione di scavo offshore tramite post trenching

In prossimità dell'approdo, i cavi verranno inseriti in opportuna tubazione sotterranea, posata mediante perforazione teleguidata (directional drilling), vedi sezione 5.11.

5.9 Offshore SIMOPS

Un'attenzione particolare è data alle Operazioni Marine Simultanee (SIMOPS) come peculiarità dell'industria eolica offshore. A causa del fatto che un progetto di energia eolica offshore coinvolge un gran numero di strutture il rischio di interferenza tra le diverse operazioni è maggiore, anche in virtù di avere una finestra temporale di installazione ristretta a condizioni di mare favorevole. Un gran numero di operazioni in un parco eolico offshore richiede l'uso di navi, con conseguente esposizione dei lavoratori a varie minacce legate al funzionamento della nave, come collisione tra navi o collisione tra una nave e una turbina eolica.

Le navi di supporto e le attrezzature per un parco eolico offshore si dovrebbero trovare nel porto più vicino che dispone delle strutture appropriate. L'uso del porto è cruciale in tutte le fasi del ciclo di vita di un parco eolico offshore. In particolare, durante la fase di costruzione, le parti della turbina e le navi necessarie sono posizionate nel porto. Inoltre, durante la fase di operazione e manutenzione, le navi di supporto offshore e le attrezzature di ricambio sono stoccate in porto in caso di emergenza. Pertanto, l'esposizione a vari rischi per le persone che vi lavorano è inevitabile. La corretta organizzazione di SIMOPS è essenziale per evitare non solo la congestione ma anche per ridurre il rischio di collisione tra navi e tra navi e banchine.

Premesso che è evidente che le SIMOPS devono essere minimizzate o azzerate, durante la fase di esecuzione, una volta confermati i contrattisti della fornitura, costruzione e installazione e finalizzata la pianificazione delle attività anche in funzione dell'operatività dei mezzi (in funzione dell'altezza d'onda) andrà fatto un HAZID (HAZard IDentification) per la fase di costruzione valutare i rischi.

Le SIMOPS previste dai mezzi di installazione principali dal cronoprogramma preliminare (vedi sezione 7) sono (escludendo i mezzi di supporto) sono:

- installazione della piattaforma con installazione dei monopali e dei giunti di transizione;
- Installazione del cavo di export con installazione delle torri e delle turbine.

Data le distanze in gioco tra SET e monopali si ritiene non essere un rischio.

5.10 Distanze Di Sicurezza Durante La Costruzione

Durante la fase di costruzione, in accordo con il riferimento /a12/, vengono applicate le seguenti zone di sicurezza:

- Zona di esclusione al traffico navale di 500 metri (m) stabilita attorno a ciascuna struttura del parco eolico, e/o loro fondazioni, durante i lavori di costruzione con dalla presenza di navi da costruzione;
- Zone di sicurezza di 50 m istituite attorno a qualsiasi struttura di parco eolico parzialmente completata o costruita ma non ancora commissionata in assenza di una nave da costruzione.

5.11 Approdo del Condotto Marino (HDD)

L'installazione della condotta con la metodologia convenzionale della trincea aperta implica uno scavo di una trincea e il rinterro con il materiale di scavo provocando un inevitabile disturbo alle aree e ai suoli attraversati. Questa metodologia implica la necessità di ripristinare e ripristinare la condizione originale la zona attraversata. Quando l'installazione della condotta coinvolge aree sensibili dal punto di vista ambientale, la tecnologia "trenchless" (attraversamento senza scavi aperti) è la metodologia valida e costituisce un'efficace alternativa alla trincea aperta.

Si tratta di un sistema di trivellazione teleguidata derivato dai metodi di perforazione direzionale per pozzi petroliferi. In una prima fase viene realizzato un foro pilota di piccolo diametro lungo il profilo di progetto prestabilito, generalmente curvo, utilizzando una lancia a getti - o in alternativa un motore a fanghi - collegata in testa a delle aste di perforazione. La testata di perforazione effettua sia l'azione di taglio meccanico del terreno che le deviazioni necessarie per seguire la direzione di progetto. Una punta da trapano (drill bit) e le stringhe di perforazione sono collegate al "rig" di perforazione. Il sistema riesce ad infilare nel terreno le aste di perforazione rotanti tramite la punta del trapano, supportate da fango bentonitico che viene pompato attraverso le aste, tramite l'impianto di separazione, nell'ugello posto davanti alla punta del trapano.

Il fango bentonitico, con il terreno tagliato rifluisce in superficie attraverso il meato (anello) esistente tra le aste di perforazione e il pozzo di trivellazione e pompato nell'impianto di separazione; in questa unità gli scarti vengono separati e dopo un trattamento di ristrutturazione, il fluido pulito ritorna nella perforazione.

Quando la perforazione (pilot hole) raggiunge il punto di uscita (seguendo il percorso progettato), inizia la fase di alesatura per allargare il foro alla dimensione progettata.

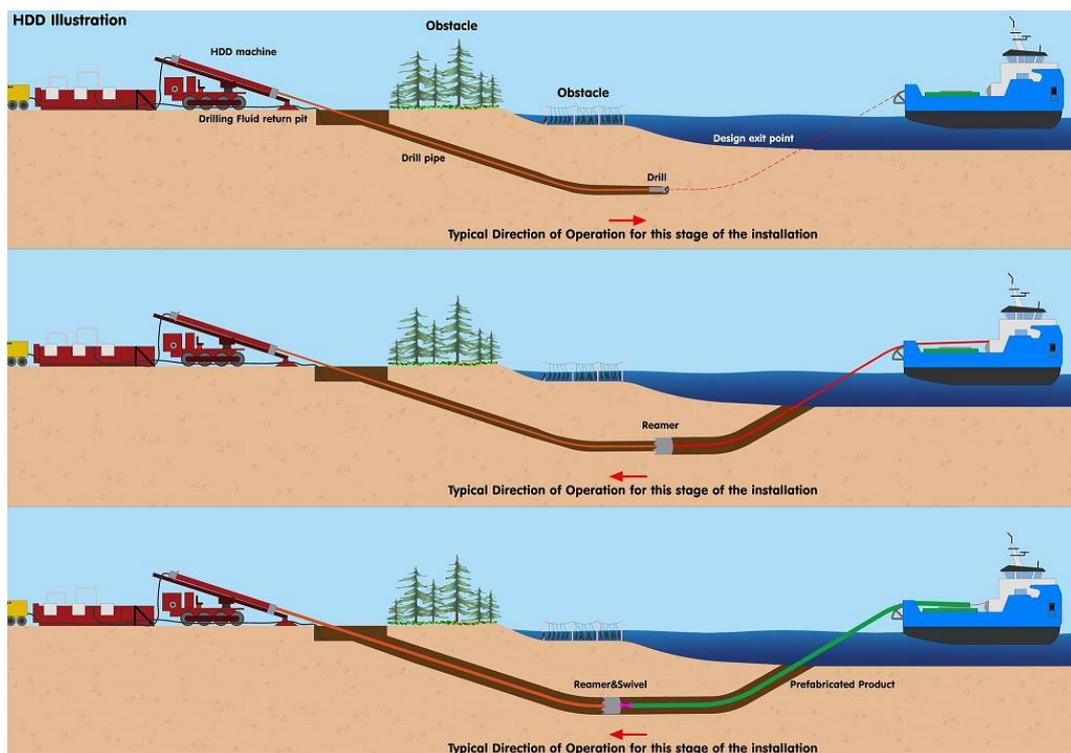


Figura 5-25 Tipica sequenza di HDD



Figura 5-26 esempi di punta di perforazione HDD e Reamer

Al termine di uno o più passaggi di alesatura si avviano le operazioni di tiro del tubo camicia (conduit), precedentemente assemblati sotto forma di stringa sul fondo mare o in parziale galleggiamento.

Una volta installato il tubo camicia si può effettuare in sicurezza il tiro del cavo di export da mare a terra.

L'approccio a terra con HDD può consentire lunghezze singole fino a 2300 m, a seconda del terreno condizioni, diametro finale del tubo da tirare, condizioni morfologiche e marine.

L'elettrodotto sottomarino, di collegamento tra la Stazione elettrica marina e la buca giunti, è composto da un cavo tripolare in AT 380 kV di lunghezza pari a 18,15 km di cui 1,5 km realizzato in HDD per la parte di transizione mare/terra.

La parte di transizione è prevista con HDD (Horizontal Directional Drilling o Trivellazione Orizzontale Controllata) e inizia in mare a circa 930 m dalla linea di battigia, in corrispondenza rispetto alla costa della località Bellariva di Rimini (nel tratto immediatamente a sud est del nuovo circolo velico di Bellariva, compreso tra il bagno 98 e 99), e raggiunge la buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia, il lungomare, gli edifici prospicienti, la rete ferroviaria e la linea metro mare.

Per la posa in prossimità dell'approdo si potrà procedere seguendo la tecnica riportata nelle Figura 5-31, che prevede l'utilizzo di barche di appoggio alla nave principale per il tiro a terra della parte terminale dei cavi, tenuti in superficie tramite dei galleggianti durante le operazioni.

Il profilo e le caratteristiche di posa in questo tratto sono illustrate nella Figura 5-27 e successive.

L'estremità lato mare del tratto da eseguire con trivellazione teleguidata sarà provvisoriamente protetto con apposito cassone in lamiera (sheet piling), all'interno del quale sarà effettuato uno scavo per far uscire le suddette estremità evitando al contempo il contatto con l'acqua, in modo da facilitare le operazioni di posa delle tubazioni all'interno dei fori e la successiva posa dei cavi. Il cassone sarà scoperto sul lato superiore e avrà un'altezza di circa 1 m oltre il livello massimo dell'acqua. Avrà una larghezza di circa 20 m per 15 m di profondità.

Nella buca giunti il cavo marino viene "sfioccato" e collegato al cavo AT che raggiunge la Stazione Utente prima del collegamento alla RTN che avviene sullo stallo 380 kV della Stazione TERNA "San Martino in Venti".

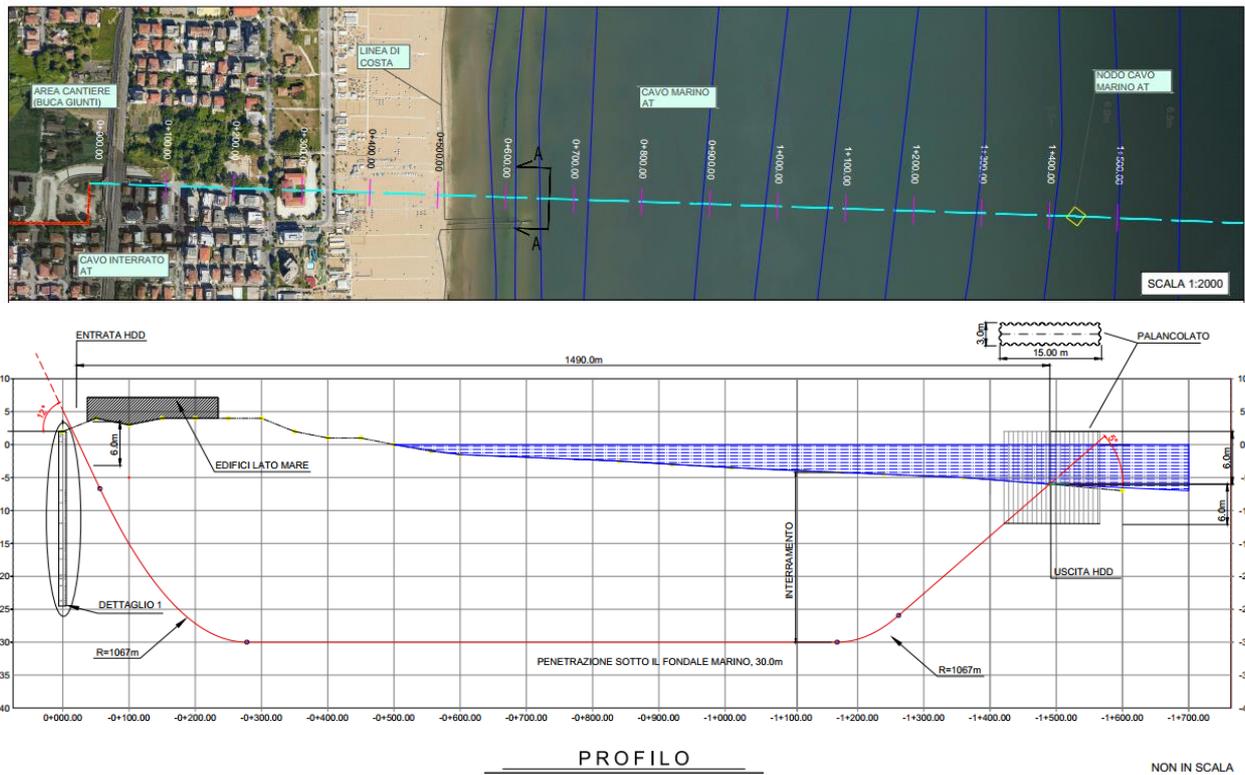


Figura 5-27 Percorso HDD terra-mare (Horizontal directional Drilling)

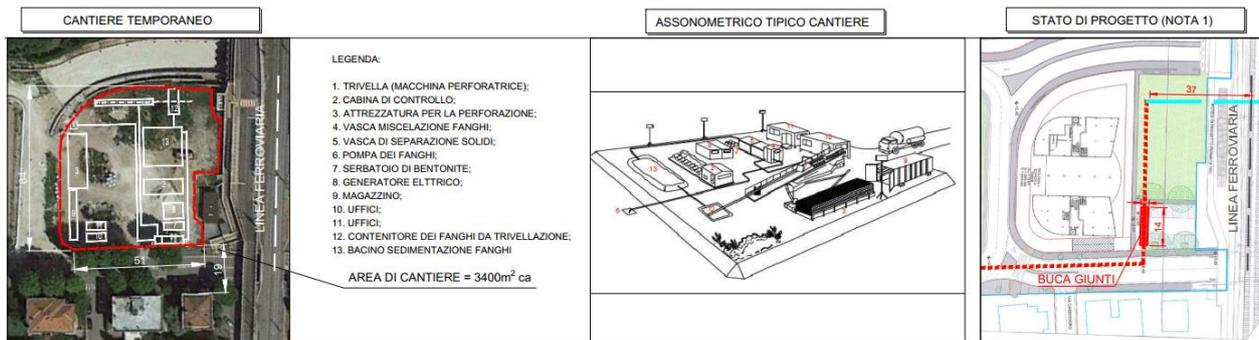


Figura 5-28 Esempio di layout di cantiere per HDD (Horizontal directional Drilling)

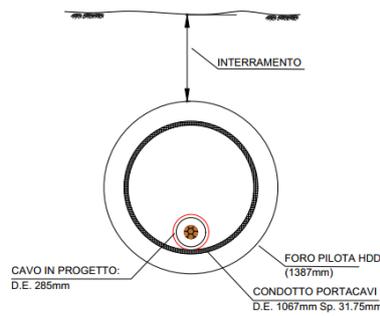


Figura 5-29 Foro HDD (Horizontal directional Drilling)



Figura 5-30 esempio di fase di perforazione e successivo inserimento di una tubazione

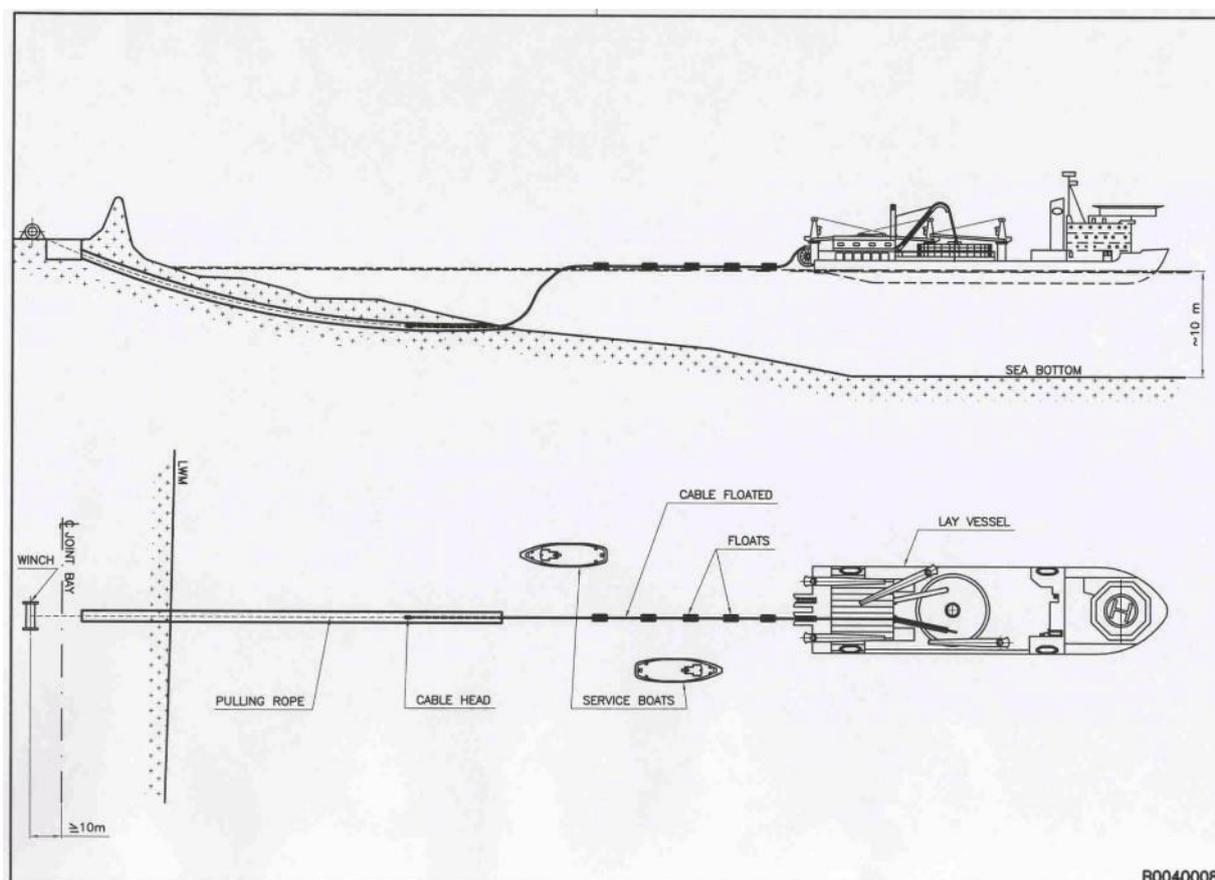


Figura 5-31 tipico di posa del cavo mediante "directional drilling"



Figura 5-32 Postazione di recupero con palancole per il contenimento e il recupero dei fanghi di perforazione

5.11.1 Caratteristiche geologiche

Le perforazioni mediante HDD sono generalmente realizzabili in un vasto campo di terreni, esteso dalle argille molli fino alle rocce tenere. Nonostante questo vasto range di applicabilità e pur restando salvi i requisiti essenziali per la riuscita della perforazione, risultano fondamentali l'esperienza dell'impresa esecutrice e l'eventuale adattamento delle attrezzature di scavo alle situazioni litologiche locali.

Le limitazioni alla fattibilità dell'attraversamento collegate alla natura litostratigrafica dei terreni sono riconducibili essenzialmente a due situazioni particolarmente gravose: perforazione di litotipi rocciosi e di terreni aventi un'elevata percentuale di materiale grossolano.

In presenza di roccia, è possibile effettuare la trivellazione ma è necessario osservare che, in relazione alla durezza del materiale ed al diametro della tubazione da installare, possono nascere difficoltà legate alla disponibilità di utensili ed aste di perforazione appropriati agli sforzi previsti.

La presenza di materiale grossolano (ghiaia, ciottoli, detrito grossolano, roccia intensamente fratturata) costituisce uno dei limiti più marcati di questo tipo di trivellazione, soprattutto quando la percentuale di elementi con dimensioni della ghiaia o superiori sia maggiore del 60% in peso del totale; oltre tale limite, infatti, la granulometria dei terreni costituisce un ostacolo sia per le operazioni di alesatura che per il mantenimento del foro.

Un altro elemento da valutare, di difficile schematizzazione se riferito al caso generale, è quello del rischio di rottura del terreno per effetto dei fanghi di perforazione (fracturing): le pressioni di tali fanghi, utilizzate per assicurare la necessaria azione di taglio nel terreno e/o il trasporto dei scarti (cuttings) verso la superficie, possono provocare fenomeni di blow-out, soprattutto in corrispondenza dei tratti di perforazione a modesta profondità, qualora particolari condizioni locali (ad esempio nel caso di un pre-esistente stato di fessurazione diffusa del terreno) favoriscano lo sviluppo di rotture al di sopra della tubazione oppure quando, per motivi operativi, si renda necessario un incremento temporaneo delle pressioni di lavoro.

Il tratto si sviluppa nella piana costiera, dove le pendenze sono trascurabili e le discontinuità sono essenzialmente imputabili ad attività antropica (costruzioni e rilevato ferroviario). Il cavidotto interessa i depositi quaternari (AES8a) e non sono segnalati ambiti di pericolosità geologica o geomorfologica.



Figura 5-33 – Carta di sintesi della zona costiera.

Sono diversi i report delle indagini che permettono una caratterizzazione litostratigrafica della zona. Rispetto alla piana alluvionale più interna in questa zona è generalmente presente uno spessore di depositi superficiali granulari (per lo più sabbiosi) dello spessore di circa 7 mt (cfr indagine n°256160P440 ad esempio) ed inferiormente un'alternanza di livelli coesivi e granulari funzione delle fasi trasgressive e regressive.

L'andamento stratigrafico indicato nel report del sondaggio n. 256160P440, realizzato a monte della ferrovia trova riscontro anche nella prova penetrometrica statica n°256160C167, (che è la prova che è stata realizzata nella zona più prossima alla costa tra quelle considerate): i rapporti tra resistenza all'avanzamento della punta e all'avanzamento del manicotto (che forniscono indicazioni sulla litologia attraversata) indicano una prevalenza di depositi sabbiosi fino a circa 8 m di profondità a cui segue un alternanza di livelli coesivi e granulari. Benché con i dati presenti non si evincono criticità per l'esecuzione dell'operazione durante la fase esecutiva andranno effettuati analisi geotecniche di dettaglio con campioni profondi > 30m lungo tutta lunghezza del HDD per confermare la fattibilità dell'operazione.

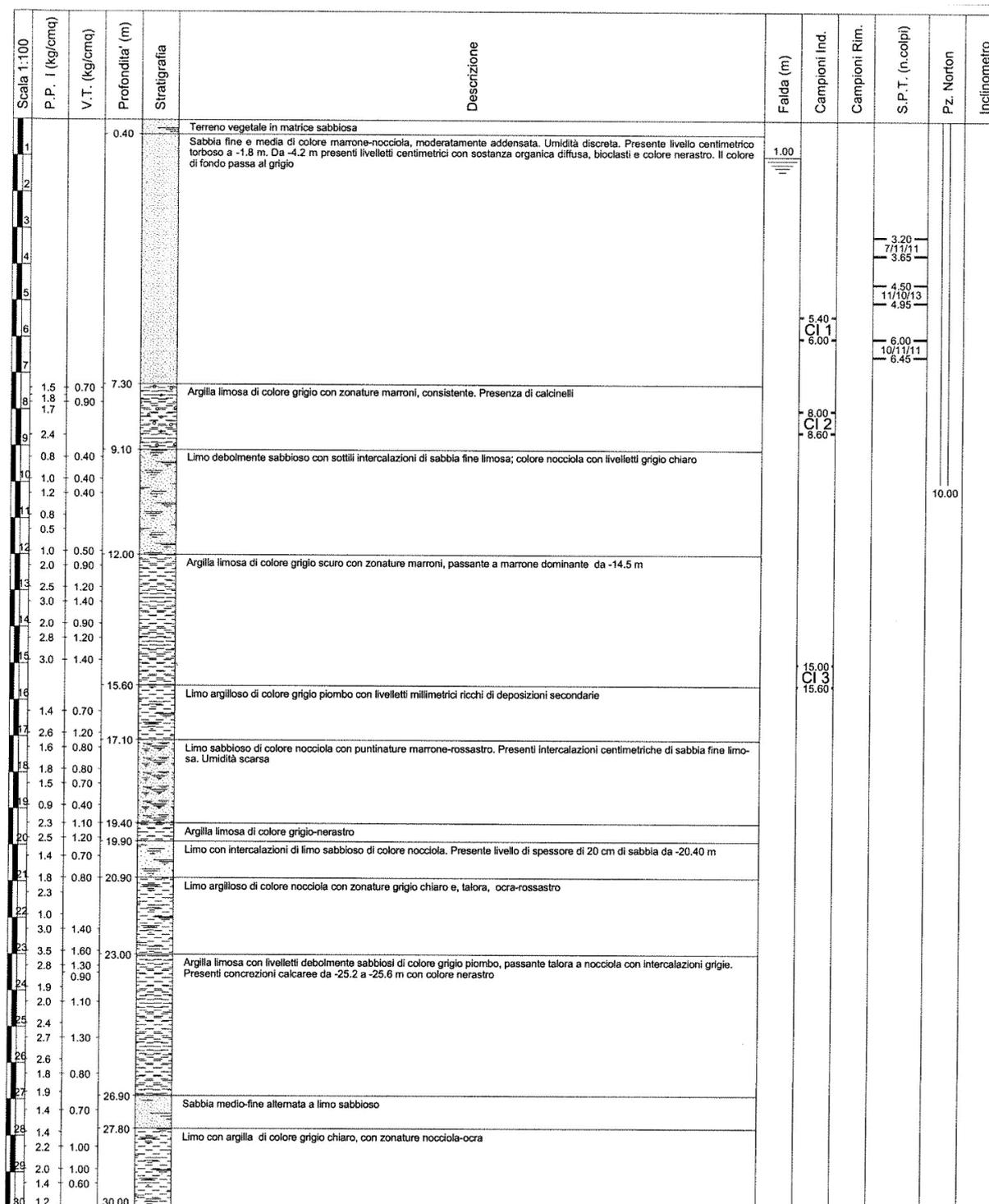


Figura 5-34 -Sommario del sondaggio n°256160P440.



CAMPIONE HDD
 256160P440

Figura 5-35 -Dettaglio del sondaggio n°256160P440.

5.11.2 Fluido di perforazione

Il fluido di perforazione va miscelato specificatamente per le condizioni del terreno ed è una parte fondamentale del processo dell'HDD, permettendo di ridurre al minimo il rischio di breakout.

L'appaltatore dell'HDD dovrebbe utilizzare uno specialista per la gestione dei fanghi di perforazione e prodotti di qualità per garantire che il foro sia stabile (non si fratturi) e prevenire l'interruzione dell'attività di perforazione.

Gli scopi del fango sono vari e tutti importanti per il corretto risultato finale della perforazione. Il fluido di perforazione consiste solitamente in una miscela di acqua dolce, bentonite e/o polimeri.

La bentonite è un'argilla naturale, estremamente idrofila ed è un prodotto sicuro sotto la chimica punto di vista.

I compiti del fango possono essere riassunti come segue:

- Raffredda e lubrifica il sistema di perforazione, il motore del fango e la punta;
- fornisce potenza idraulica al motore del fango convertendo la potenza idraulica in meccanica;
- Rimuove i residui dal foro;
- Stabilizza il foro durante la perforazione con un pannello filtrante sottile e impermeabile;
- Riduce al minimo le perdite di fluido;
- Con opportuni materiali additivi (fibrosi, granulari, ecc...), blocca le fratture nel terreno.

L'importanza di preparare e mantenere un fluido di perforazione corretto richiede un controllo continuo durante la perforazione.

I seguenti parametri sono normalmente controllati durante la perforazione:

- Densità;
- Viscosità;
- Punto di snervamento;
- Resistenza;
- pH.

Un fango non adeguato può causare l'interruzione della perforazione.

6 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FASI DI CANTIERE A TERRA

6.1 Descrizione del tracciato a terra

Il presente capitolo descrive le principali operazioni di cantiere necessarie alla realizzazione del cavodotto onshore di collegamento tra l'approdo terra-mare e la stazione San Martino in VENTI.

L'elettrodotto AAT da 380 kV, in uscita dalla buca giunti e con la medesima sezione (conduttori di sezione pari a 630 mm²), procede interrato con una terna di cavi isolati interrati principalmente lungo viabilità esistente, sino a raggiungere dopo circa 11,7 km la Stazione di Transizione aereo-cavo, dove parte il portale dell'elettrodotto aereo 380 kV, lungo circa 450 m, di collegamento allo stallo 380 kV della Stazione TERNA.

Il tracciato è stato individuato seguendo criteri di minimizzazione di impatto ambientale e prediligendo un percorso quasi interamente stradale, in modo da garantire allo stesso tempo anche una buona accessibilità ed una discreta facilità di posa.

Il progetto prevede 2 soluzioni alternative del percorso del cavo terrestre in AAT 380 di lunghezza sostanzialmente pari e che seguono in partenza e in arrivo lo stesso percorso, distaccandosi nella parte centrale.

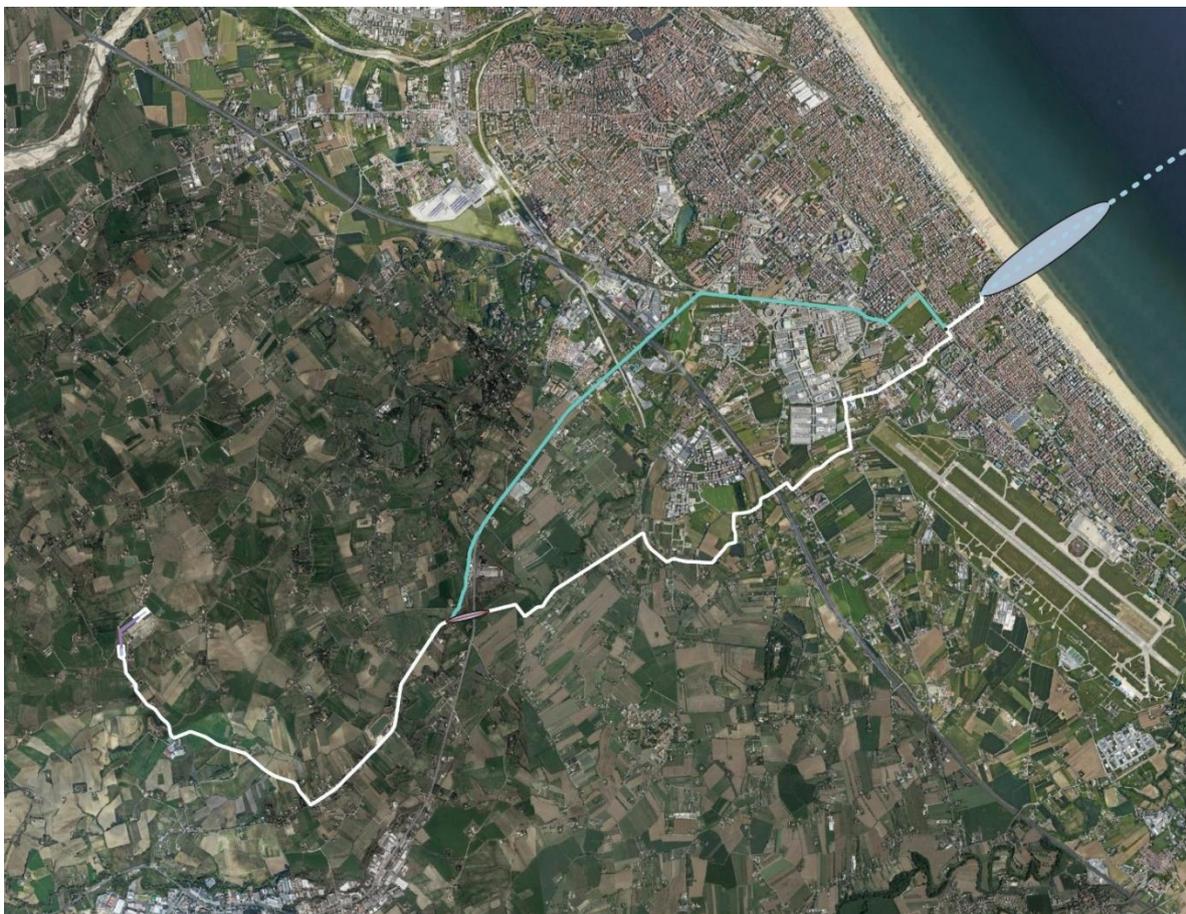


Figura 6.1 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)

Si descrivono di seguito i due percorsi.

PERCORSO PREFERENZIALE DEL CAVO AT INTERRATO (LUNGHEZZA CIRCA 11,7 Km)

- Il percorso parte dalla buca giunti, e si attesta lungo Viale Siracusa per 420 m attraversando la rotonda di Via Giuseppe Melucci; (all'incrocio con Via Giuseppe Melucci si distacca il percorso alternativo);
- Si allinea con Via Giuseppe Melucci per 90 m;
- Piega su Via Antonio Rosmini Serbati per circa 350 m, attraversando la rotonda dei Vigili del Fuoco;
- Piega su Via Bernadino Varisco e si allinea per circa 840 m;
- Piega su Via Macanno e si allinea per circa 470 m;
- Piega su Via Acquabona e si allinea per circa 690 m;
- Piega su Via Coriano e si allinea per circa 85 m;
- Piega su Via Monte l'Abate e si allinea per circa 350 m (sottopassando l'Autostrada A14);
- Piega su Via Ca' Sabbioni e si allinea per circa 250 m;
- Piega su Via Ca' del Drago e si allinea per circa 920 m;
- Piega su Via Montescudo e si allinea per circa 370 m;
- Piega su via Maceri e si allinea per circa 1350 m;
- Si distacca da Via Maceri e prosegue nei terreni agricoli lungo confini catastali per circa 400 m;
- Attraversa con TOC lunga 380 m sia il Torrente Ausa che la SS 72 Consolare Rimini-San Marino;
- La TOC ha il foro di uscita su Via Santa Aquilina e il cavo la segue per circa 2200 m; (nel punto terminale della TOC si ricollega il percorso alternativo che segue di seguito descritto);
- Piega su Via San Martino in Venti e si allinea per circa 2600 m;
- In corrispondenza della strada di accesso alla SE TERNA San Martino in Venti, prosegue nei terreni per circa 150 m sino a raggiungere la Stazione di transizione cavo-aereo ubicata a Ovest della Stazione esistente;
- Tratto interno alla STAZIONE DI TRANSIZIONE CAVO-AEREO lungo circa 70 m;
- Collegamento aereo di 450 m allo stallo 380 kV della SE SAN MARTINO IN VENTI.

PERCORSO ALTERNATIVO DEL CAVO AT (LUNGHEZZA CIRCA 11,6 Km)

- Il percorso si sovrappone per gran parte a quello del percorso preferenziale sopra descritto; si descrive per comodità di lettura l'intero tracciato.
- Il percorso parte dalla buca giunti, e si attesta lungo Viale Siracusa per 420 m attraversando la rotonda di Via Giuseppe Melucci;
- Si attesta lungo Viale Siracusa per 420 m attraversando la rotonda di Via Giuseppe Melucci; (all'incrocio con Via Giuseppe Melucci si distacca dal percorso preferenziale)

- Piegia su Via Giuseppe Melucci e si allinea per 418 m.;
- Attraversa il campo G. Colonnella per 402 m.;
- Piegia su Via Flaminia e la segue per circa 230 m attraversando la rotonda verso SS 16 adriatica;
- Si allinea in banchina Sud Ovest della SS 16 Adriatica per 1500 m;
- Si allinea in banchina su SS 72 Strada Consolare Rimini – San Marino per circa 3030 m;
- Piegia su Via Santa Aquilina e la segue per circa 900 m sino al punto di uscita della TOC prevista nel percorso preferenziale; il cavo si ricollega allo stesso sino alla Stazione di transizione cavo-aereo;
- Prosegue su Via Santa Aquilina per circa 2200 m;
- Piegia su Via San Martino in Venti e si allinea per circa 2600 m;
- In corrispondenza della strada di accesso alla SE TERNA San Martino in Venti, prosegue nei terreni per circa 150 m sino a raggiungere la Stazione di transizione cavo-aereo ubicata a Ovest della Stazione esistente;
- Tratto interno alla STAZIONE DI TRANSIZIONE CAVO-AEREO lungo circa 70 m;
- Collegamento aereo 450 m allo stallo 380 kV della SE SAN MARTINO IN VENTI.

Per dettagli sul percorso riferirsi alla relazione descrittiva del percorso come descritto nel report /a16/.

6.2 Layout area ricezione HDD

In accordo alla sezione 5.11 di seguito viene descritta l'area individuata per l'alloggiamento dell'equipaggiamento necessario per effettuare l'HDD:

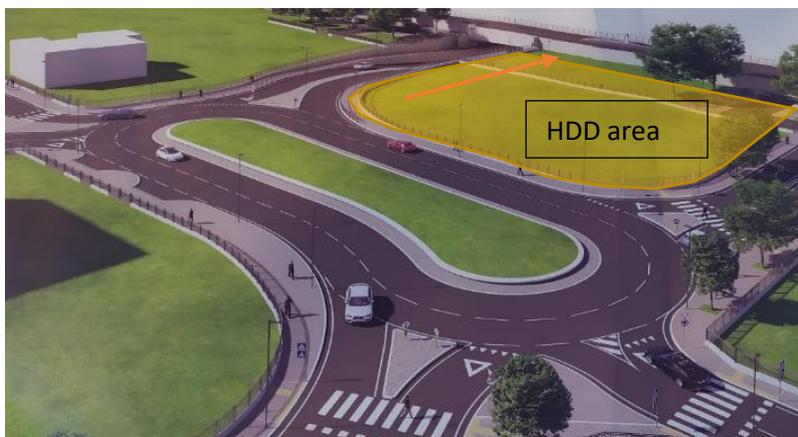


Figura 6-2 Rendering area proposta per la realizzazione postazione di recupero HDD terra-mare.



Figura 6-3 Dimensione area proposta cantiere temporaneo per la realizzazione di HDD terra-mare .



Figura 6-4 Foto area proposta per la realizzazione di HDD terra-mare .



Figura 6-5 Esempio di drilling rig per la realizzazione di HDD terra-mare (Burbo Bank) .

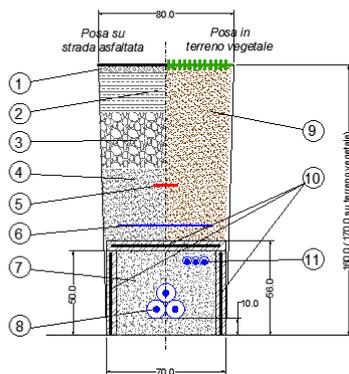
6.3 Posa dei Cavi Interrati

Le attività si articoleranno in tre fasi: nella prima saranno realizzate le infrastrutture provvisorie, nella seconda fase saranno eseguite le opere di escavazione e nella terza fase avverrà la posa dei cavi, il collaudo e il ripristino dell'area.

Il tracciato prescelto per la posa del cavidotto si articola, per i primi 12.38 km (o lungo un percorso alternativo di 13.80 km), prevalentemente lungo la viabilità esistente.

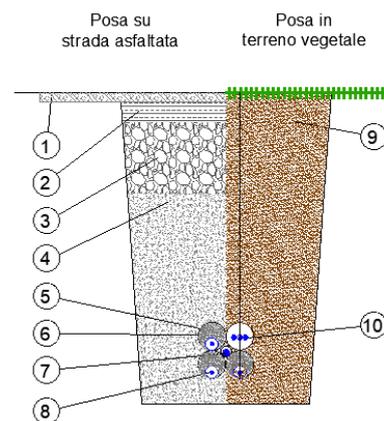
I cavi saranno interrati ed installati in una trincea della profondità di circa 160-170 cm e larga circa 80 cm.

SEZIONE DI POSA TIPO IN TRINCEA PER SINGOLA TERNA A TRIFOGLIO APERTO



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 - Tappetino di usura * | 7 - Cemento Mortar |
| 2 - Binder di sottofondo * | 8 - Cavi XLPE a 380 kV disposti a trifoglio |
| 3 - Sottofondo in stabilizzato * | 9 - Terreno vegetale |
| 4 - Materiale di riempimento * | 10 - Lastre di protezione in c.a.v |
| 5 - Nastro di segnalazione in PVC | 11 - Tritubo pehd - Ø 50 per Cavi di Servizio (Coax, Telefonico) |
| 6 - Rete in PVC | |

SEZIONE DI POSA TIPO IN TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA



- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 - Tappetino di usura * | 6 - Riempimento di Bentonite |
| 2 - Binder di sottofondo * | 7 - Eventuale tubo PEHD Ø 50 con cavo di terra |
| 3 - Sottofondo in stabilizzato * | 8 - Cavi XLPE a 380 kV |
| 4 - Materiale di riempimento * | 9 - Terreno vegetale |
| 5 - Tubo PEHD Ø 250 PN10 | 10 - Tritubo PEHD - Ø 50 per Cavi di Servizio (Coax, Telefonico). |

Figura 6-6 Tipici di sezione di cavi interrata

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'.

Saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato di adeguato spessore. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Le modalità di posa e gli attraversamenti delle opere interferenti saranno eseguiti in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

E'previsto inoltre il posizionamento di targhette resistenti ed inalterabili (di tipo non intrusivo) sulla sede stradale, per la segnalazione del tracciato del cavo.

I giunti unipolari saranno posizionati lungo il percorso del cavo, a circa 500÷800 m l'uno dall'altro, ed ubicati all'interno di opportune buche giunti. Il posizionamento dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione delle interferenze sotto il piano di campagna e della possibilità di trasporto.

E' prevista l'installazione di fibre ottiche a servizio del cavidotto, le quali saranno posate contestualmente alla stesura del cavo.

In sede di progetto esecutivo, e comunque prima che si dia inizio alla realizzazione dell'opera, ed in particolare prima dell'installazione della rete di comunicazioni elettroniche in fibre ottiche a servizio dell'elettrodotto, si procederà all'ottenimento dell'autorizzazione generale espletando gli obblighi stabiliti dal Decreto Legislativo 1 agosto 2003, n. 259 e smi, "Codice delle comunicazioni elettroniche"; in particolare si procederà alla presentazione della dichiarazione, conforme al modello riportato nell'allegato n. 14 al suddetto decreto, contenente l'intenzione di installare o esercire una rete di comunicazione elettronica ad uso privato; ciò costituisce denuncia di inizio attività ai sensi dello stesso D.Lgs. 259/2003 art. 99, comma 4.

6.4 Attraversamento mediante TOC del torrente Ausa



Figura 6.7 – Percorso del cavo 380 kV dalla buca giunti alla Stazione di arrivo (in bianco, il tracciato preferenziale)

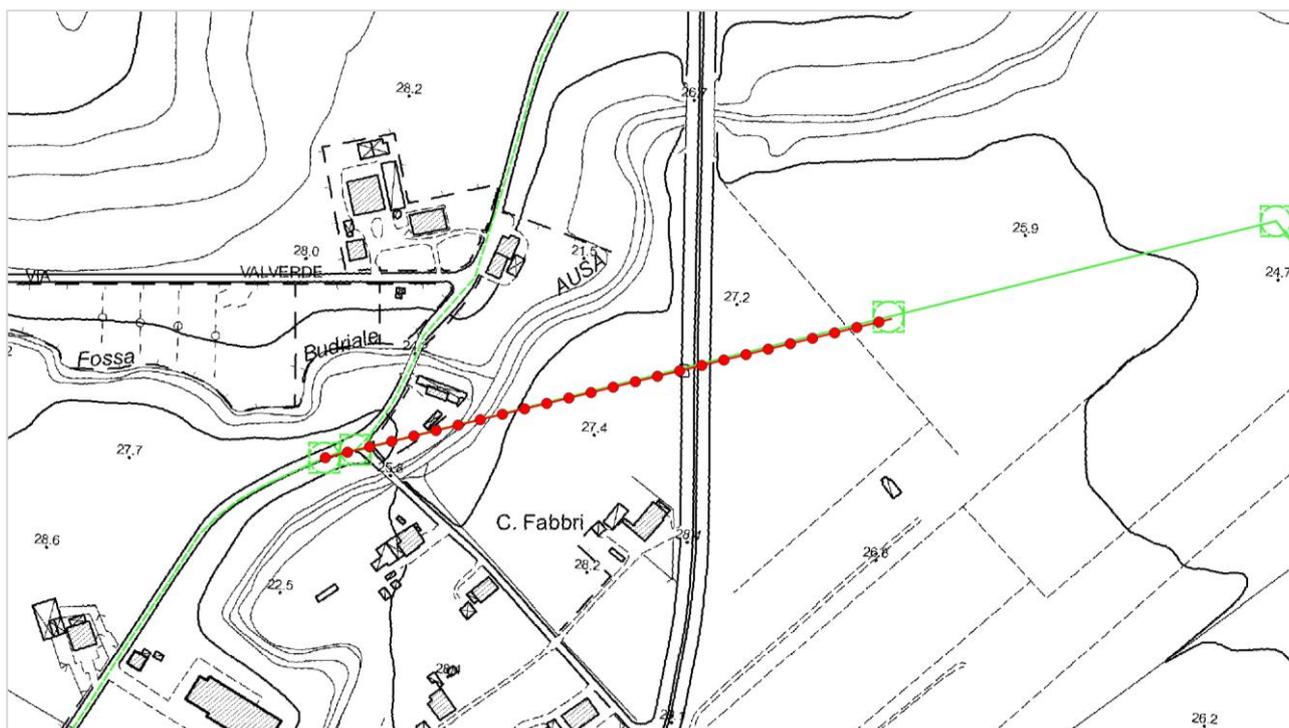


Figura 6.8 – Inquadramento della TOC su Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, "San Martino Monte l'Abate".

Il tracciato preferenziale del cavo prevede che nel tratto di collegamento tra via Maceri e via Sant'Aquilina, vengano attraversati con TOC, lunga circa 380 m, sia la statale SS 72 Consolare Rimini-San Marino che il Torrente Ausa che scorre in prossimità; la profondità di posa al di sotto del fondo dell'alveo è di 2 m, in base ai calcoli riportati nello studio di compatibilità idraulica (§ OWFRMN_V2.SC2.07 _ Relazione Idraulica).

Il corso del T. Ausa nella zona in studio risulta inciso rispetto al piano campagna delle zone circostanti e le sponde sono interessate da una folta vegetazione arbustiva ed arborea. Immediatamente a monte della zona di intervento l'alveo presenta uno stretto meandro verso ovest ed il fondo non mostra significativi segni di erosione.

Una visione più di dettaglio della zona di arrivo della T.O.C. su via Santa Aquilina è possibile dalla ortofoto riportata nella figura seguente ottenuta da volo mediante SAPR (drone) appositamente realizzato per il lavoro in oggetto.

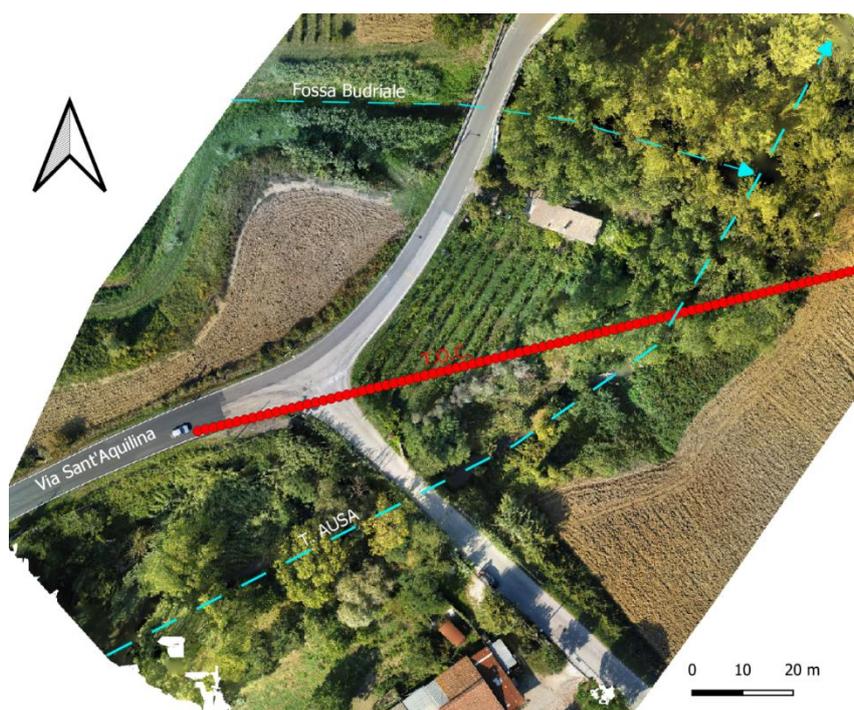


Figura 6.9 – Ortofoto ricavata mediante aerofotogrammetria da drone.

Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto sotterraneo mediante il radio-controllo del suo andamento plano-altimetrico.

Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione; questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare e correggere in tempo reale gli eventuali errori.

Questo sistema non comporta alcuno scavo preliminare, ma eventualmente necessita effettuare solo delle buche di partenza e di arrivo; non comporta quindi, la demolizione prima e il ripristino dopo di eventuali sovrastrutture esistenti.

Le fasi principali del processo di TOC sono le seguenti:

- delimitazione delle aree di cantiere;
- realizzazione del foro pilota;
- alesatura del foro pilota e contemporanea posa dell'infrastruttura (tubazione).

Da una postazione di partenza in cui viene posizionata l'unità di perforazione, attraverso un piccolo scavo di invito viene trivellato un foro pilota di piccolo diametro, lungo il profilo di progetto che prevede il passaggio lungo il tratto indicato raggiungendo la superficie al lato opposto dell'unità di perforazione. Il controllo della posizione della testa di perforazione, giuntata alla macchina attraverso aste metalliche che permettono piccole curvature, è assicurato da un sistema di sensori posti sulla testa stessa. Una volta eseguito il foro pilota viene collegato alle aste un alesatore di diametro leggermente superiore al diametro della tubazione che deve essere trascinato all'interno del foro definitivo. Tale operazione viene effettuata servendosi della rotazione delle aste sull'alesatore, e della forza di tiro della macchina per trascinare all'interno del foro un tubo generalmente in PE di idoneo spessore. Le operazioni di trivellazione e di tiro sono agevolate dall'uso di fanghi o miscele di acqua-polimeri totalmente biodegradabili, utilizzati attraverso pompe e contenitori appositi che ne impediscono la dispersione nell'ambiente. Con tale sistema è possibile installare condutture al di sotto di grandi vie, di corsi d'acqua, canali marittimi, vie di comunicazione quali autostrade e ferrovie (sia in senso longitudinale che trasversale), edifici industriali, abitazioni, parchi naturali etc.

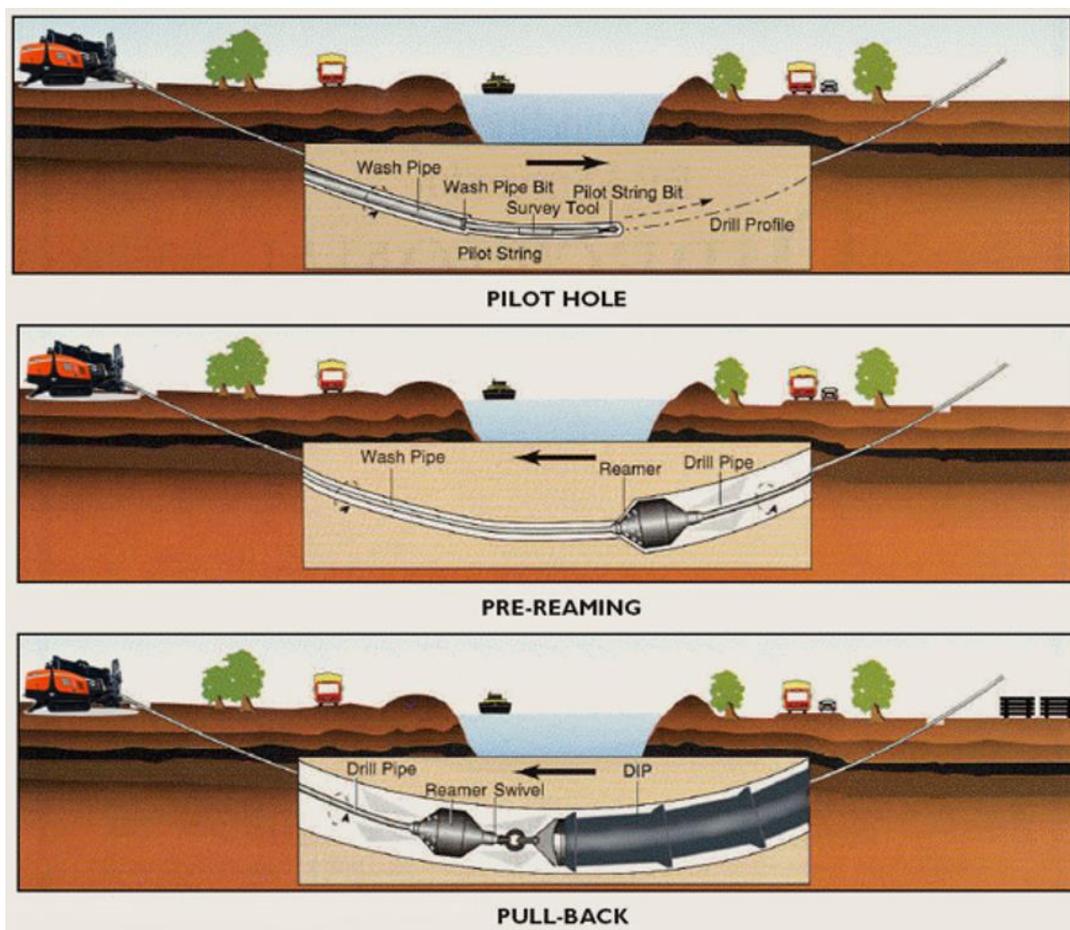


Figura 6.10 – Sequenza tipica di realizzazione di Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).

6.5 Fasi di Costruzione

La realizzazione dell'opera avverrà per fasi sequenziali di lavoro che permettano di contenere le operazioni in un tratto limitato (piazzole di circa 500metri) della linea in progetto, avanzando progressivamente sul territorio.

In generale, le operazioni si articoleranno secondo le fasi elencate nel modo seguente:

- realizzazione delle infrastrutture temporanee di cantiere;
- picchettamento;
- apertura della fascia di lavoro e scavo della trincea;
- posa dei cavi e realizzazione delle giunzioni;
- collaudo;
- ricopertura della linea e ripristini.

In alcuni casi particolari e comunque dove si renderà necessario, in particolare per tratti interni ai centri abitati e in corrispondenza di attraversamenti, si potrà procedere anche con modalità diverse da quelle su esposte.

Al termine dei lavori civili ed elettromeccanici sarà effettuato il collaudo della linea.

6.5.1 Fuori servizio necessari alla realizzazione dell'elettrodotto

Vista la natura dell'opera e le modalità attraverso le quali è previsto il collegamento della stessa alla rete, non sono previsti lunghi fuori-servizio relativi alle infrastrutture elettriche. Infatti le uniche attività per le quali deve essere previsto il fuori-servizio di elementi di rete sono alcune delle fasi relative alla realizzazione del nuovo stallo a 380 kV della stazione elettrica di San Martino in Venti, che saranno espletate secondo la procedura di lavoro TERNA.

Si può prevedere un fuori-servizio, in fasi non adiacenti, complessivamente pari a 48 ore.

6.5.2 Realizzazione delle infrastrutture temporanee di cantiere per la posa

Prima della realizzazione dell'opera sarà necessario realizzare le piazzole di stoccaggio per il deposito delle bobine contenenti i cavi; di norma vengono predisposte piazzole circa ogni 500-600 metri.

Tali piazzole sono, ove possibile, realizzate in prossimità di strade percorribili dai mezzi adibiti al trasporto delle bobine e contigue alla fascia di lavoro, al fine di minimizzare le interferenze con il territorio e ridurre la conseguente necessità di opere di ripristino.

6.5.3 Picchettamento

Una squadra topografica qualificata, sulla base dei carteggi di progetto, provvederà ad individuare sul terreno l'asse della condotta e la dimensione della pista di lavoro, mediante la messa in opera di picchetti ad intervalli di circa 50 m.

Tutti i capisaldi, i punti di incrocio, i punti speciali, i manufatti esistenti e gli attraversamenti, saranno opportunamente rilevati e/o picchettati.

Saranno localizzate e segnalate anche le opere e le installazioni sotterranee in conformità alle specifiche, dopo aver ricevuto le informazioni dalle Autorità Competenti.

Inoltre si provvederà, prima dell'inizio dei lavori a realizzare una documentazione fotografica della segnaletica orizzontale e verticale esistente al fine di un agevole ripristino a chiusura del cantiere.

6.5.4 Apertura della fascia di lavoro e scavo della trincea

Le operazioni di scavo e posa dei cavi richiedono l'apertura di un'area di passaggio, denominata "fascia di lavoro". Questa fascia dovrà essere la più continua possibile ed avere una larghezza tale da consentire la buona esecuzione dei lavori ed il transito dei mezzi di servizio.

6.5.5 Posa del cavo

In accordo alla normativa vigente, l'elettrodotto interrato sarà realizzato in modo da escludere, o rendere estremamente improbabile, la possibilità che avvenga un danneggiamento dei cavi in tensione provocato dalle opere sovrastanti (ad esempio, per rottura del sistema di protezione dei conduttori).

Una volta realizzata la trincea si procederà con la posa dei cavi, che arriveranno nella zona di posa avvolti su bobine. La bobina viene comunemente montata su un cavalletto, piazzato ad una certa distanza dallo scavo in modo da ridurre l'angolo di flessione del conduttore quando esso viene posato sul terreno.

6.5.6 Scavo della trincea in corrispondenza dei tratti lungo percorso stradale

Tenendo conto che il tracciato si sviluppa quasi interamente su percorso stradale, si nota che, quando la strada lo consenta (cioè nel caso in cui la sede stradale permetta lo scambio di due mezzi pesanti) sarà realizzata, come anticipato, la posa in scavo aperto, mantenendo aperto lo scavo per tutto il tratto compreso tra due giunti consecutivi (500÷600 m) e istituendo per la circolazione stradale un regime di senso unico alternato mediante semafori iniziale e finale, garantendo la opportuna segnalazione del conseguente restringimento di corsia e del possibile rallentamento della circolazione. In casi particolari e solo quando si renderà necessario, potrà essere possibile interrompere al traffico, per brevi periodi, alcuni tratti stradali particolarmente stretti, segnalando anticipatamente ed in modo opportuno la viabilità alternativa e prendendo i relativi accordi con i comuni e gli enti interessati.



Figura 6-11 esempio di scavo per interrimento cavo (Hornsea Project One) in campagna.



Figura 6-12 esempio di scavo per interrimento su asfalto .

Per i tratti su strade strette o in corrispondenza dei centri abitati, tali da non consentire l'istituzione del senso unico alternato, ovvero laddove sia manifesta l'impossibilità di interruzione del traffico si potrà procedere con lo scavo di trincee più brevi (30÷50 m) all'interno delle quali sarà posato il tubo di alloggiamento dei cavi, da ricoprire e ripristinare in tempi brevi, effettuando la posa del cavo tramite sonda nell'alloggiamento sotterraneo e mantenendo aperti solo i pozzetti in corrispondenza di eventuali giunti.

6.5.7 Ricopertura e ripristini su terreno naturale

Relativamente ai tratti in cui il cavidotto verrà posato su strada sterrata o terreno agricolo, al termine delle fasi di posa e di reinterro si procederà alla realizzazione degli interventi di ripristino. La fase comprende tutte le operazioni necessarie per riportare il territorio attraversato nelle condizioni ambientali precedenti la realizzazione dell'opera.

Le opere di ripristino previste possono essere raggruppate nelle seguenti due tipologie principali:

- ripristini geomorfologici ed idraulici;
- ripristini della vegetazione, qualora presente.

Preliminarmente si procederà alle sistemazioni generali di linea, che consistono nella riprofilatura dell'area interessata dai lavori e nella riconfigurazione delle pendenze preesistenti, ricostruendo la morfologia originaria del terreno e provvedendo alla riattivazione di fossi e canali irrigui, nonché delle linee di deflusso eventualmente preesistenti.

La funzione principale del ripristino idraulico è essenzialmente il consolidamento delle coltri superficiali attraverso la regimazione delle acque, evitando il ruscellamento diffuso e favorendo la ricrescita del manto erboso.

Successivamente si passerà al ripristino vegetale, avente lo scopo di ricostituire, nel più breve tempo possibile, il manto vegetale preesistente i lavori nelle zone con vegetazione naturale.

Il ripristino avverrà mediante:

- ricollocazione dello strato superficiale del terreno se precedentemente accantonato;
- inerbimento;
- messa a dimora, ove opportuno, di arbusti e alberi di basso fusto.

Per gli inerbimenti verranno utilizzate specie erbacee adatte all'ambiente pedoclimatico, in modo da garantire il migliore attecchimento e sviluppo vegetativo possibile. Le aree agricole saranno ripristinate al fine di restituire l'originaria fertilità.

6.6 Stazione di Transizione cavo_aereo e Stallo 380 kV

L'Opera è stata progettata in modo da minimizzare, per quanto possibile, gli impatti sulle aree interessate dai lavori. Per ottenere tale scopo si è cercato di ridurre, già dalla fase di cantierizzazione, i possibili impatti sulle componenti antropiche ed ambientali. Il piano di cantierizzazione, redatto in fase di progettazione esecutiva, potrà subire delle variazioni a seguito di accordi con i proprietari, enti, gestori di servizi ed in seguito a problematiche di carattere tecnico che potrebbero emergere durante le fasi di realizzazione. Sono stati effettuati dei sopralluoghi in sito, che hanno permesso di acquisire un'adeguata conoscenza della sensibilità e della vulnerabilità dell'area oggetto dell'intervento, così da poter elaborare il presente Piano di Cantierizzazione e di Gestione Ambientale. In tutte le fasi del cantiere sarà premura dell'appaltatore minimizzare i disagi arrecati alla popolazione residente nelle aree limitrofe, in particolare al fine di evitare i superamenti dei limiti previsti dalla normativa in materia di inquinamento acustico.

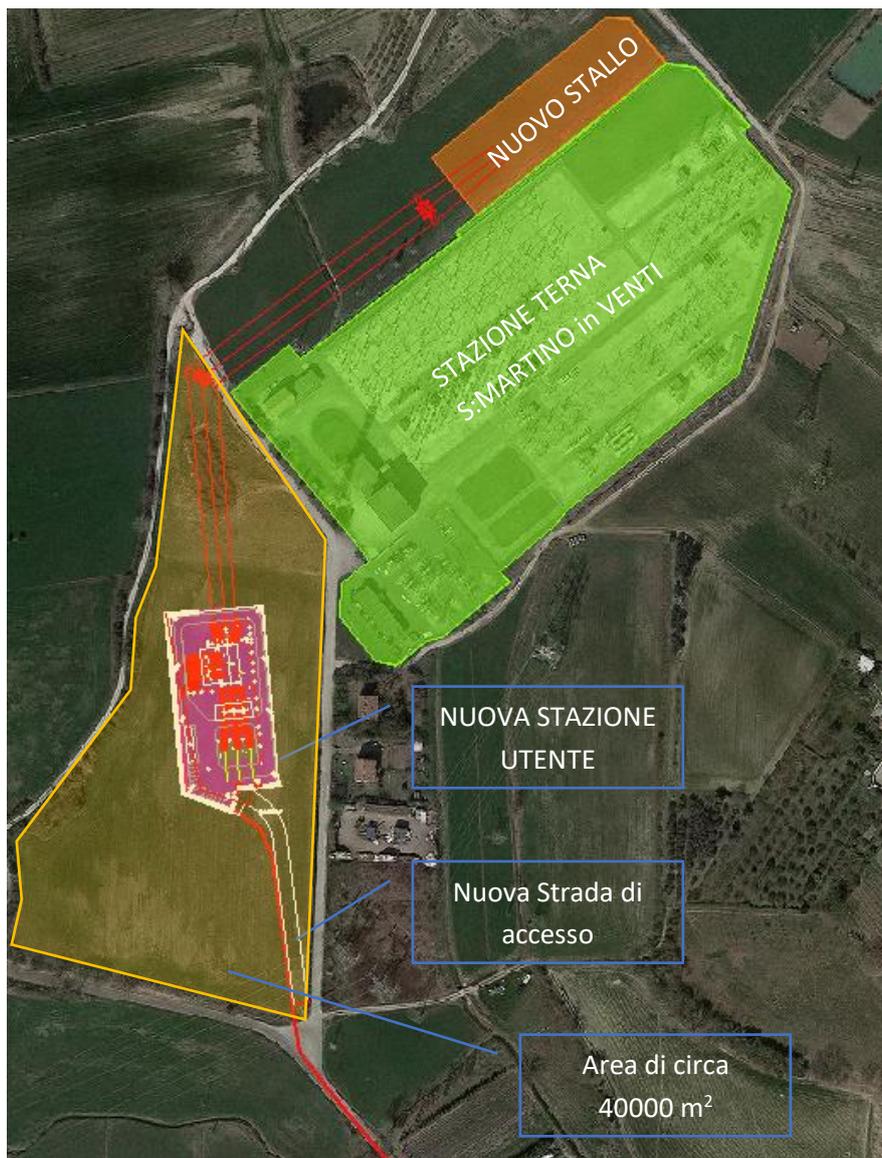


Figura 6-13 Stazione Utente e area Terna .

Nella Stazione di Transizione Aereo_Cavo vengono posizionati:

- La sezione in alta tensione a 380 kV, composta da uno stallo di arrivo in cavo interrato ed una partenza linea aerea, con apparati di misura e protezione (TV e TA);
- un reattore shunt da 160 Mvar per la compensazione della potenza reattiva (reattore in tre banchi 53 Mvar), protetto da muri anti fuoco, alti circa 8 m;
- locale di misura accessibile dall'esterno e edificio quadri e controllo;
- Sistemi di protezione, monitoraggio, comando e controllo;
- Sistemi ausiliari;
- Cunicoli cavi, vani interrati accessori, disoleatore e impianti trattamento acque del piazzale.

La linea aerea a 380 kV, di lunghezza pari a 350 m, parte dal portale installato nelle Stazione di Transizione Aereo-Cavo, attraversa il terreno agricolo in cui ricade la stazione stessa, per poi allinearsi alla recinzione nord della Stazione TERNA fino a giungere all'area dedicata alla realizzazione dell'ampliamento che ospita lo Stallo di connessione alla RTN.

La linea elettrica aerea AT 380 kV è costituita da una palificazione a semplice terna armata con tre fasi ciascuna composta da un fascio di 2 (binato) conduttori di energia e una corda di guardia e da n.4 sostegni di seguito elencati:

- N.1 Portale tipo h=21 ubicato all'interno della stazione elettrica utente di transizione aereo-cavo;
- N.2 Sostegni (P1) tipo CA27 e (P2) EA27;
- N.1 Portale tipo h=21 ubicato all'interno dello Stallo 380 kV ubicato nella parte in ampliamento della stazione elettrica 150/380 kV "San Martino in Venti".

I sostegni, data la brevità della linea, saranno installati ad una distanza di circa 150-200 m.

Per la realizzazione dell'ampliamento della sezione a 380 kV della stazione elettrica di "San Martino in Venti" e dello Stallo di arrivo a 380 kV è necessario, come indicato dal gestore della rete TERNA, l'interramento dell'ultima campata della linea elettrica aerea a 132 kV "San Martino-Gambettola" in ingresso alla stazione elettrica 380 kV di "San Martino in Venti".

Nell'area di ampliamento saranno realizzati il prolungamento del doppio sistema di sbarre a 380 kV esistente e l'interramento mediante posa di una terna cavi AT dell'ultima campata della linea elettrica aerea a 132 kV "San Martino-Gambettola" in ingresso alla stazione elettrica 380 kV di "San Martino in Venti".

Il progetto prevede che l'area di cantiere sia costituita essenzialmente dai lotti su cui insisterà lo stesso impianto, sia per la parte di Stazione che dello Stallo, utilizzando al massimo i piazzali di nuova realizzazione per allocare baraccamenti e stoccare i materiali necessari; per la parte di Stazione, dato l'andamento morfologico del terreno mediamente acclive, oltre ai piazzali sarà utilizzata un'area temporanea di circa 5000 mq nella parte più pianeggiante, per abbancare i materiali provenienti dagli scavi; analogamente sarà occupata una porzione del lotto attigua all'area di ampliamento del piazzale dello Stallo.

La tipologia di apparecchiature e di opere realizzate nella Stazione Terna sono considerate come riferimento per il progetto e utili per comprendere l'entità delle lavorazioni e la loro effettiva geometria e occupazione.

Considerata l'ubicazione della Stazione Elettrica, si realizzerà come viabilità di servizio che conduce al cantiere un tratto strada che si attesta sullo slargo esistente su via San Martino in Venti con accesso prossimo alla strada privata esistente di accesso alla Stazione TERNA.

La strada, lunga circa 130 m e di sezione complessiva pari a 7 m, sarà la stessa che garantirà l'accesso alla Stazione in progetto anche in fase di esercizio.

Per quanto riguarda la realizzazione dello Stallo 380 kV, l'area di cantiere sarà raggiungibile dalla viabilità esistente che delimita a nord ovest e nord est della Stazione TERNA.

Per la realizzazione delle opere sono state individuate le principali fasi operative (comuni sia per la Stazione che per lo Stallo) illustrate di seguito:

FASE PRELIMINARE:

- Verifiche strumentali per l'accertamento della presenza di ordigni bellici e di eventuali sottoservizi o condotte sotterranee esistenti;
- Recinzione delle intere aree di cantiere;
- Apprestamenti del cantiere e baraccamenti relativi alla viabilità di nuova realizzazione;
- Preparazione dell'area temporanea di cantiere e posizionamento dei baraccamenti.

REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI CANTIERE:

- Scotico del terreno vegetale e abbancamento del materiale ai margini del tracciato stradale di nuova realizzazione;
- formazione del piano stradale con realizzazione di scarpate e rilevati;
- Scavo e realizzazione tubiera per interrimento elettrodotto interrato cavo 380 kV.
- formazione del cassonetto stradale e di cunette laterali provvisorie di regimentazione delle acque;
- formazione dello strato superficiale della strada in misto stabilizzato;

REALIZZAZIONE DEL PIAZZALE:

- Scotico del terreno vegetale e abbancamento nell'area temporanea attigua al piazzale per il successivo vaglio e recupero per i ripristini;
- Realizzazione fossi di guardia a monte del piazzale per regimentare le acque meteoriche;
- Sbancamento ampio di terreno e formazione del piano del piazzale con realizzazione di scarpate e rilevati;
- Abbancamento del materiale scavato nell'area temporanea attigua al piazzale, per il successivo vaglio e riposizionamento per la formazione delle quinte morfologiche e per il conferimento a discarica degli esuberanti;
- Realizzazione tubiera per interrimento elettrodotto interrato cavo 380 kV.

REALIZZAZIONE OPERE CIVILI

- Realizzazione dei muri perimetrali di sostegno;
- predisposizione di vespaio con pietrame a monte dei muri di contenimento, previa predisposizione di tubi drenanti, e ricoprimento dello scavo con materiale idoneo precedentemente abbancato;
- Scavi a sezione ristretta e predisposizione delle fondazioni degli edifici, dei sostegni, del portale, degli armamenti, delle apparecchiature elettromeccaniche, delle vasche del disoleatore e di trattamento delle acque;
- Predisposizione delle dime e delle piastre di appoggio degli armamenti;
- Realizzazione dei cunicoli e della rete di smaltimento delle acque;
- Realizzazione delle fondazioni dei muretti di aggancio delle recinzioni;
- Realizzazione degli edifici, dell'impiantistica interna e delle finiture e posizionamento delle strutture prefabbricate.

FINITURE E IMPIANTISTICA

- Infilaggio cavi e collegamenti tra gli edifici e le future apparecchiature attraverso i cunicoli;
- Realizzazione strato di finitura del piazzale in misto stabilizzato e ghiaia nelle piazzole che ospitano gli armamenti, i sostegni e le apparecchiature elettromeccaniche;
- Montaggio dei sostegni e degli armamenti;
- Collegamenti elettrici interrati e aerei tra le apparecchiature;
- Realizzazione del marciapiede;
- Completamento strato di finitura della viabilità interna al piazzale con asfalto ecologico drenante;
- posizionamento delle caditoie e finitura delle cunette e delle banchine del tratto stradale con rullatura dello strato superficiale;
- Montaggio delle recinzioni metalliche e dei cancelli di accesso;
- Ripristini intonaci e eventuali tinteggiature dei manufatti.

RIPRISTINI

- Trasferimento a discarica dei terreni in esubero;
- Smontaggio dei baraccamenti e rimozione degli apprestamenti di cantiere;
- Ricoprimenti delle aree temporaneamente occupate, con formazione di quote morfologiche da realizzare con parte del terreno scavato, su tre porzioni di terreno limitrofe alla Stazione di Transizione, della superficie complessiva pari a 14.000 mq, che consentono di ricollocare circa 23.000 mc di terreno;
- inerbimenti delle scarpate con idrosemina e piantumazioni;
- smontaggio delle recinzioni perimetrali di confinamento del cantiere, della cartellonistica e di tutti gli elementi accessori utilizzati per segnalare le aree di lavoro.

7 CRONOPROGRAMMA LAVORI

Nella stesura del Cronoprogramma dei Lavori, sono state considerate le seguenti valutazioni:

- Alcune attività, quali la fabbricazione e l'installazione delle sottostazioni elettriche e degli altri componenti devono procedere "in serie", cioè la successiva non può iniziare fino al completamento della fase precedente;
- Alcune attività, come la fabbricazione della sottostazione elettrica a terra, possono procedere parallelamente alle altre fasi, in quanto il sito operativo è differente.
- Sono stati considerati 3 mezzi per l'installazione delle componenti a mare: uno per il varo e la posa dei cavi, uno per le piattaforme e uno per le turbine.
- In accordo alle date schedate, **i tempi di realizzazione del parco eolico sono di circa 24 mesi**, comprendendo una parte iniziale molto ampia per le indagini geofisiche e geotecniche in mare.
- La data stimata di inizio lavori è totalmente indicativa in quanto dipende dal tempo che occorrerà per la chiusura della fase autorizzativa, per la progettazione esecutiva e per le fasi contrattuali; ai soli scopi della definizione delle fasi di lavoro, delle tempistiche necessarie e dell'organizzazione delle fasi concomitanti, la data di inizio delle attività, da cronoprogramma parte dal 1 luglio 2023.
- Considerando imprevisti, è plausibile considerare che la fine dei lavori possa essere entro il 2025.

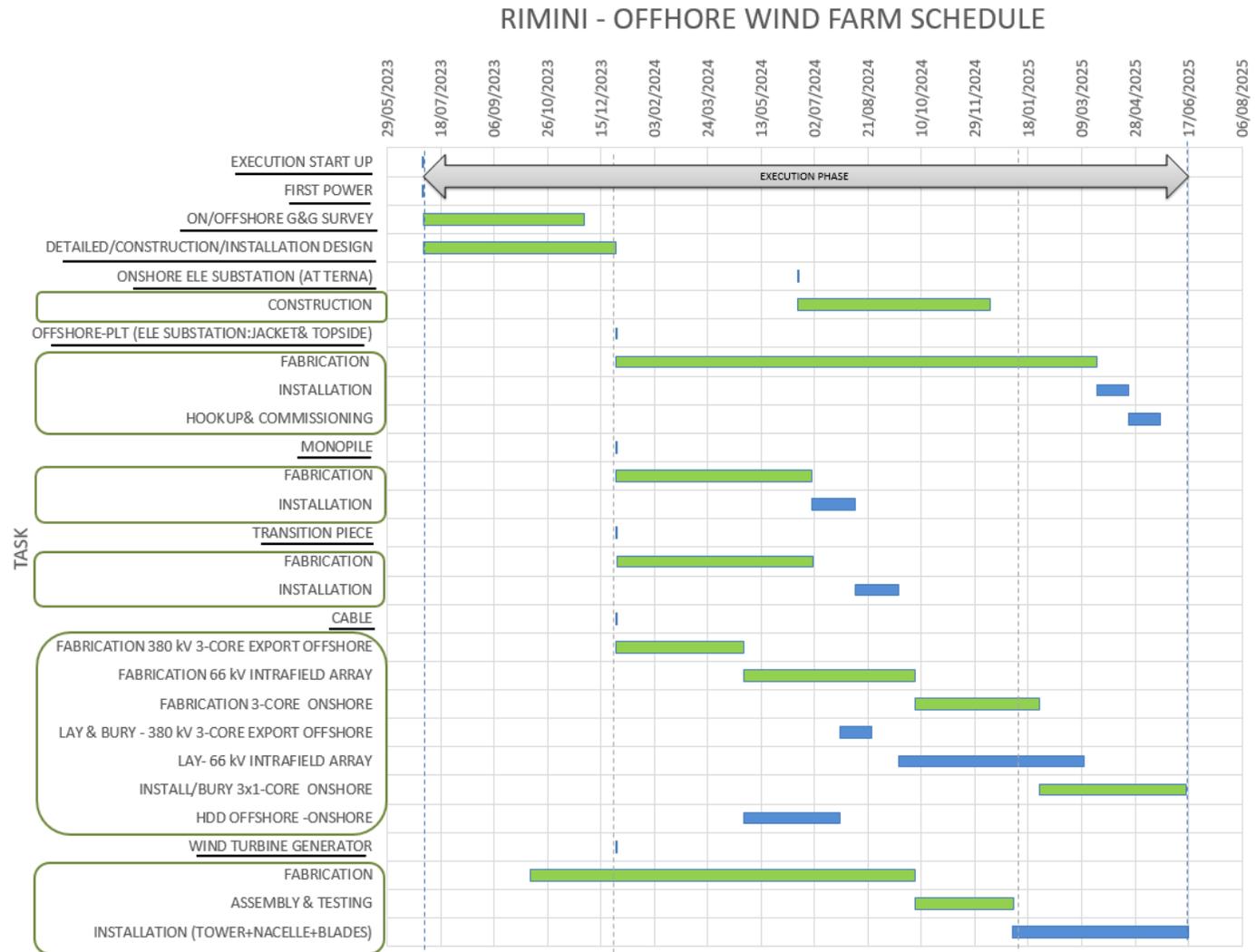


Figura 7-1 Cronoprogramma lavori

8 RIFERIMENTI

- /A1/ Annex 1 WTG drawings of MySE6.45
- /A2/ Annex 2. -Technical Specification of MySE6.45-180
- /A3/ Health effects and wind turbines: A review of the literature, Knopper L D and Ollson CA. – Environmental Health, 10:78; 2011;
- /A4/ D.M. 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili 10A11230"
- /A5/ "VESTAS 0067-7060_V00 - General Description 4MW Platform", Par. 8.1., VESTAS;
- /A6/ "VESTAS 0065-1415 V00 - Technical description of a 67 m blade", VESTAS;
- /A7/ENERGY ACT 2004: OFFSHORE WIND ELECTRICITY GENERATING STATION, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, UK
- /A8/Installation of offshore wind turbines: A technical review, Zhiyu Jiang, Nov 2020
- /A9/Breakbulk Project Cargo
- /A10/Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean westesouth wind farm, Dang Ahn a, Sung-chul Shin a, Soo-young Kim a, Hicham Kharoufi a, Hyun-cheol Kim, Luglio 2016.
- /A11/Offshore Wind Turbine Transportation & Installation Analyses Planning Optimal Marine Operations for Offshore Wind Projects, Gotland University, 2011
- /A12/Guidance Notes: Applying for Safety Zones around Offshore Renewable Energy Installations (BEIS, 2011)
- /A13/Relazione Moto Ondoso_OWFRMN_V2.SC2.05
- /A14/Rabiei, Yi, Bayat, Cheng, Osbak - "New Method for Predicting Pullback Force for Pipes Installed via Horizontal Directional Drilling (HDD)"
- /A15/OWFRMN_V2.SC2.06.1 Relazione Sismica E Sulle Strutture (Mare)
- /A16/OWFRMN_V2.SC2.02.2 Relazione descrittiva tracciato elettrodotto
- /A17/Installation of offshore wind turbines: A technical review-Elsevier

9 APPENDICE (CALCOLO HDD TERRA-MARE)

In questa appendice viene eseguito il calcolo della forza necessaria per il tiro del tubo "conduit" (portacavo) dal punto di partenza offshore alla uscita nell'area buca giunti.

La Figura 9-1 mostra lo schema del percorso dell'HDD con i parametri geometrici principali riportati.

I parametri utilizzati nelle analisi sono riassunti nella Tabella 9.1 e Tabella 9.2 .

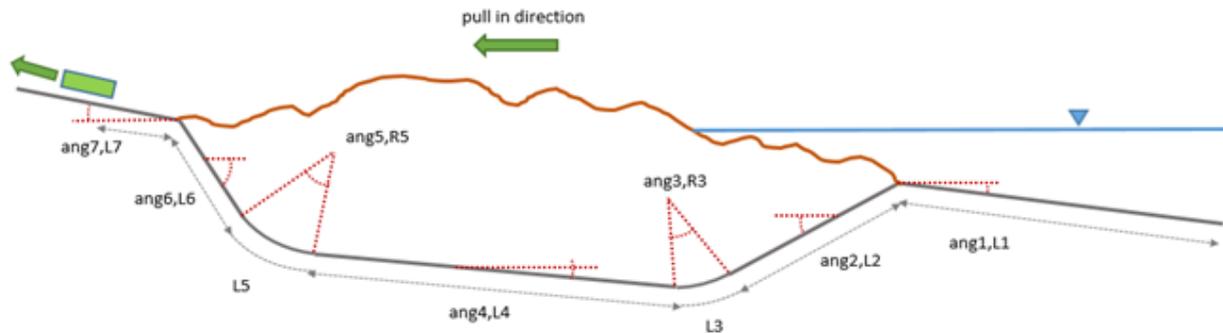


Figura 9-1 Schematico di HDD.

Parametro	Unità	Cavo	Conduit (tubo guida)
Diametro Nominale	pollici	11	42
Diametro esterno	mm	285	1067
Spessore	mm	NA	31.75 ¹⁾
Grado acciaio		NA	API 5L X52 PSL2
1) Lo spessore è stato selezionato per minimizzare il galleggiamento nei fanghi di circolazione, considerando una densità di 1150 kg/m ³ e quindi minimizzare le forze di tiro.			

Tabella 9.1 – Principali dati cavo di export e del tubo guida

Parametro	Unità	Acronimo	Conduit (tubo guida)
Lunghezza totale	m	L1	1492
<u>Lunghezza di sezione 1</u>	m	L2	0
Pendenza di sezione 1	deg	ang1	0
<u>Lunghezza di sezione 2</u>	m	L2	228
Pendenza di sezione 2	deg	ang2	5
Raggio di curvatura 3	m	R3	1067
Angolo di curva sezione 3	deg	ang3	5
<u>Lunghezza di sezione 3</u>	m	L3	93

<u>Lunghezza di sezione 4</u>	m	L4	891
Pendenza di sezione 4	deg	ang4	0
Raggio di curvatura 5	m	R5	1067
Angolo di curva di sezione 5	deg	ang5	12
<u>Lunghezza di sezione 5</u>	m	L5	223.5
<u>Lunghezza of sezione 6</u>	m	L6	56
Pendenza di sezione 6	deg	ang6	12
<u>Lunghezza di sezione 7</u>	m	L7	0
Pendenza di sezione 7	deg	ang7	0

Tabella 9.2 – Geometria HDD

La metodologia qui descritta si basa sulle linee guida fornite dal Rif. /a14/.

La forza assiale subite dalla sezione della tubazione durante l'installazione nel foro dell'HDD sono state calcolate considerando il contributo di ciascuna sezione del percorso dell'HDD.

Nelle sezioni seguenti viene descritta la metodologia utilizzata per calcolare il contributo della forza di trazione.

9.1 Sezioni dritte

Un tipico segmento di tubo diritto sottoposto a forze applicate, esclusa la resistenza viscosa, è mostrato in Figura 9-2.

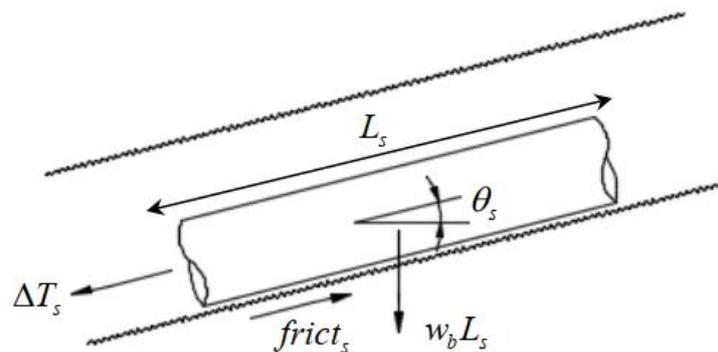


Figura 9-2 Un tipico segmento di tubo diritto sottoposto a forze applicate, esclusa la resistenza viscosa

Risultando dall'equilibrio statico, l'incremento della forza di trazione lungo un segmento rettilineo è dato come:

$$\Delta T_w = v_b L_c w_b \sin \varphi \pm L_c w_b \cos \varphi$$

Ove:

$$frict_s = v_b w_b L_s \cos \theta_s$$

è la forza di attrito tra il tubo e la superficie del foro in kN

e

w_b	:	è il peso unitario sommerso del tubo in kN/m
L_s	:	è la lunghezza del segmento in m
θ_s	:	è l'angolo dell'asse tubo/foro rispetto all'orizzontale in rad

9.2 Sezioni Curve

La variazione della forza di trazione lungo un segmento di tubo curvo è il prodotto di tre diversi componenti: peso di galleggiamento del tubo, rigidità alla flessione del tubo e cambiamento di direzione della forza. Nella sezione seguente vengono discussi ciascuno di questi componenti e la procedura corrispondente per determinarne i valori.

9.2.1 Pipe Buoyant Weight

La Figura 9-3 mostra un segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dal peso galleggiante del tubo. Questo componente rappresenta l'effetto del peso galleggiante del tubo sulla variazione della forza di trazione. Conoscendo la lunghezza del segmento di tubo curvo, L_c (m) il contributo del peso del tubo alla variazione della forza di trazione lungo il segmento, T_w , può essere valutato come:

$$\Delta T_w = v_b L_c w_b \sin \varphi \pm L_c w_b \cos \varphi$$

where

v_b	:	è il coefficiente di attrito nel foro
φ	:	è l'angolo tra la linea radiale passante per il punto medio del segmento e l'orizzontale

In questa equazione, il segno del secondo termine è positivo quando il segmento viene inserito nel terreno e negativo quando viene tirato verso l'alto.

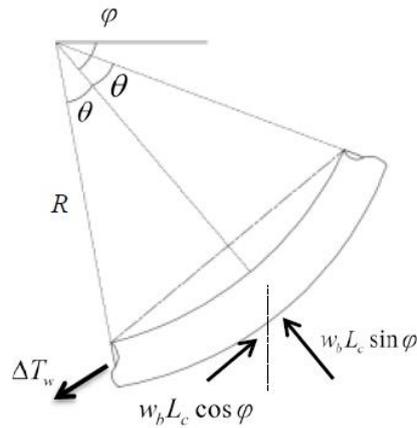


Figura 9-3 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dal peso sommerso del tubo

9.2.2 Rigidezza del tubo

Figura 9-4 mostra una trave a sbalzo sotto un carico concentrato, F(kN), applicato alla punta della trave. La lunghezza del raggio è L_b(m) e si presume che subisca grandi deflessioni. La relazione tra carico concentrato e pendenza massima in punta, ϕ_0 , è data come:

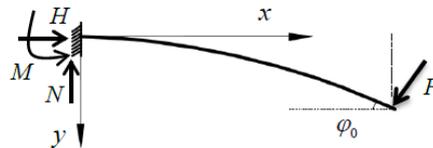


Figura 9-4 Trave a sbalzo sotto carico concentrato in punta

$$L_b = \sqrt{\frac{EI}{2F}} \int_0^{\phi_0} \frac{1}{\sqrt{\sin \phi_0 \cos \phi - \cos \phi_0 \sin \phi}} d\phi$$

ove EI (kNm²) è la rigidezza flessionale.

La forza di reazione della trave al supporto in direzione verticale è la componente y del carico di punta, Fcos ϕ_0 . L'equazione di cui sopra può essere riorganizzata come :

$$F = \frac{EI}{L_b^2} \frac{X^2}{2}$$

dove X è il valore dell'integrale dell'equazione precedente.

Figura 9-5 mostra un segmento di tubo curvo senza peso sotto le forze sviluppate tra il tubo e la parete del foro a causa della rigidità del tubo. In questa figura, si può assumere che ciascuna metà del segmento di tubo curvo si comporti come una trave a sbalzo; quindi, la reazione a metà campata del tubo è:

$$2N = 2 \times F \cos \varphi_0$$

Inoltre, conoscendo la rotazione massima della trave data dalla geometria del foro, che è $\varphi_0 = \theta$, le forze di reazione alle estremità del tubo possono essere determinate e l'aumento della forza di trazione dovuto alla rigidità alla flessione del tubo è dato come:

$$\Delta T_s = 2Fv_b(1 + \cos \varphi_0)$$

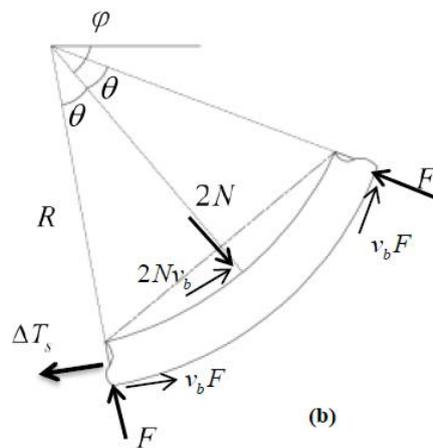


Figura 9-5 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dalla rigidità alla flessione del tubo

9.2.3 Cambio di direzione della forza di trazione

Questo componente tiene conto dell'aumento della forza di attrito dovuto al cambio di direzione della forza di trazione tra le estremità di un segmento di tubo che negozia un foro curvo. La Figura 9-6 mostra un segmento di tubo senza peso con rigidità alla flessione zero sottoposto a forze di trazione alle estremità con una forza di reazione nel mezzo.

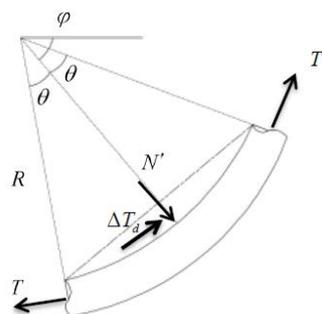


Figura 9-6 Un tipico segmento di tubo curvo sottoposto a forze originate dal cambiamento di direzione della forza di trazione lungo una curva

In Figura 9-6, $T' = T$ e la forza di reazione della curva, N' , può essere calcolata scrivendo l'equazione di equilibrio della forza lungo la bisettrice come:

$$N' = 2T \sin \theta$$

dove T (kN) è la forza di trazione totale sconosciuta all'estremità di una curva. Pertanto, l'entità dell'amplificazione della forza di attrito dovuta al cambio di direzione della forza di trazione è:

$$\Delta T_d = 2v_b T \sin \theta$$

Una volta determinati i valori di tutti i componenti, l'incremento totale della resistenza per attrito lungo un segmento curvo può essere calcolato come:

$$\Delta T_c = \Delta T_w + \Delta T_s + \Delta T_d$$

Questa equazione può essere riscritta sotto forma di forza all'estremità del tubo come:

$$T = \frac{\Delta T_w + \Delta T_s + T_1}{1 - 2v_b \sin \theta}$$

dove T_1 è la forza di trazione del tubo all'estremità opposta.

9.3 Resistenza viscosa dei fanghi

La seguente equazione è stata utilizzata per calcolare la resistenza viscosa nei fanghi:

$$T_f = 12L\pi D_p \mu_{mud}$$

dove L (m) è la lunghezza interna del tubo e μ_{mud} è il coefficiente di resistenza del fluido, in questo caso considerata pari a 0.025 psi.

Per determinare la forza di tiro, gli incrementi della resistenza per attrito lungo la tubazione da tutti i segmenti rettilinei e curvi vengono sommati e aggiunti alla resistenza fluidica come segue:

$$T_{pullback} = T_f + \sum (\Delta T_w + \Delta T_s + \Delta T_d)$$

9.4 Calcolo del tiro

Il calcolo è stato effettuato con I seguenti parametri:

- Coefficiente di attrito coulombiano pari a 0.5;
- coefficiente viscoso dei fanghi pari a 0.025 psi.
- Forza di trazione considerando o meno un fattore di sicurezza pari a 1.5.

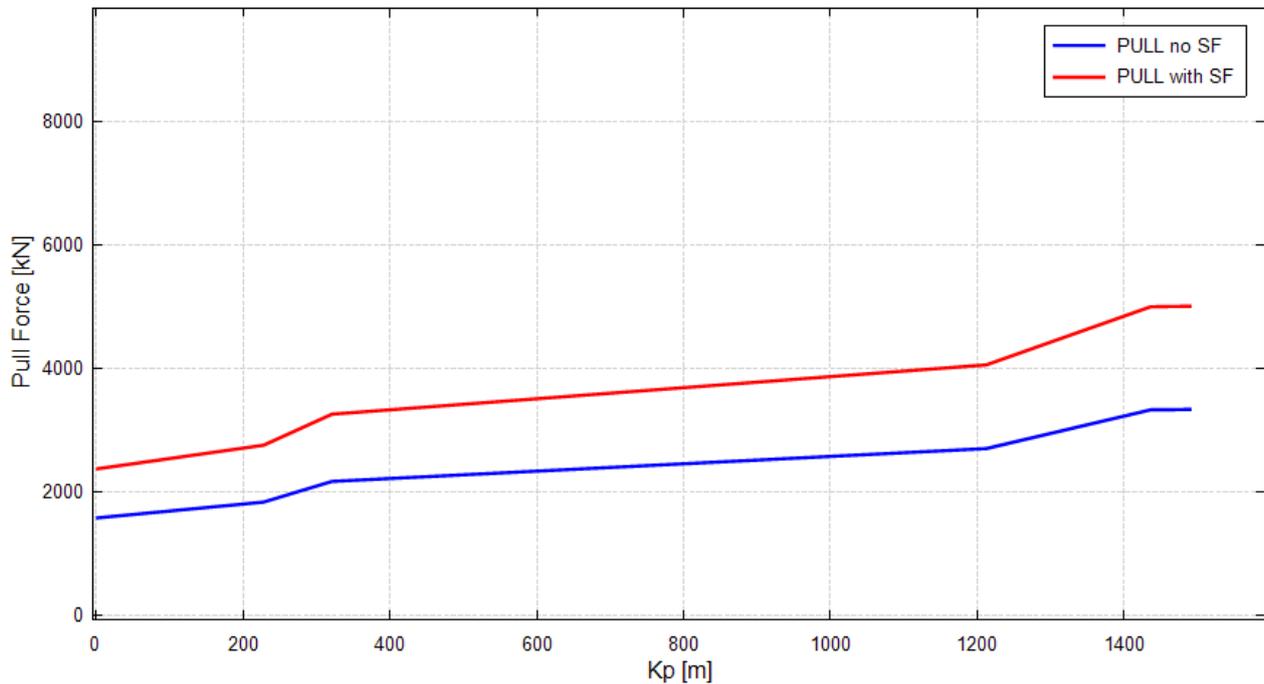


Figura 9-7 Calcolo dei tiri lungo la rotta con (linea rossa) e senza (linea blu) fattore di sicurezza pari a 1.5.

Dal grafico in Figura 9-7 si evince che sia necessario un HDD rig da almeno 600 tonnellate di tiro/spinta sia necessario per svolgere l'operazione dell'installazione della condotta camicia (conduit) di protezione del cavo (caso dimensionante).

Gli stress totali equivalenti sulla condotta per effettuare l'operazione sono stati verificati e accettabili in accordo alla ISO 13623 (unity check < 0.5).