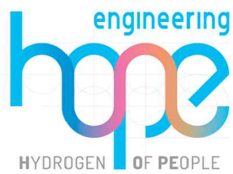


PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA  
 PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO  
 NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - NEMETUN ISLAND  
 63 WTG – 945 MW

**PROGETTO DEFINITIVO - SIA**

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progettazione e Studio di Impatto Ambientale



GEOWYND



Indagini ambientali e studi specialistici



Studio misure di mitigazione e compensazione



Supervisione scientifica



**SIA.ES STUDI SPECIALISTICI**

**ES.2.3 Valutazione Previsionale di Impatto Acustico e Vibrazionale aree onshore**

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	02/24	1° emissione



## INDICE

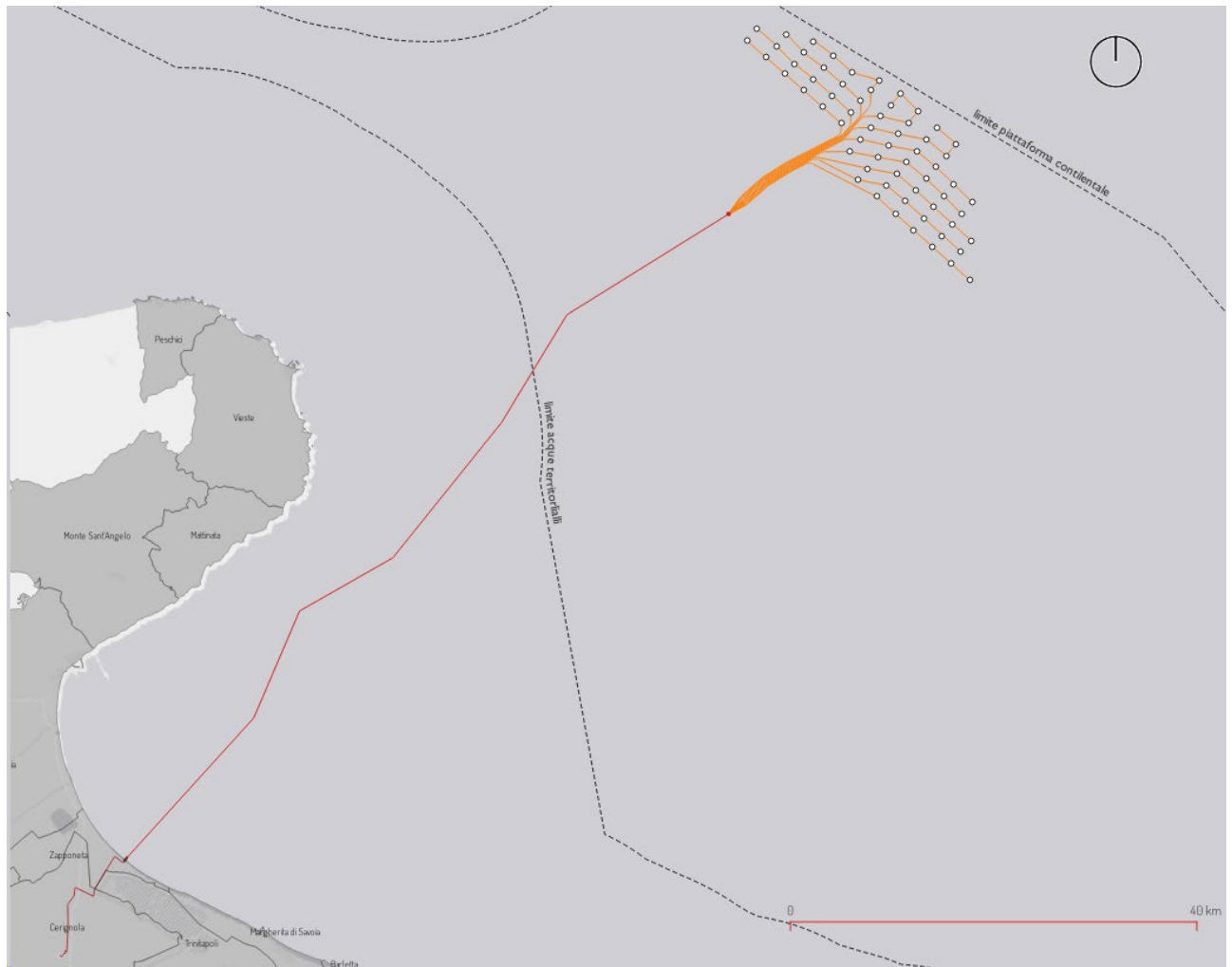
1	PREMESSA.....	1
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO .....	3
	2.1 OPERE OFFSHORE .....	3
	2.2 OPERE ONSHORE .....	4
3	IDENTIFICAZIONE DEI RICETTORI NELLA FASE DI CANTIERE .....	5
4	VALUTAZIONE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO NELLA FASE DI CANTIERE.....	6
	4.1 OPERE DI CANTIERIZZAZIONE .....	6
	4.1.1 <i>Installazione opere meccaniche e civili</i> .....	6
	4.1.2 <i>Cantiere del cavidotto</i> .....	8
	4.2 FASI DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DEL CAVIDOTTO CON INTERFERENZE .....	10
5	COMPONENTE VIBRAZIONI .....	11
	5.1 VERIFICA DEGLI EFFETTI SULLA POPOLAZIONE .....	11
	5.2 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	11
	5.3 PRINCIPALI RECETTORI .....	12
	5.4 GESTIONE DELLE ANOMALIE .....	12
	5.5 MISURE DI MITIGAZIONE DELL'IMPATTO VIBRAZIONALE .....	13
6	SIMULAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE .....	14
	6.1 DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE .....	14
	6.2 METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI .....	14

## 1 PREMESSA

Il progetto di un impianto eolico offshore nasce da alcune considerazioni fondamentali:

- il nord Europa è leader mondiale nel settore dell'eolico offshore, al contrario, questa specifica tipologia di impianti, ha avuto scarso sviluppo nei paesi dell'area mediterranea. Questo a causa di numerosi fattori a carattere infrastrutturale, ambientale e paesaggistico che spesso hanno comportato una scarsa accettazione sociale di tale tipologia di impianti.
- Le tecnologie per la realizzazione di impianti eolici offshore sono ormai consolidate ed il costante progresso consente oggi di installare impianti in acque profonde con fondazioni flottanti e turbine sempre più performanti. Ciò determina la possibilità di realizzare impianti molto distanti dalla costa superando le principali criticità ambientali e paesaggistiche senza interferire con le ordinarie attività antropiche presenti sul territorio (turismo, pesca, navigazione, ecc).
- Lo sviluppo di impianti eolici offshore è fondamentale per poter raggiungere gli obiettivi della attuale programmazione strategica italiana ed europea in materia di generazione di energia da fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni. Solo investendo su impianti eolici offshore con fondazioni galleggianti si potrà aumentare considerevolmente la potenza installata di impianti di generazione di energia da fonte rinnovabile superando tutte le problematiche che finora hanno ostacolato l'installazione di aerogeneratori nel Mar Mediterraneo.
- Oltre a considerare gli effetti positivi generali derivanti dalla produzione di energia da fonti rinnovabili in termini di decarbonizzazione è ampiamente dimostrato che la realizzazione di un impianto eolico in mare ha effetti importanti in termini di ripopolamento della fauna marina, d'altra parte la presenza di tali impianti rende impossibili altre forme di utilizzo o sfruttamento dell'area creando un'area marina protetta "di fatto". La realizzazione e la successiva fase di esercizio e manutenzione rappresentano inoltre una opportunità strategica per le aree limitrofe con effetti rilevanti per l'economia locale e l'occupazione.

Le considerazioni menzionate hanno portato la società proponente Nemetun Island Srl a definire la proposta progettuale di un impianto offshore per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica. L'impianto, denominato Nemetun Island, avrà una potenza nominale di 945 MW e sarà composto da 63 aerogeneratori installati su fondazioni flottanti, insieme a una sottostazione elettrica di trasformazione 66/400 kV, entrambi posizionati nel Mare Adriatico meridionale.



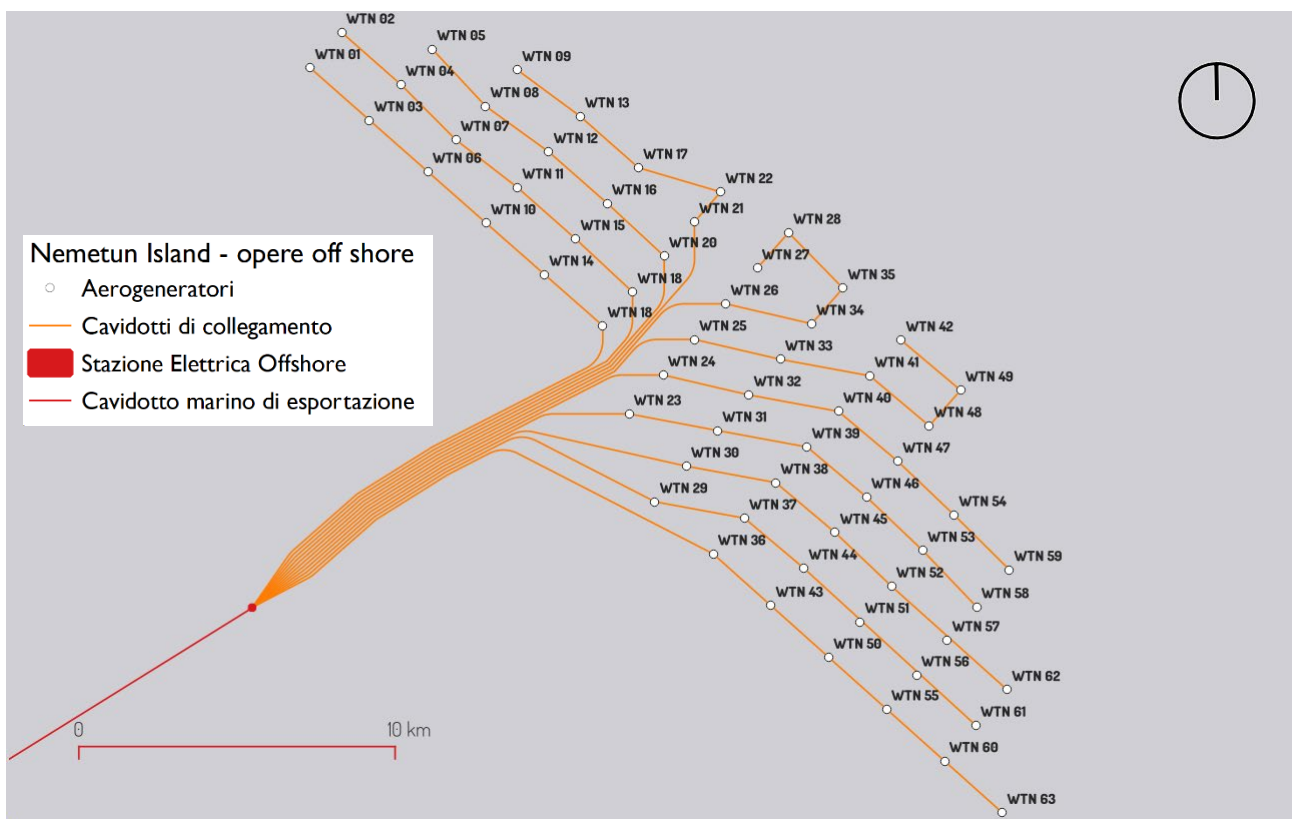
*Il layout dell'impianto eolico Nemetun Island*

## 2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO

### 2.1 OPERE OFFSHORE

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

- **63 generatori eolici** installati su torri tubolari in acciaio e le relative fondazioni flottanti suddivisi in 11 sottocampi;
- **11 linee elettriche in cavo sottomarino** di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica di raccolta e di trasformazione off-shore, con tutti i dispositivi di trasformazione di tensione e sezionamento necessari;
- **Una Stazione Elettrica Off-Shore (66/400 kV) (SE)**, ovvero tutte le apparecchiature elettriche (interruttori, sezionatori, TA, TV, ecc.) necessarie a raccogliere l'energia prodotta nei sottocampi eolici elevandone la tensione da 66 kV a 400 kV. La stazione elettrica marina sarà distante all'incirca 45 km dalla costa garganica e 12 km dal parco eolico in un tratto di mare caratterizzato da quote batimetriche comprese tra i 160 e i 170 m di profondità;
- **Un elettrodotto di esportazione in HVAC** della lunghezza di circa 88,7 Km pari a circa 48 miglia nautiche, caratterizzato da un primo tratto in cavo marino a 400 kV, servirà per collegare l'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) sulla terra ferma.



*Rappresentazione sintetica delle opere a mare*

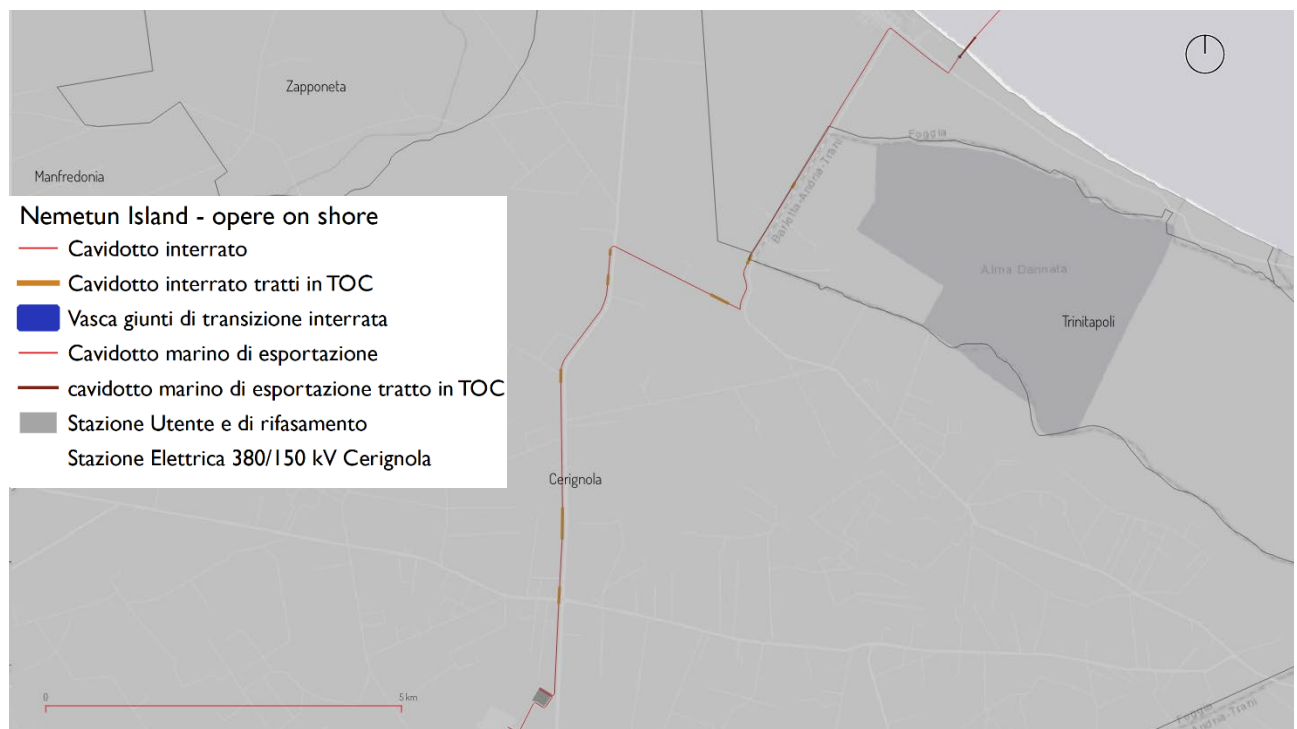
## 2.2 OPERE ONSHORE

Per quanto concerne la connessione alla RTN, la centrale sarà collegata in doppia antenna a 380 kV sul futuro ampliamento di una Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/150 kV attualmente in fase di costruzione in agro di Cerignola.

Nelle vicinanze del punto di sbarco previsto nel comune di Zapponeta verrà realizzata una buca giunti interrata di transizione da cavo marino a cavo terrestre e da lì in poi il cavo proseguirà con posa interrata seguendo la viabilità pubblica esistente. L'energia prodotta verrà quindi convogliata nella Sottostazione elettrica condominiale dotata di un Gruppo di rifasamento della capacità massima di 420 kV, previsti all'interno di un edificio industriale nelle vicinanze della Stazione Elettrica TERNA di Cerignola e del suo futuro ampliamento.

In tali ipotesi le opere a terra constano di:

- **La vasca giunti di transizione interrata**, posizionata nelle vicinanze del punto di approdo nel comune di Zapponeta, consentirà la transizione dal cavo sottomarino al cavo destinato alla posa interrata;
- **Un elettrodotto interrato in doppia terna a 380 kV**, esteso per circa 16 km, sarà prevalentemente situato lungo la viabilità pubblica nei territori dei comuni di Zapponeta, Trinitapoli e Cerignola, con brevi transiti su terreni agricoli. La posa avverrà principalmente attraverso scavi a sezione obbligata, ma per gestire interferenze lungo il percorso, saranno realizzati 11 tratti posati mediante la tecnica priva di scavi denominata "Trenchless Onsite Construction" (TOC). Gli 11 tratti avranno lunghezze variabili, come rappresentato negli elaborati di progetto;
- **Una serie di 17 vasche giunti intermedie**, situate lungo il tracciato del cavidotto interrato con interdistanza variabile tra 700 e 950 metri, le giunzioni intermedie saranno realizzate nell'ambito dello scavo a sezione obbligata previsto per la posa dell'elettrodotto;
- **Una Sottostazione elettrica di utenza per la condivisione dello stallo che sarà dotata di un gruppo di rifasamento isolato in GIS dedicato all'impianto Nemetun Island**, con una capacità massima di 420 kV, composto da due reattori di tipo Shunt, che sarà collocato in un edificio industriale situato nel comune di Cerignola, nelle vicinanze del punto della nuova Stazione Elettrica e del suo futuro ampliamento.



*Rappresentazione sintetica delle opere a terra*

### 3 IDENTIFICAZIONE DEI RICETTORI NELLA FASE DI CANTIERE

Il tracciato del cavidotto terrestre seguirà un tracciato di circa 16 km che segue la viabilità pubblica esistente nei territori dei comuni di Zapponeta, Trinitapoli e Cerignola, con brevi transiti su terreni agricoli fino al futuro ampliamento di una Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/150 kV attualmente in fase di costruzione in agro di Cerignola, dove sarà costruita anche la sottostazione elettrica di utenza per la condivisione dello stallo che sarà dotata di un gruppo di rifasamento isolato in GIS dedicato all'impianto Nemetun Island.

Come in evidenza nell'immagine che segue sono state censite le costruzioni a poca distanza dal percorso del cantiere del cavidotto, con discriminazione di abitazione, attività ricettiva e ristorazione.



*Tracciato del cavidotto*

## 4 VALUTAZIONE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO NELLA FASE DI CANTIERE

Dal punto di vista normativo l'attività di cantiere per la realizzazione delle opere oggetto di questo studio può essere inquadrata ed assimilata come attività rumorosa temporanea.

La *Legge Regionale n. 3/2002* stabilisce, al *comma 3 dell'art. 17*, che le emissioni sonore, in termini di livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato (A) [LAeq] misurato in facciata dell'edificio più esposto, non possono superare i 70 dB(A).

L'art. 6, comma 1, lettera h) della Legge 26 ottobre 1995, n. 447, così come la Legge Regionale n. 3 del 12 febbraio 2002 individuano quale competenza dei comuni l'autorizzazione, anche in deroga ai valori limite d'immissione, per lo svolgimento di attività temporanee, nel rispetto delle prescrizioni indicate dal comune stesso.

Nella presente analisi del rumore in fase di cantiere, che risulterà attivo solamente durante le normali ore lavorative diurne, si sono considerate le condizioni maggiormente critiche relative alla fase di costruzione delle opere civili ed alla fase di montaggio e realizzazione delle aree attrezzate previste dal progetto.

Sono fatti salvo in ogni caso gli orari di lavoro giornaliero consentiti dalla Legge Regionale n. 3 del 12/02/2002 che per le emissioni sonore provenienti da cantieri edili sono fissati dalle 7.00 alle 12.00 e dalle 15.00 alle 19.00, fermo restando la conformità alla normativa della Unione Europea dei macchinari utilizzati.

La realizzazione dell'impianto prevede una serie di lavorazioni che possono essere sinteticamente accorpate nelle seguenti attività.

### 4.1 OPERE DI CANTIERIZZAZIONE

La prima fase dell'organizzazione del cantiere consiste nella sistemazione di un'area di cantiere base, dotata di recinzione con rete in plastica sostenuta da paletti metallici mobili o inseriti in piccole zavorre prefabbricate.

Successivamente verranno preparate alcune aree destinate ad ospitare le baracche di cantiere (spogliatoi, deposito) e i servizi igienici. Allo stesso modo, cioè con la pulizia e sistemazione del terreno, verrà definita una piazzola per il deposito del materiale.

#### 4.1.1 Installazione opere meccaniche e civili

Le opere meccaniche e civili sono piuttosto limitate e consistono, nel caso specifico, nelle seguenti lavorazioni:

- Realizzazione Sottostazione di utenza 380 kV
- Scavo e posa dei cavidotti interrati. I cavi vengono posati alle profondità previste dal progetto e lo scavo, realizzato con pala/ escavatore, viene colmato con lo stesso materiale di risulta.

I livelli di pressione sonora o potenza sonora sono indicativi e ricavati da dati di letteratura. Tra le principali fonti individuate come ausilio nella caratterizzazione delle sorgenti si possono citare:

- Le linee guida ISPESL relative alla sicurezza dei luoghi di lavoro;
- Schede tecniche mezzi/attrezzature

I livelli di emissione sonora prodotti da ogni singolo macchinario presente in cantiere durante le diverse fasi lavorative, nell'ambito delle simulazioni prodotte, sono stati presi dalla letteratura di settore e sono esposti nella seguente tabella:

macchina/attrezzatura	Livello di Potenza Sonora in dB(A)	Livello di Pressione sonora a 1m in dB(A)
Escavatore caricatore	106.0	98.0



Autogrù	110.0	102.0
Autocarro	80.0	72.0
Rullo compressore	105.0	97.0
Autobetoniera	112.0	104.0

Si ipotizza una distribuzione spaziale ed uniforme delle sorgenti all'interno della perimetrazione del cantiere (ipotesi cautelativa) che si identifica ai bordi del tracciato della condotta.

Le attività lavorative di cantiere si svolgeranno secondo un cronoprogramma dettagliato, allegato al progetto esecutivo.

In base al documento programmatico, che di seguito viene sintetizzato nelle fasi principali, i lavori saranno svolti in 15 mesi consecutivi per la sottostazione elettrica e potranno richiedere la sovrapposizione temporale nell'esecuzione delle varie attività nelle diverse aree di cantiere.

Si è proceduto a calcolare il livello emesso a distanze predefinite, ossia 50 m, 100 m e 150 m dal limite del cantiere.

<i>Fase di sistemazione area di cantiere base</i>		
<i>Lavorazione</i>	<i>macchine</i>	<i>Somma dei Livelli (Lw)</i>
<i>Rimozione terreno superficiale e livellamento terreno</i>	<i>Escavatore caricatore</i>	111.5 dB(A)
<i>Sistemazione di baracche, wc, spogliatoi</i>	<i>Autocarro + autogrù</i>	
<i>Viabilità temporanea di cantiere</i>	<i>Escavatore caricatore</i>	108.5 dB(A)
<i>Compattamento strato stabilizzato</i>	<i>Rullo compressore</i>	
<i>Fase di realizzazione stazione SSE</i>		
<i>Lavorazione</i>	<i>macchine</i>	<i>Somma dei Livelli</i>
<i>Montaggio recinzione C.A.V.</i>	<i>autocarro + autogrù</i>	110.0 dB(A)
<i>Fondazioni per recinzione e locale tecnico</i>	<i>Betoniera + autocarro</i>	112.0 dB(A)
<i>Trasporto e montaggio cabine prefabbricate</i>	<i>autocarro + autogrù</i>	110.0 dB(A)

Per conoscere il livello emesso dalle sorgenti codificate in precedenza, si fa ricorso al modello di simulazione della propagazione in campo libero, ossia:

$$Lp1-Lp2=20 \log (r_2/r_1)$$

una volta calcolato in base alla relazione  $Lp = Lw - (20 \log D + 8) - \sum A_i$  (a meno delle attenuazioni ambientali) il livello di pressione sonora a 1 m dalla macchina, noto il livello di potenza acustica.

Livello di pressione sonora previsto immesso dal cantiere base			
Fasi di cantiere	Distanza 50 m	Distanza 100 m	Distanza 150 m
Rimozione terreno superficiale e livellamento terreno	69.5 dB(A)	63.5 dB(A)	60.0 dB(A)
Sistemazione di baracche, wc, spogliatoi			
Viabilità temporanea di cantiere	66.5 dB(A)	60.5 dB(A)	57.0 dB(A)
<i>Compattamento strato stabilizzato</i>			

*Livello acustico emesso a distanze note*

Solo nell'ipotesi che le lavorazioni si svolgano contemporaneamente, come indicato, si procederà a verificare a quale distanza il livello di immissione del cantiere è massimo, ossia 70 dB(A). Si sottolinea che i calcoli di previsione non tengono conto degli ostacoli presenti (vegetazione, altri mezzi, lavoratori ecc.) a titolo di sicurezza e pertanto vanno comunque a sovrastimare il risultato.

Livello di pressione sonora previsto immesso dal cantiere stazione SSE			
Fasi di cantiere	Distanza 50 m	Distanza 100 m	Distanza 150 m
Montaggio recinzione C.A.V.	68.0 dB(A)	62.0 dB(A)	58.5 dB(A)
Fondazioni per recinzione e locale tecnico	70.0 dB(A)	64.0 dB(A)	60.5 dB(A)
Trasporto e montaggio cabine prefabbricate	68.0 dB(A)	62.0 dB(A)	58.5 dB(A)

*Livello acustico emesso a distanze note*

Sicuramente per i ricettori posti a distanze minori l'impresa esecutrice provvederà alla richiesta di deroga dai limiti acustici così come stabilito dall'art. 17 della legge 3/2002.

#### 4.1.2 Cantiere del cavidotto

Trattandosi di *sorgenti mobili* ed essendo impiegate come tali nel susseguirsi delle fasi lavorative (per un totale di 12 mesi consecutivi) lungo il percorso della condotta si è deciso di quantificare il valore di pressione sonora globale in cantiere nella fase che risulta essere quella maggiormente caratterizzante le attività (ossia quella di maggiore durata temporale).

Per pura semplificazione in questa trattazione è possibile indicare delle *macrofasi* con le attività lavorative principali e più rumorose che si svolgeranno.

In particolare, i cantieri si distingueranno a seconda del tipo di attraversamento eseguito e della tecnica di scavo. Questo elenco non è esaustivo, ma si ritiene utile in questa fase di analisi di cantiere.

Per quanto concerne la realizzazione del cavidotto di collegamento lo scavo, la posa dei cavi elettrici e la ricopertura avvengono in rapida successione con una velocità media di avanzamento stimabile in circa 80/100 metri al giorno. Si tratta pertanto di un vero e proprio *cantiere stradale*, il cui tracciato segue quello delle strade presenti, limitando l'interferenza nei lotti agricoli il più possibile.

Le principali macchine previste e utilizzate alternativamente sono le seguenti:

Fase di realizzazione cavidotto interrato		
lavorazione	macchine	Livello di pressione sonora in dB(A) [dist. 1m]
Scavo	Mini escavatore	85.0 dB(A)
Ripristino	Rullo compressore	95.9 dB(A)
Posa cavi	Attrezzature manuali	65.0 dB(A)

In un raggio di 50 m dal *cantiere stradale* il livello previsto sarà:

Livello di pressione sonora previsto immesso dal cantiere tipo	
lavorazione	Distanza 50 m
Scavo	51.0 dB(A)
Ripristino	62.0 dB(A)
Posa cavi	31.0 dB(A)

Anche in questo caso i limiti da rispettare sono quelli previsti dall'art. 17 della legge n. 3/2002. I risultati calcolati ad una distanza nota, ossia in facciata ad un ipotetico ricettore, sono al di sotto dei limiti di legge.

Nel caso delle interferenze con altre infrastrutture o attraversamenti di vario genere, ossia con tratti di stradale (Sp e SS), sarà necessario prevedere per tali attraversamenti con un sistema di scavo più avanzato ossia di tipo - TOC - *trivellazione orizzontale controllata*.

Il sistema di posa No-Dig, denominato TOC, consiste nella realizzazione di un foro sotterraneo che costituirà la sede di posa di una tubazione plastica o metallica precedentemente saldata in superficie.

Il foro nel sottosuolo viene realizzato mediante l'azione di una fresa rotante posta all'estremità di un treno d'aste. La fresa può operare a secco (nel terreno tal quale), o con l'ausilio di un fluido di perforazione. Nel primo caso, ad una sostanziale semplificazione delle operazioni di trivellazione, corrisponde una maggiore usura delle attrezzature. Nel secondo caso, ad un impianto di cantiere più complesso e a tempi di realizzazione dei fori relativamente più lunghi, corrisponde una minore usura delle attrezzature e una maggiore precisione di posa delle nuove tubazioni. La realizzazione di nuove tubazioni interrate lungo tracciati predefiniti si basa sulla possibilità di teleguidare dalla superficie la traiettoria della testa di trivellazione.

Una volta raggiunto lo scavo di arrivo, la fresa viene scollegata dal treno d'aste. A queste viene agganciato un alesatore e la testa della tubazione da posare. Durante la fase di estrazione del treno d'aste l'alesatore amplia le dimensioni del foro pilota allo scopo di creare la sede di posa della nuova tubazione a questa collegata.

#### 4.2 FASI DI CANTIERE PER LA REALIZZAZIONE DEL CAVIDOTTO CON INTERFERENZE

Di seguito si riportano le attività di cantiere per il passaggio del cavidotto.

ATTIVITA'	LIVELLO ACUSTICO fase di lavoro/ attrezzatura
Scavo	LW Pala gommata= 106.9 dB(A)
Sistema Trivellazione – TOC	LW TOC trivella= 113.6 dB(A)
Rinterro - ripristino	LW Pala gommata= 106.9 dB(A)

Si prevede che la fase di trivellazione orizzontale controllata (TOC) risulta essere per sua natura particolarmente impattante, ma allo stesso tempo risulta essere circoscritta a specifiche aree trattandosi di una tecnica “trenchless” questa permette di non interessare la parte superficiale del terreno poiché non prevede scavi a cielo aperto.

La maggiore difficoltà legata alla realizzazione di un modello generale per l'intero cantiere nasce dall'alta variabilità spaziale e temporale delle sorgenti, nonché dalle caratteristiche orografiche del territorio. Nel caso specifico del cantiere in oggetto si sono scelti i ricettori sensibili maggiormente esposti alla propagazione sonora.

Livello di pressione sonora previsto immesso dal cantiere con interferenze			
Fasi di cantiere	Distanza 100 m	Distanza 150 m	Distanza 200 m
Scavo	67.0 dB(A)	63.5 dB(A)	61.0 dB(A)
Sistema Trivellazione – TOC			
Rinterro – ripristino			

**Tali valori andranno rispettati negli intervalli di tempo previsti, ossia gli orari di lavoro giornaliero consentiti dalla Legge Regionale n. 3 del 12/02/2002 che per le emissioni sonore provenienti da cantieri edili sono fissati dalle 7.00 alle 12.00 e dalle 15.00 alle 19.00**

## 5 COMPONENTE VIBRAZIONI

Il monitoraggio delle vibrazioni per le opere in progetto ha lo scopo di definire i livelli di vibrazione determinati dalle sorgenti di cantiere, le condizioni di criticità e la compatibilità con gli standard di riferimento in corrispondenza di un campione rappresentativo di ricettori e di seguirne l'evoluzione durante la fase di costruzione. Analogamente al rumore non si prevedono rilievi nella fase di post operam in quanto non risultano alterazioni ambientali a lavori ultimati relativamente alla componente vibrazioni.

Queste verifiche riguardano gli effetti di "annoyance" sulla popolazione e gli effetti di interferenza con edifici e beni monumentali ad alta sensibilità.

### 5.1 VERIFICA DEGLI EFFETTI SULLA POPOLAZIONE

Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e dalla frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'"annoyance" deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni.

Gli effetti sulle persone non hanno un organo bersaglio ma sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

Le campagne di monitoraggio delle vibrazioni sono prevalentemente indirizzate alla caratterizzazione dei livelli e degli spettri di accelerazione ante-operam, corso d'opera nel campo di frequenze compreso tra 1 Hz e 80 Hz. Le indagini vengono svolte all'interno degli edifici per i quali gli indicatori di esposizione e di interazione opera-ambiente testimoniano la possibile presenza di situazioni problematiche e consentono di "etichettare" gli indicatori di disturbo sulla popolazione in conformità alla UNI9614.

È generalmente riconosciuto che i livelli di vibrazione in grado di determinare danni alle strutture sono più alti di quelli normalmente tollerati dalle persone. Questo implica che se in un'area è soddisfatto l'obiettivo prioritario di garantire alle comunità livelli vibrometrici accettabili, risulta automaticamente soddisfatto l'obiettivo di salvaguardare il patrimonio architettonico.

Considerando che esistono variabili difficilmente quantificabili a monte, in particolare nelle strutture di edifici storici, quali la resistenza dei materiali, la presenza di criticità strutturali, ecc., è importante riconoscere i possibili punti critici e intervenire con monitoraggi preventivi.

È esclusivo compito delle imprese adottare tutti gli accorgimenti operativi finalizzati a garantire la compatibilità delle vibrazioni nei confronti dei possibili danni materiali alle strutture (fessurazioni, lesioni, cedimenti). Il monitoraggio, limitatamente ad alcuni punti a rischio identificati lungo il tracciato, è di tipo preventivo e si pone lo scopo duplice di segnalare il raggiungimento di soglie di attenzione e di consolidare elementi di garanzia per il cittadino e gli Enti Pubblici.

Le informazioni ad oggi disponibili escludono la presenza di attività produttive/ospedaliere particolarmente sensibili o di beni storici monumentali. Pertanto, il monitoraggio avrà esclusivamente l'obiettivo di verificare la potenziale annoyance della popolazione esposta.

### 5.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le attività di monitoraggio dovranno essere sviluppate in accordo a quanto previsto dalle principali norme tecniche di settore, non esistendo una specifica normativa in materia. Si riporta nel seguito l'elenco delle principali norme tecniche da considerare cogenti:

- UNI 9614/2017 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- ISO 2631-2 - Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo - Parte 2: Vibrazioni continue ed indotte da urti negli edifici;

- ISO/TS 10811-2:2000 - Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni.
- Norma UNI 9916, “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”

### 5.3 PRINCIPALI RECETTORI

Le attività di monitoraggio si concentreranno negli ambiti, caratterizzati da presenza antropica, in cui è ragionevole ipotizzare una alterazione degli attuali livelli vibrometrici direttamente ascrivibile ai cantieri deputati alla realizzazione della nuova infrastruttura. In ragione della tipologia di attività previste l’ambito di potenziale interazione è limitato a poche decine di metri dalla sorgente, pertanto, le attività di monitoraggio si concentrano su ricettori residenziali a minima distanza dal fronte di avanzamento. Sono state censite le costruzioni a poca distanza dal percorso del cantiere del cavidotto, con discriminazione di abitazione, attività ricettiva e ristorazione.



In fase di cantiere per ciascuno dei recettori individuati verranno posizionate delle postazioni di monitoraggio vibrazionale al fine di individuare eventuali anomalie e superamenti dei limiti normativi.

### 5.4 GESTIONE DELLE ANOMALIE

Lo svolgimento delle campagne di monitoraggio consente di acquisire informazioni dirette sui parametri ambientali condizionanti la propagazione delle vibrazioni e sugli indicatori dei livelli vibrazionali necessari per una corretta caratterizzazione dell'ambiente durante il cantiere mobile di realizzazione del cavidotto.

Le informazioni prodotte dalle attività di monitoraggio consistono in:

- descrizione del punto di monitoraggio;

- basi cartografiche in scala idonea con la localizzazione dei punti di misura;
- documentazione fotografica dei punti di misura;
- parametri temporali del monitoraggio;
- caratteristiche geologiche influenti sui processi di propagazione delle vibrazioni;
- caratteristiche tipologiche e strutturali degli edifici;
- descrizione delle sorgenti di vibrazione rilevate;
- analisi delle registrazioni;
- sintesi dei risultati;
- verifica dei limiti normativi.

Durante la realizzazione dell'opera, dati delle attività di monitoraggio dovranno consentire di individuare eventuali situazioni critiche e, di conseguenza, innescare le opportune procedure di correzione delle anomalie.

Al fine di evidenziare immediatamente eventuali situazioni critiche in fase di analisi dei dati è prevista una procedura di individuazione delle anomalie vibrometriche. Si considerano anomalie vibrometriche il superamento dei valori limite di immissione definiti dalla norma UNI9614/2017. Qualora nelle fasi di realizzazione delle opere emergesse la presenza di superamenti dovuti ad esempio all'utilizzo di macchinari pesanti o a particolari tecniche di lavorazione che generino vibrazioni tali da superare la soglia delle anomalie vibrometriche rispetto ai valori limite definiti dalle norme ISO 10881-1 e ISO 10881-2, sarà compito del coordinatore del monitoraggio prevedere un confronto con gli Uffici Competenti dei Comuni interessati per verificare l'effettiva consistenza dell'anomalia, ossia se essa è direttamente correlabile alle attività di cantiere e prevedere le necessarie azioni mitigative. Qualora fosse necessario, in tale fase potranno essere previste attività di monitoraggio aggiuntive.

## **5.5 MISURE DI MITIGAZIONE DELL'IMPATTO VIBRAZIONALE**

Si riportano di seguito le misure di mitigazione più comuni che potranno essere applicate al cantiere delle opere onshore dell'impianto, nel caso si verificassero anomalie vibrazionali dovute al superamento dei limiti:

- Scelta di attrezzature e macchinari adeguati: utilizzare attrezzature e macchinari con livelli di vibrazione più bassi.
- Installazione di schermi e barriere: schermare la zona di cantiere con barriere fisiche può ridurre la propagazione delle vibrazioni alle aree circostanti.
- Utilizzo di materiali ammortizzanti: impiegare materiali ammortizzanti o strati di isolamento tra le attrezzature e il suolo può assorbire parte delle vibrazioni generate.
- Controllo delle velocità e delle rotte dei veicoli: limitare la velocità dei veicoli all'interno del cantiere e pianificare rotte per evitare zone sensibili può aiutare a ridurre le vibrazioni indotte dal traffico.
- Monitoraggio continuo: effettuare un monitoraggio costante delle vibrazioni durante il cantiere permette di identificare tempestivamente eventuali situazioni critiche e prendere azioni correttive.
- Gestione delle operazioni di demolizione del manto stradale, con coordinamento temporale delle attività durante le ore sensibili.
- Programmazione degli orari di lavoro: limitare le attività impattanti durante le ore sensibili o in zone ad alta sensibilità può aiutare a ridurre l'impatto sulle persone e le strutture circostanti.

## 6 SIMULAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

La valutazione delle vibrazioni ha lo scopo di stimare gli effetti sull'ambiente circostante delle vibrazioni emesse dai macchinari di cantiere impiegati per la realizzazione dell'opera.

In dettaglio, si procederà analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative che saranno sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici (escavatore, sonda perforatrice, ecc.) e in mezzi adibiti al trasporto (autocarri, autobetoniera, ecc.). Verrà descritto il metodo adottato per la previsione dei livelli vibrazionali indotti durante realizzazione delle opere e tali livelli saranno confrontati con i limiti della normativa in materia per ciò che riguarda l'effetto delle vibrazioni sulle persone e strutture.

Lo studio vibrazionale per la fase di cantiere vuole accertare se ci sia un disturbo alle persone, il quale ha limiti più restrittivi rispetto a quelli determinati sulle strutture. Pertanto, qualora si verifici, dall'esame della previsione di propagazione delle vibrazioni, la presenza di edifici nelle zone più critiche, tale elemento non costituisce un fattore per la stima di un possibile danno alle strutture, evidenziando unicamente il superamento di una soglia di disturbo per i residenti dell'edificio stesso. Tale soglia, pur ricavata dalle normative tecniche esistenti in sede nazionale ed internazionale, non risulta fissata da alcun atto legislativo.

Per quanto riguarda gli effetti sulle strutture, in presenza di livelli elevati e prolungati di vibrazioni, sono stati osservati danni strutturali a edifici e/o strutture. È da notare, però, che tali livelli sono più alti di quelli normalmente tollerati dagli esseri umani, i cui livelli sono riportati nelle norme ISO 2631 e UNI 9614. Tale considerazione è facilmente deducibile dal confronto dei valori riportati nelle norme che riportano i danni sull'uomo (ISO 2631 e UNI 9614) con i valori nelle norme che riguardano i danni strutturali (UNI 9916 ed ISO 4866), pertanto le prime sono state scelte quale riferimento, poiché riportano dei valori limite più restrittivi.

In definitiva, soddisfatto l'obiettivo di garantire livelli di vibrazione accettabili per le persone, risulta automaticamente realizzata l'esigenza di evitare danni strutturali agli edifici, almeno per quanto concerne le abitazioni civili. Come unica eccezione sono da annoverare le vibrazioni che incidono su monumenti e beni artistici di notevole importanza storico-monumentale, i quali devono essere trattati come punti singolari con studi e valutazioni mirate. Nell'ambito del presente studio, condotto per una fascia di ampiezza di 50 m per lato dal cavidotto in progetto, non sono stati rilevati edifici e/o strutture di questo tipo.

### 6.1 DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE

La caratterizzazione del disturbo vibrazionale è effettuata in termini di definizione del Vettore Sorgente ( $V_{sorg}$  espresso in  $mm/s^2$ ) ossia del vettore accelerazione relativo alla sorgente in valutazione per determinare la percezione umana e della velocità (in  $mm/s$ ) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici. È possibile convertire i valori di accelerazione "a" nel corrispondente valore di velocità "v", nota la frequenza "f", tramite la relazione:

$$v = a / 2\pi f$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, sia i valori di velocità che quelli di accelerazione è possibile valutarli sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg(a/a_0) \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg(v/v_0)$$

in cui compaiono i valori di riferimento  $a_0 = 0.001 \text{ mm/s}^2$  e  $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$ .

### 6.2 METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI

In definitiva, non esistono modelli previsionali affidabili né metodologie consolidate di progettazione delle opere di mitigazione delle vibrazioni.



Le vibrazioni possono essere misurate in termini di spostamento, velocità o accelerazione: lo spostamento coincide con l'ampiezza dell'evento vibratorio, la velocità con il rapporto fra lo spostamento e il tempo in cui esso si compie e l'accelerazione con il rapporto fra la variazione di velocità e il tempo in cui si svolge tale variazione. Solitamente per la valutazione quantitativa del disturbo arrecato dalle vibrazioni si utilizza l'accelerazione efficace (a): essa rappresenta il valore quadratico medio (RMS) dei valori assunti dall'accelerazione durante il tempo di una oscillazione e si ottiene numericamente dividendo l'ampiezza dell'accelerazione per la radice quadrata di due. L'adozione di questa grandezza è giustificata da due principali motivazioni: è direttamente misurabile con un accelerometro e la sensibilità dell'organismo umano è correlata alle accelerazioni.

Ad ogni modo è importante anche conoscere la natura del terreno e come le vibrazioni si attenuino nel terreno, all'aumentare della distanza dalla sorgente. Il terreno è un mezzo non omogeneo in cui si propagano le onde elastiche vibrazionali, le costanti elastiche varieranno e determineranno fenomeni diversi quali riflessione, rifrazione e soprattutto attenuazione dell'onda elastica.

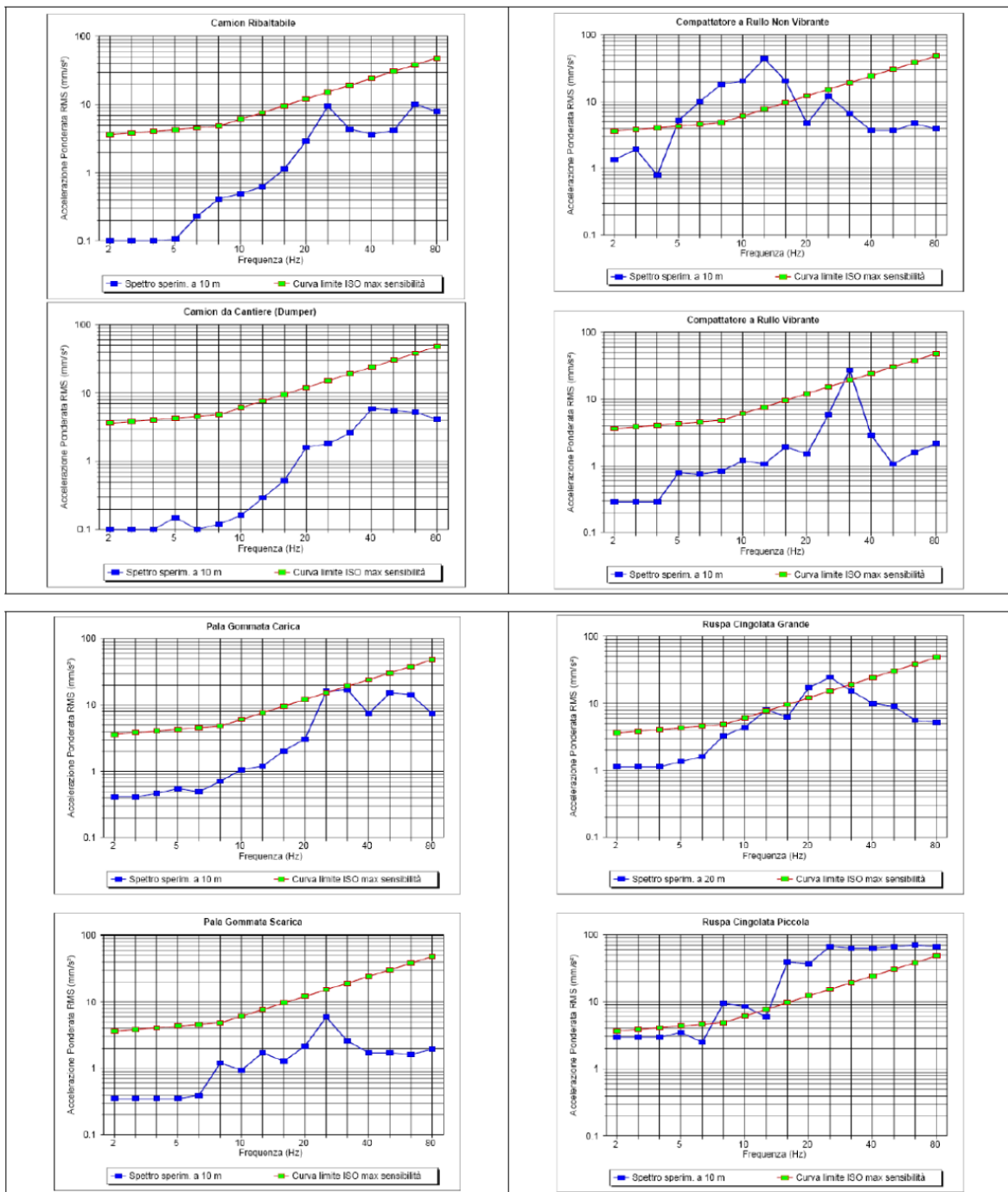
Al fine di quantificare invece le emissioni di vibrazioni generate dalle macchine impiegate nel cantiere tipo si fa qui riferimento a dati disponibili in bibliografia; specificatamente che tali dati sono stati reperiti da L.H. Watkins – *“Environmental impact of roads and traffic” - Appl. Science Publ. (L.H. Watkins, 1990), che alle pagine 231-241* che riporta una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie, ma anche per la realizzazione del progetto di cui si tratta e, in particolare, per la realizzazione delle opere civili e per la fase di demolizioni.

La seguente tabella riporta una valutazione delle distanze di impatto vibrazionale (distanze oltre le quali gli effetti non sono più significativi) per le macchine da cantiere “tipiche” che sono state prese in esame.

N.	Macchina	Distanza di impatto (m)
1	Camion da cantiere	---
2	Camion ribaltabile	--
3	Compattatore a rullo non vibrante	61
4	Compattatore a rullo vibrante	11
5	Pala gommata carica	11
6	Pala gommata scarica	--
7	Ruspa cingolata grande	34
8	Ruspa cingolata piccola	45

Si riportano inoltre i dati spettrali di emissione vibrazionale riportati nella seguente tabella in riferimento alle varie macchine operatrici che tipicamente sono usate in cantiere rapportandole alla curva limite di percettibilità secondo UNI 9614.

Macchina/Attrezzatura	Distanza	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Camion da cantiere	10	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.12	0.15	0.29	0.5	1.67	1.85	2.5	6	5.5	5.2	4
Camion ribaltabile	10	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.23	0.41	0.5	0.6	1.1	2.99	9	3.9	3.3	4	10	8
Rullo compattatore vibrante	10	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	0.7	0.8	1.1	1	2	1.55	6	29	3	1	1.6	2
Rullo compattatore (non vibrante)	10	0	0	0	1.6	1.7	2	0.85	5.8	11	18	20	40	20	4	12	7	3.7	3.7	5	4
Pala gommata carica	10	0	0	0	0.41	0.41	0.41	0.48	0.52	0.50	0.76	1.10	1.25	2	3	17	17	7.8	15	14	7.8
Pala gommata scarica	20	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	1.2	0.9	1.75	1.26	2	5.2	2.6	1.6	1.6	1.5	2
Ruspa cingolata piccola	10	0	0	0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.6	3.2	4.2	8	6	18	24	16	10	9	6	5.5



Da confronto si può quindi rilevare che il transito di mezzi pesanti di cantiere alla distanza di 10 m, in assenza di sobbalzi dei carichi o di pavimentazioni particolarmente sconnesse, non è generalmente accompagnato da accelerazioni che superano la soglia di sensibilità umana, e per distanze maggiori tali considerazioni sono a maggior ragione valide.

Mentre le lavorazioni prodotte dai compattatori, rulli vibranti, pale e ruspe sono viceversa caratterizzate da emissioni significative nei confronti della sensibilità umana e dei possibili effetti di disturbo sui ricettori e potenziale danno sugli edifici posti a distanza rilevata di 10 m.

Con riferimento alle lavorazioni significative dal punto di vista dell'impatto vibrazionale, è possibile stimare il livello di vibrazione immesso in un generico edificio in funzione della distanza della fondazione dalla sorgente,

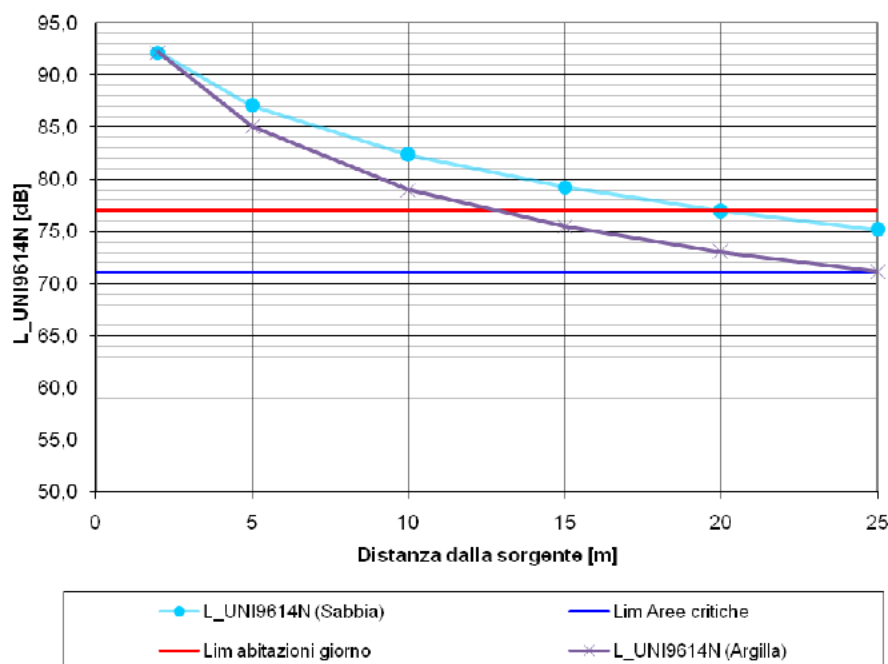
considerando cautelativamente valori minimi di perdita di accoppiamento terreno-fondazione (edifici in c.a.). Il livello di accelerazione stimato ponderato per posture generiche e non note a priori, può poi essere confrontato con il limite di disturbo indicato dalla normativa di riferimento UNI 9614 per le abitazioni di giorno e per le aree critiche. Le lavorazioni di cantiere, infatti, sono normalmente limitate al solo periodo diurno.

Destinazione d'uso	Accelerazione Vettore $V_{avg}$ ( $m/s^2$ )
Abitazioni (periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00)	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno dalle 6:00 alle 22:00)	$7,2 \cdot 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno festivo dalle 6:00 alle 22:00)	$5,4 \cdot 10^{-3}$
Luoghi di lavoro	$14 \cdot 10^{-3}$
Ospedali, case di cura e affini (indipendentemente dal periodo)	$2 \cdot 10^{-3}$
Asili e case di riposo (valido anche nel periodo diurno in caso sia previsto il riposo delle persone)	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Scuole (nel periodo di utilizzo degli allievi e limitatamente alle aule usate)	$5,4 \cdot 10^{-3}$

#### Limiti di disturbo UNI 9614

Le stime previsionali delle emissioni vibrazionali di mezzi di cantiere possono quindi essere svolte, cautelativamente, per la fase di attività caratterizzata dai valori massimi di emissione vibrazionale, corrispondente alla rullatura per la realizzazione dei sottofondi delle platee considerando 2 tipologie standard di terreni: "sabbie, limi, ghiaie, loess" e "argille, terreni argillosi".

La seguente figura riporta i risultati di tali stime (dati tipici di letteratura) in riferimento all'attività con macchine operatrici per la compattazione.



#### Stima delle curve di decadimento delle vibrazioni generate nel corso delle operazioni di compattazione mediante rulli compattatori, dei sottofondi delle platee in c.a. in corrispondenza di diverse tipologie di terreno attraverso il quale avviene la propagazione e confronto con le curve limite di accettabilità della Norma UNI 9614

Da quanto sopra illustrato, è possibile dedurre che le attività che necessitano l'impiego di rulli per la compattazione dei sottofondi, considerati i macchinari maggiormente impattanti, in quanto trasmettono vibrazioni direttamente al terreno, determinano livelli vibrazionali significativi e disturbanti fino a distanze

dell'ordine di circa 20 m per propagazione attraverso "sabbie, limi, ghiaie, loess" e fino a circa 12,5 m nel caso di "argille, terreni argillosi".

Tenuto conto del fatto che i primi recettori che possono essere considerati potenzialmente esposti a fenomeni vibrazionali indotti della fase di realizzazione del nuovo impianto, sono localizzati a distanze dal perimetro dell'area di cantiere dell'ordine di una decina di metri, appare quindi immediato verificare con sufficiente confidenza che per tali recettori sia scongiurato il rischio del verificarsi di fenomeni di disturbo alle persone o di danno strutturale/estetico, indotto dalle attività di realizzazione delle opere civili previste a cronoprogramma, fasi, queste, giudicate maggiormente impattanti dal punto di vista delle vibrazioni.

Infine, per quanto riguarda i fenomeni di potenziale impatto da vibrazioni generate dal traffico indotto da e per l'area di cantiere, anche in questo caso possono essere scongiurati possibili fenomeni di disturbo alle persone e/o di danno strutturale/estetico agli edifici. Infatti, le vie di accesso al cantiere, che saranno utilizzate dai mezzi pesanti in entrata ed in uscita dallo stesso, sono costituite dall'attuale viabilità limitrofa all'area di interesse. Numerosi studi hanno mostrato che il passaggio di autocarri ed autoarticolati pesanti a 70 km/h, lungo strade non particolarmente dissestate, non produce significative alterazioni del clima vibrazionale già a partire da circa 10-15 m di distanza dalla traiettoria di transito; a velocità inferiori, come quelle presumibilmente stimabili per la viabilità di interesse, la distanza di potenziale significativo impatto diminuisce ulteriormente.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, non si ritiene quindi che le attività che verranno svolte entro l'area di cantiere per la realizzazione del progetto, possano indurre significativi impatti da vibrazioni, e conseguenti potenziali disturbi alle persone e/o danni strutturali/estetici agli edifici, presso i recettori più vicini all'area di cantiere stessa, costituiti sostanzialmente dagli edifici di civile abitazione che sorgono lungo il tracciato del cantiere del cavidotto.