



# Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte eolica nel comune di Maracalagonis (CA)

## RELAZIONE PREVISIONALE DELL'IMPATTO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

Rev. 0.0

Data: Giugno 2022

WIND003.REL003f

Committente:

**ECOWIND 2 S.r.l.**

Via Alessandro Manzoni 30,  
20121 Milano (MI)

P.IVA: 12071590967

PEC: [ecowind2srl@legalmail.com](mailto:ecowind2srl@legalmail.com)

Incaricato:

**Queequeg Renewables, ltd**

Unit 3.03, 1110 Great West Road  
TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: [mail@quenter.co.uk](mailto:mail@quenter.co.uk)



## SOMMARIO

1	Premessa e finalità dello studio .....	4
2	Normativa di riferimento .....	4
3	Inquadramento geografico generale .....	5
4	Proprietà meccaniche del terreno .....	10
4.1	Inquadramento geologico generale .....	10
4.2	Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica .....	13
4.3	M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati .....	15
4.3.1	Base sismica M1 .....	17
4.3.2	Base Sismica M2 .....	18
4.3.3	Base Sismica M3 .....	19
4.3.4	Base Sismica M4 .....	20
4.3.5	Base Sismica M5 .....	21
	Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse .....	23
5	Propagazione delle vibrazioni nel terreno .....	23
6	Modello di propagazione dell'onda nel terreno .....	26
7	Valutazione della propagazione delle vibrazioni .....	26
8	Sorgenti di vibrazione .....	28
8.1	Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto .....	28
8.2	Poteniale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale .....	29
8.3	Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere .....	29
8.4	Scenari di riferimento di cantiere .....	30
8.5	Scenari di riferimento di esercizio .....	31
9	Limiti di riferimento .....	31
10	Recettori .....	34
11	Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni .....	35
11.1	Criteri di azione e misure di mitigazione .....	35
	Spettri di emissione delle macchine operatrici .....	38
11.1.1	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO VIBRANTE .....	38
11.1.2	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UNA PALA CINGOLATA .....	39
11.1.3	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN AUTOCARRO .....	40
11.1.4	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN ESCAVATORE CINGOLATO .....	41
11.1.5	PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN MARTELLO IDRAULICO .....	42
12	Conclusioni .....	43

## 1 Premessa e finalità dello studio

La presente relazione è parte integrante del procedimento di **Valutazione d'Impatto Ambientale** ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

La caratterizzazione della qualità dell'ambiente in relazione agli effetti delle vibrazioni deve consentire di individuare e stimare le modifiche e/o le interferenze introdotte dall'intervento proposto e valutarne la compatibilità con gli standard esistenti, in riferimento alla verifica sia del disturbo da esse potenzialmente generate sull'uomo, sia di un eventuale potenziale danno agli edifici, per la salvaguardia del patrimonio architettonico/archeologico.

Il presente documento tecnico riporta la valutazione previsionale dei livelli di vibrazione previste, durante le fasi di cantiere, sui ricettori sensibili più vicini alle aree di installazione degli aerogeneratori del Parco Eolico e alla viabilità interessata, nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Bruncu de Lianu" dislocato nel territorio comunale di Maracalagonis (CA) e sulla viabilità laddove sono previste lavorazioni (es. posa del cavidotto o realizzazione ex-novo/adeguamento stradale).

La stima dei livelli di vibrazione attesi presso i ricettori sensibili identificati secondo quanto indicato nella normativa vigente all'area di progetto ed il loro confronto con i limiti vibrazionali sono stati eseguiti secondo le prescrizioni, le indicazioni e le modalità contenute nelle normative tecniche vigenti.

La vibrazione prodotta da macchine e strumenti di cantiere, nel seguito definite **sorgenti**, si propaga attraverso il substrato geologico che su di essa agisce operando un filtraggio in funzione della **natura geolitologica** dei terreni e si attenua con l'aumentare della **distanza dai recettori**.

La vibrazione quindi arriva ad interagire con le fondazioni delle strutture edificate e tale interazione dipende dal tipo di fondazione, dal tipo di costruzione e dal suo stato di conservazione.

## 2 Normativa di riferimento

In Italia non esiste ancora una normativa specifica di settore pertanto la presente è redatta facendo riferimento a normativa UNI ed ISO con particolare riferimento a:

- **UNI 9614/2017** "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- **UNI 9916/2014** "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici";
- **ISO 2631-2:2003** Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

### 3 Inquadramento geografico generale

Maracalagonis è un Comune italiano di 7 922 abitanti della città metropolitana di Cagliari, che si trova a 82 metri sul livello del mare.



Figura 1-Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio



Figura 2-Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 558 "Castiadas" sez. III, e sez. I, 567 "Geremeas" sez. IV.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 sezione 558130 "Brunco de su Soli", 558140 "Castiadas", 567010 "Geremeas" e 567020 "Santa Barbara".

È prevista l'installazione di 14 aerogeneratori di ultima generazione ad asse orizzontale (HAWTG, Horizontal axis wind turbine generators) di potenza pari a 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 92,4 MW, denominati in ordine crescente da WTG001 a WTG014. Gli aerogeneratori saranno montati su torri tubolari di acciaio che porteranno il mozzo del rotore a un'altezza da terra di 135 metri, e l'altezza massima dal suolo di ogni macchina sarà pertanto pari a 220 metri. È inoltre prevista l'installazione di una torre anemometrica di misura che monitorerà le condizioni di vento e ambientali della zona di impianto per tutta la vita di quest'ultimo.

Aerogeneratore	CooX	CooY	CooZ
WTG001	1536368.583	4339008.329	321
WTG002	1535156.337	4339560.923	501
WTG003	1538058.740	4339519.341	678
WTG004	1538214.087	4338730.348	592
WTG005	1536787.866	4337233.403	530
WTG006	1537571.352	4337448.357	564
WTG007	1538129.925	4337650.813	564
WTG008	1538246.199	4338165.999	532
WTG009	1536840.138	4339222.730	401
WTG010	1535246.799	4338990.539	396
WTG011	1536469.533	4338399.080	407
WTG012	1537231.039	4338560.993	552
WTG013	1537520.016	4339231.078	581
WTG014	1534970.376	4340142.446	491

Gli aerogeneratori previsti sono macchine con potenza nominale pari a 6,6 MW, orientati sopravento, con controllo attivo del pitch delle pale e dello yaw della navicella. Per la progettazione di dettaglio, ai fini della valutazione dei carichi, delle dimensioni e di tutti i valori tecnici e di ingombro architettonico sono stati utilizzati gli aerogeneratori SG-170 di Siemens Gamesa. In fase realizzativa le macchine potranno però essere differenti, rimanendo nelle caratteristiche tecniche e dimensionali delle stesse.

Il rotore (rotor) del generatore è composto da tre pale ognuna di lunghezza pari a 83,33 metri. Nel complesso, il gruppo rotante ha un diametro di 170 metri, e spazza un'area pari a 22.698 metri quadrati. Il mozzo del generatore sarà collocato ad un'altezza di 135 metri (hub height), mentre l'altezza massima raggiunta da ogni generatore (tip height), inclusa l'altezza massima da terra delle pale, sarà di 220 metri.

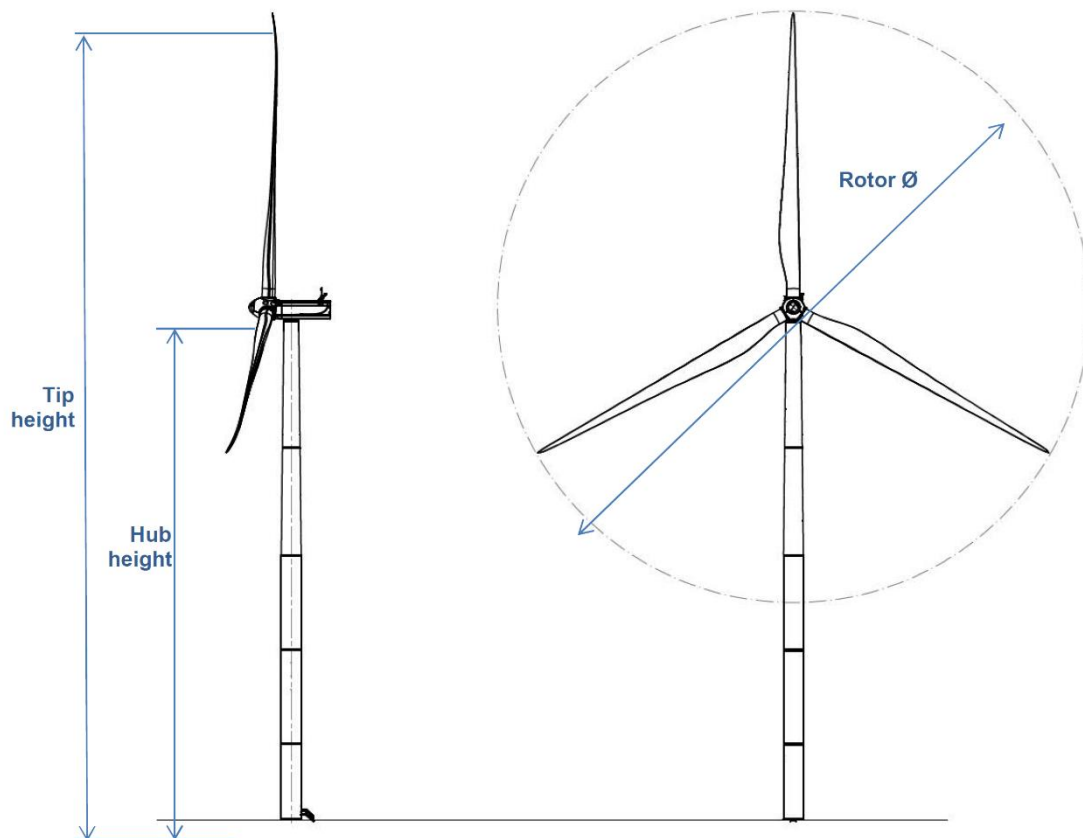


Figura 3 generatore eolico ad asse orizzontale

L'impianto verrà collegato in antenna a 150 kV, verso una futura stazione elettrica SE della RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alla RTN a 150 kV "Villasimius-Quartucciu", gestita dall'operatore Terna S.p.A. L'energia prodotta sarà convogliata tramite un cavidotto in media tensione a 30 kV interamente interrato su strada, che raggiungerà la stazione di innalzamento della tensione di competenza del proponente, come da elaborati prodotti (rif. Elaborati WIND003.ELB010a; WIND003.ELB011b). Nella Sottostazione Elettrica Utente (SSE), l'energia prodotta dall'impianto ad una tensione di 30 kV, viene portata ad una tensione di 150 kV per poi convogliarla nella Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale (RTN) gestita da Terna S.p.A.

Le strade di accesso al parco sono state previste secondo le specifiche di curva, inclinazione longitudinale e pendenza previste dal produttore delle componenti del generatore eolico, così da permettere ai mezzi pesanti che opereranno durante la fase di cantiere di manovrare e percorrere la viabilità. Un trasportatore specializzato nella movimentazione e nella posa di strutture eoliche ha supportato queste valutazioni provvedendo a una fattibilità per le soluzioni di viabilità e opere civili previste in progetto.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 6 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di

distanza. I gradienti longitudinali non dovranno superare il 20% sui rettilinei e il 15% in prossimità delle curve.

Le curve stesse dovranno avere un raggio di curvatura interna non inferiore a 30 metri.

Le componenti con il maggiore ingombro saranno stoccati nel porto commerciale di Cagliari e successivamente trasportati verso i luoghi d'intervento e stoccati temporaneamente in due aree di stoccaggio. Essi sono le navicelle dei generatori, i tronchi delle torri di sostegno e le pale.

La viabilità di arrivo prevista è composta da strade statali, provinciali e comunali. La viabilità esistente è per lo più in condizioni idonee: il trasporto prevede l'utilizzo esclusivo del Blade Lifter.

**Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.**



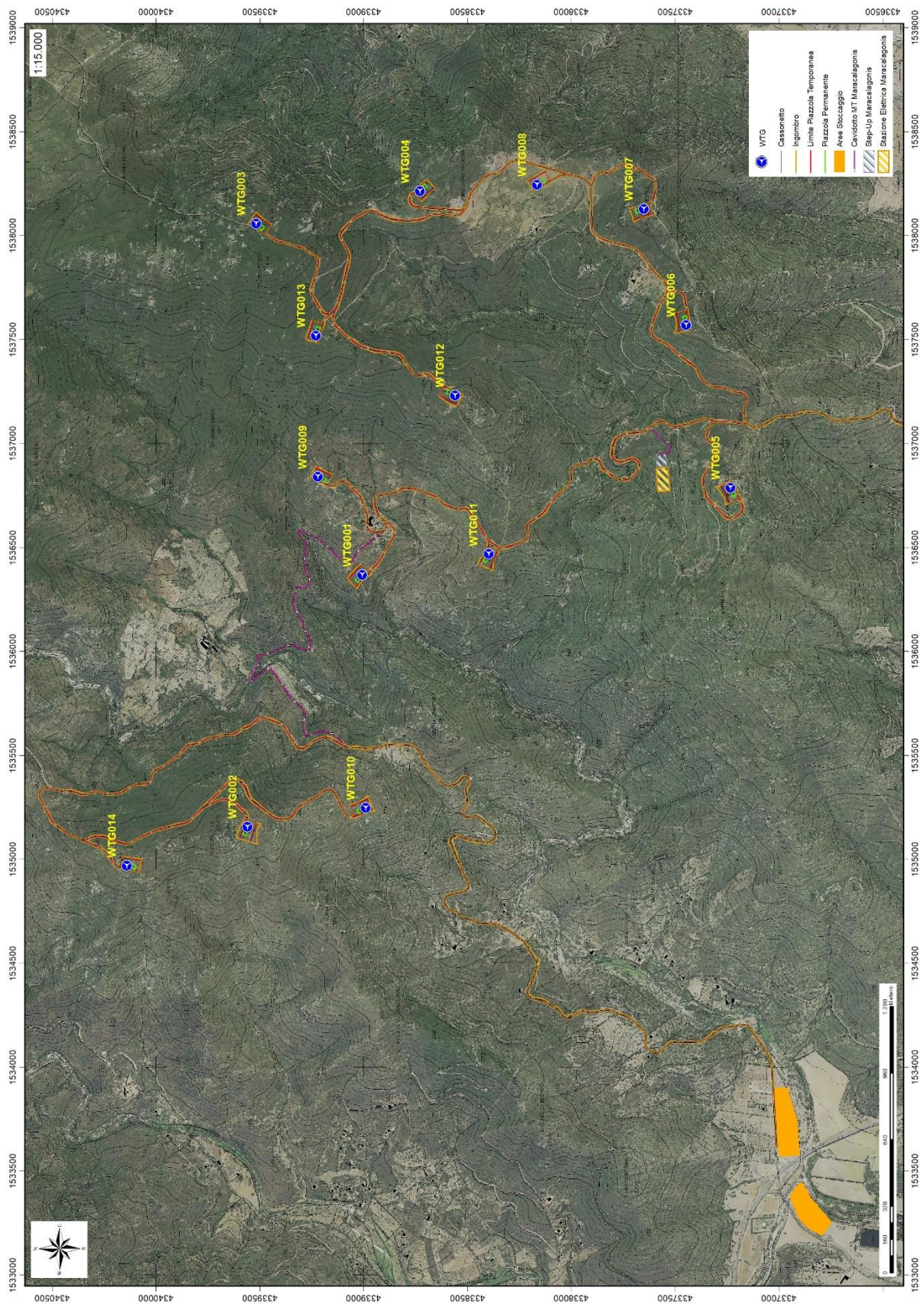


Figura 4 - Localizzazione dell'impianto - (Google Earth)

## 4 Proprietà meccaniche del terreno

### 4.1 Inquadramento geologico generale

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

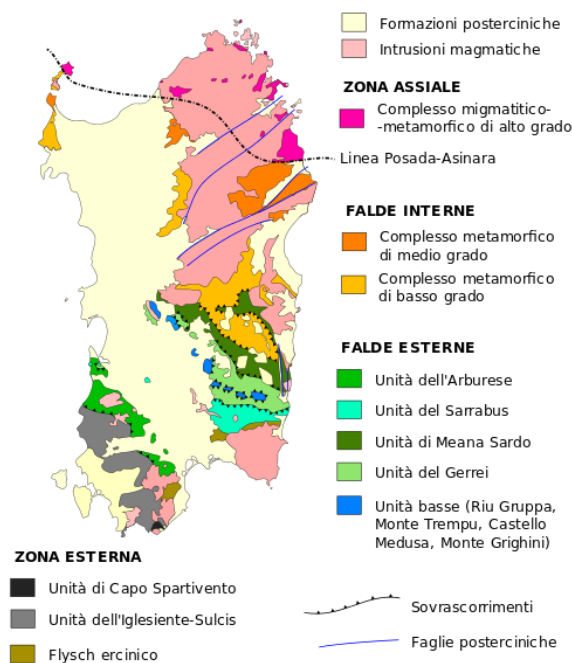


Figura 5 schema geologico-strutturale della Sardegna.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia. Successivamente, nel Cambriano, la messa in posto dei batoliti granitici ercinici ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali (Figura 6) che, da NE verso SW (procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanzata) sono note come: Zona Assiale (Sardegna NE), Zona a Falde interne (Sardegna centrale), e Zona a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus, settore di interesse della presente relazione.

Tale complesso è costituito da prodotti intrusivi ed effusivi che si sono messi in posto tra il Carbonifero superiore e il Permiano, contemporaneamente al sollevamento, al collasso e allo spianamento della catena ercinica. Tra i granitoidi nell'aria di interesse affiorano litologie appartenenti all' *Unità Intrusiva di Geremeas (GEA)* e all' *Unità Intrusiva di S. Gregorio (GGO)*.

La prima è costituita da granodioriti da inequigranulari a fortemente inequigranulari a grana grossa, con megacristalli di K-feldspato bianchi o rosati che vanno dai 2-3cm ai 6-7cm, e da granodioriti equigranulari mesocrate a grana media grossa.

La seconda è costituita sia da monzograniti biotici a struttura equigranulare e tessitura isotropa, sia da monzograniti biotici a struttura inequigranulare in genere microporfirica.

Nei corpi granitoidi sono frequenti filoni basici e filoni aplitici, che presentano direzioni comprese fra nord ovest - sud est e nord - sud. Tali masse granitiche hanno indotto sulle formazioni che hanno intruso un'aureola metamorfica più o meno estesa.

Sono poi presenti talvolta depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecicole e/o i piccoli impluvi presenti.

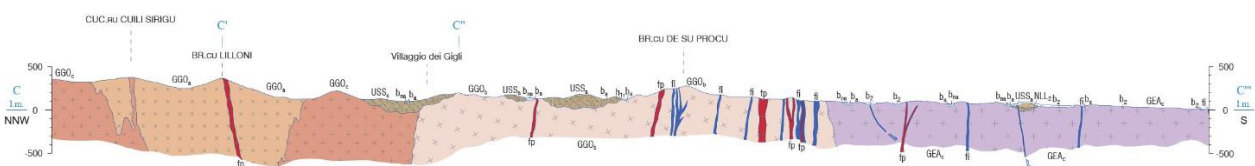


Figura 6-Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (da Foglio CARG 557)

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

#### DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

**ba-** Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE

**baa-** Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

**PVM2a - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso** (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

#### *CORTEO FILONIANO*

**fq**-Filoni idrotermali di Quarzo, spesso mineralizzati a Barite

**fp**-Filoni ed ammassi acidi, porfidi riolitici e dacitici

**fa**-Filoni acidi: aplo-pegmatiti

**fi**-Filoni intermedio-basici da andesitici a basaltici indistinti CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

#### *GRANITOIDI E PLUTONITI BASICHE*

##### **UNITA' INTRUSIVA DI SAN GREGORIO**

**GGOc - Micro-sienograniti** a biotite a carattere leucocrato, a struttura microporfirica, talora microgranulare a grana fine.

**GGOb Leuco-sienograniti biotitici** a grana medio-grossa, struttura equigranulare

**GGOa Monzograniti biotitici** a grana media, struttura equigranulare, localmente microporfirica. CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

##### **UNITA' INTRUSIVA DI GEREMEAS**

**GEAc Granodioriti biotitico-anfiboliche** con accessori allanite e titanite, a grana grossa, struttura inequigranulare localmente faneroporfirica per feldspati pluricetimetri.

**GEAb Masse gabbriche**, gabbri anfibolici e pirossenico anfibolici grigio verdastri a struttura equigranulare.

**GGOa Episieniti** a grana medio fine, struttura inequigranulare per cristalli di plagioclasio (albite) di taglia massima di 1cm, solitamente molto alterati.

CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta, quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. Nell'area di studio sono presenti due principali sistemi di fratturazione, le fratture da raffreddamento e le fratture tettoniche secondarie:

- Fratture da raffreddamento. Sono delle fratture primarie legate ai processi di raffreddamento dei graniti ed è possibile distinguerli dalla presenza di filoni, questi hanno orientazione principale NS, e in maniera meno frequente NW-SE, NE-SW.
- Fratture tettoniche secondarie. L'origine delle fratture tettoniche secondarie è posteriore alla messa in posto dei plutoni granitici ed è probabilmente legata alla tettonica alpina; non è da escludere, comunque, la

possibilità che alcune direzioni di fratturazione siano state già attive durante le fasi tardive dell'orogenesi ercinica e, successivamente, riutilizzate durante la tettonica alpina, nell'area di studio tendono infatti ad avere la medesima orientazione delle fratture da raffreddamento sopra citate alle quali però si associa un sistema meno marcato con orientazione EW.

Queste strutture hanno probabilmente condizionato, nel Plio-Pleistocene, la sovra escavazione delle valli.

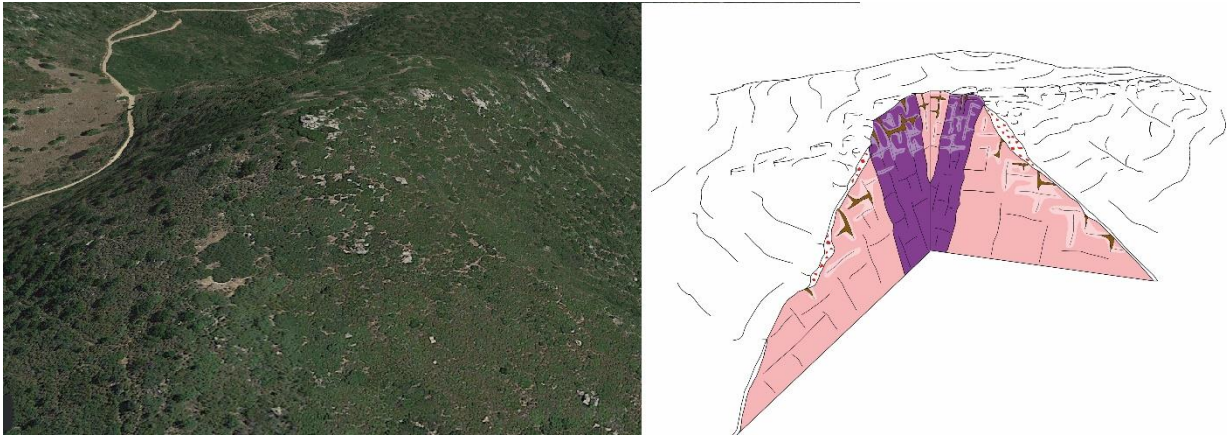


Figura 7-Bloccodiagramma illustrativo delle condizioni geostrutturali dell'ammasso roccioso

#### 4.2 Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

Stante l'impossibilità di raggiungere con la sonda per perforazioni geognostiche alcune aree di impianto, per assenza di piste, l'indagine geognostica è stata realizzata essenzialmente mediante prospezione geofisica e rilievo geostrutturale in sito. È stato effettuato un solo sondaggio a carotaggio continuo.

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia sismica con le tecniche MASW e sismica a rifrazione in onde P.

Si riportano nello specifico le caratteristiche delle tre metodologie impiegate:

- L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.
- L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.

A supporto della progettazione geotecnica e strutturale, tramite le MASW sono stati determinati sulla base di correlazioni bibliografiche i parametri elastici dinamici derivati dalle indagini sismiche e il modulo statico di deformazione.

In data 11/03/2021 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa ad opera della ditta Geoservice S.R.L., articolata in:

- Esecuzione di n° 5 stendimenti di sismica con tecnica MASW (M1 – M2 – M3 – M4 – M5) e rifrazione in onde P (R1 – R2 – R3 – R4 – R5). Le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle Rifrazioni in onde P.
- Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi/picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica.
- Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

Gli stendimenti sono stati posizionati in modo da esser rappresentativi delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dai rilievi di superficie.

Nella Tabella 1 è riportato il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da elettrodo/geofono iniziale a quello finale), e la loro lunghezza complessiva, mentre nella Figura 8 sono rappresentati i punti dove sono state effettuate le indagini.

Stendimento	Aerogeneratore	Orientamento	Lunghezza (m)
<b>R1/M1</b>	WTG008	NNW-SSE	69,0

<b>R2/M2</b>	WTG005	SSW-NNE	69,0
<b>R3/M3</b>	WTG010	NE-SW	69,0
<b>R4/M4</b>	WTG006	SW-NE	69,0
<b>R5/M5</b>	WTG009	W-E	69,0

Tabella 1 Ubicazione della prospezione geofisica

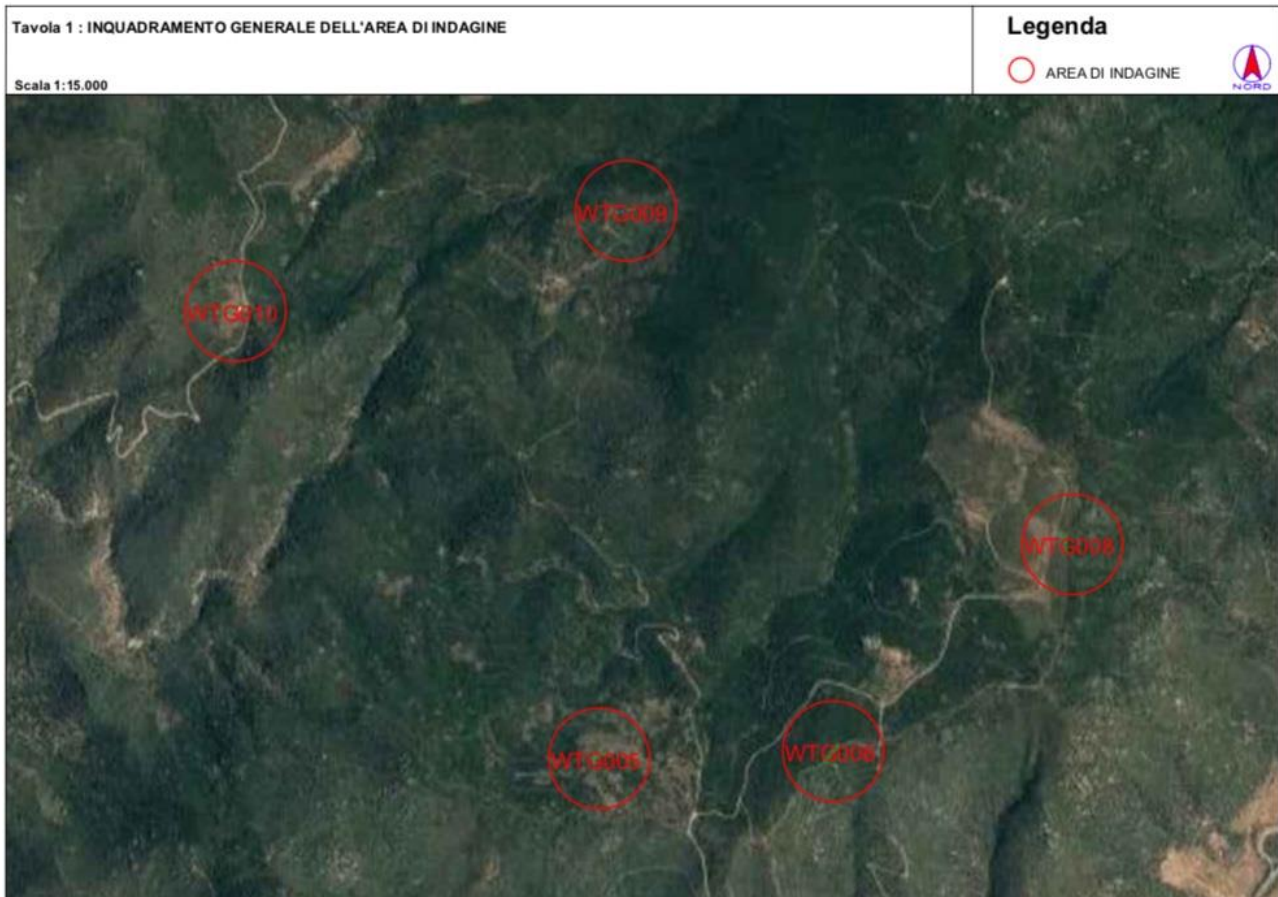


Figura 8 Ubicazione delle indagini

#### 4.3 M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza

di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

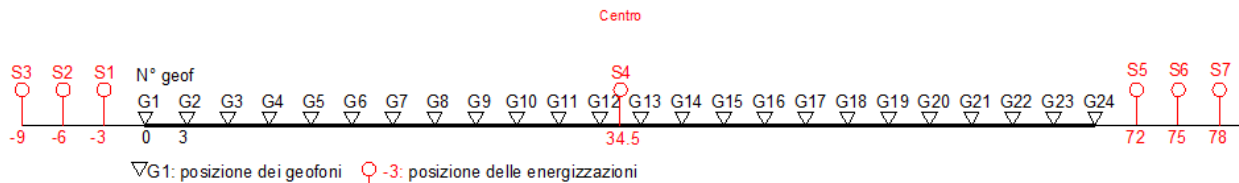


Figura 9 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza  $L = 69,0$  m

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema Figura 9).

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente. Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi. Gli stendimenti sono stati posizionati in modo da esser rappresentativi delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dal sondaggio e dai rilievi di superficie. L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  della sezione MX, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .

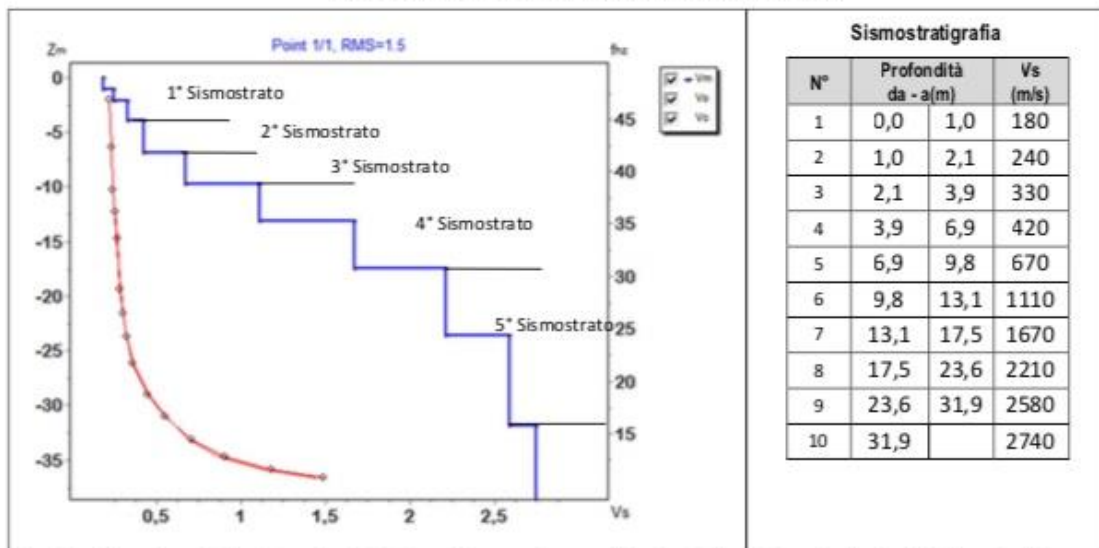


### 4.3.1 Base sismica M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,9	1° sismostrato con Vs tra 180 e 330m/s, Terre da poco a mediamente addensate
3,9 – 6,9	2° sismostrato con Vs di 420 m/s, Terre molto addensate
6,9 – 9,8	3° sismostrato con Vs di 670 m/s, Roccia fratturata
9,8– 17,5	4° sismostrato con Vs tra 1110 e 1670 m/s, Substrato roccioso da fratturato a debolmente fratturato
17,5 – 31,9	5° sismostrato con Vs tra 2210 e 2580m/s, Substrato roccioso sano
>31,9	6° sismostrato con Vs di 2740 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c.= 362 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione con:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 9,8 m (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 9,8 m di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 9,8/0,027101=362 m/s** che dà luogo ad una categoria **B**, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

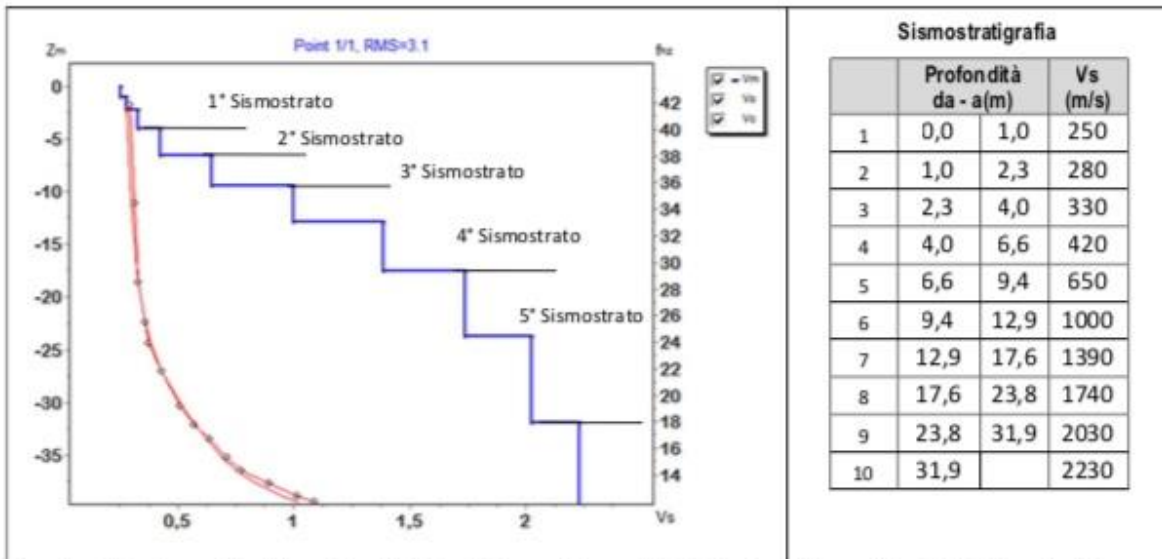
Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 9,8 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

### 4.3.2 Base Sismica M2

L’indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 4,0	1° sismostrato con Vs tra 250 e 330 m/s, Terre da poco a mediamente addensate
4,0– 6,6	2° sismostrato con Vs di 420 m/s, Terre molto addensate
6,6 – 9,4	3° sismostrato con Vs di 650 m/s Roccia fratturata
9,4 – 17,6	4° sismostrato con Vs tra 1000 e 1390 m/s, Substrato roccioso fratturato
17,6 – 31,9	5° sismostrato con Vs tra 1740 e 2030 m/s, Substrato roccioso sano
>31,9	6° sismostrato con Vs di 2230 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M2 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 388 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:  
 hi spessore dell’i-esimo strato;  
 Vs,i velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;  
 N numero di strati;  
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 9,4 m (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 9,4 m di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{s,eq} = 9,4/0,024232 = 388 \text{ m/s}$  che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

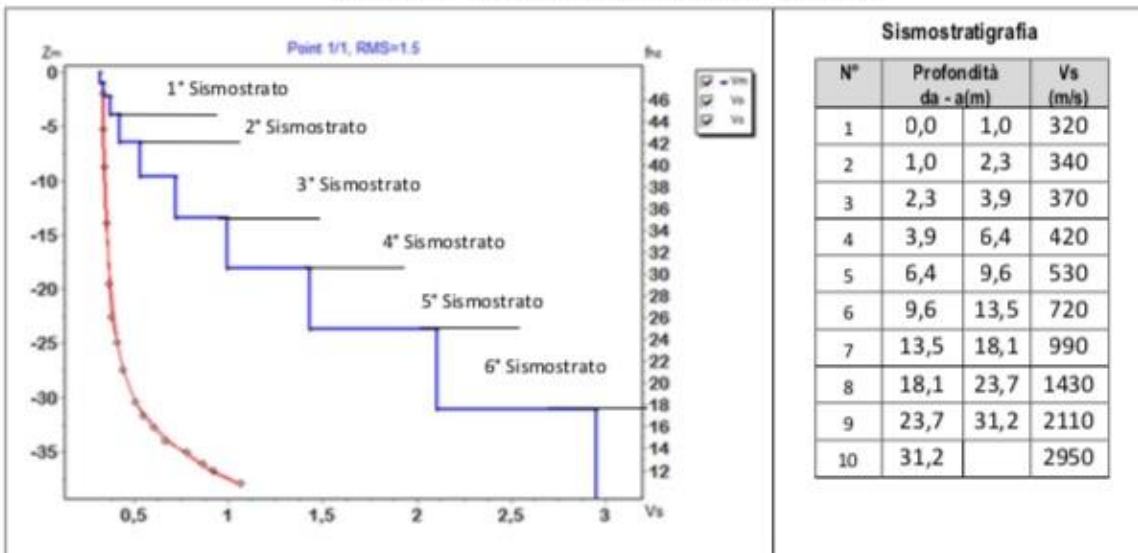
Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 9,4 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

### 4.3.3 Base Sismica M3

L’indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,9	1° sismostrato con Vs tra 320 e 370m/s, Terre mediamente addensate
3,9– 6,4	2° sismostrato con Vs di 420 m/s, Terre molto addensate
6,4– 13,5	3° sismostrato con Vs tra 530 e 720 m/s Roccia fratturata
13,5 – 18,1	4° sismostrato con Vs di 990 m/s, Substrato roccioso fratturato
18,1 – 23,7	5° sismostrato con Vs di 1430 m/s, Substrato roccioso sano
23,7 – 31,2	6° sismostrato con Vs di 2110m/s, Substrato roccioso sano
>31,2	7° sismostrato con Vs di 2950 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 470 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

hi spessore dell’i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 13,5m (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 13,5 m di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 13,5/0,028755=470 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

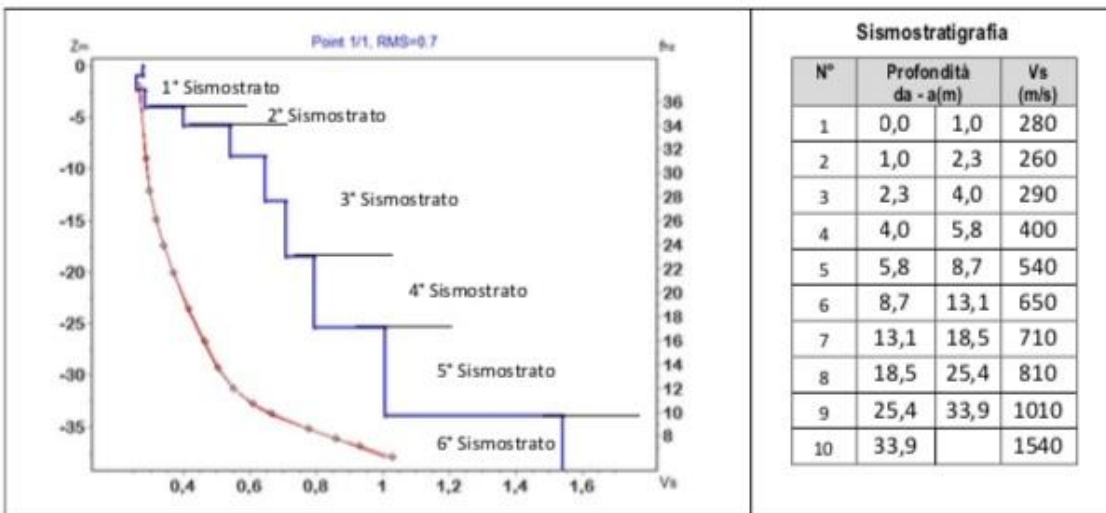
Nell’ipotesi però in cui le fondazioni siano realizzate a profondità maggiori di 13,5 m sotto il p.c. il substrato si troverà a quote < 3 metri per cui la categoria diventa una A.

**4.3.4 Base Sismica M4**

L’indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M4, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,0	1° sismostrato con Vs tra <b>280 e 290 m/s</b> , Terre mediamente addensate
4,0 – 5,8	2° sismostrato con Vs di <b>400 m/s</b> , Terre molto addensate
5,8 – 18,5	3° sismostrato con Vs tra <b>540 e 710 m/s</b> Roccia fratturata
18,5 – 25,4	4° sismostrato con Vs di <b>810 m/s</b> , Substrato roccioso intensamente fratturato
25,4–33,9	5° sismostrato con Vs di <b>1010 m/s</b> , Substrato roccioso fratturato
> 33,9	6° sismostrato con Vs di <b>1540 m/s</b> , Substrato roccioso sano

**MASW M4 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 477 m/s)**



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:  
*hi* spessore dell’i-esimo strato;  
*Vs,i* velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;  
*N* numero di strati;  
*H* profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **18,5m** (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **18,5 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 18,5/0,038766=477 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

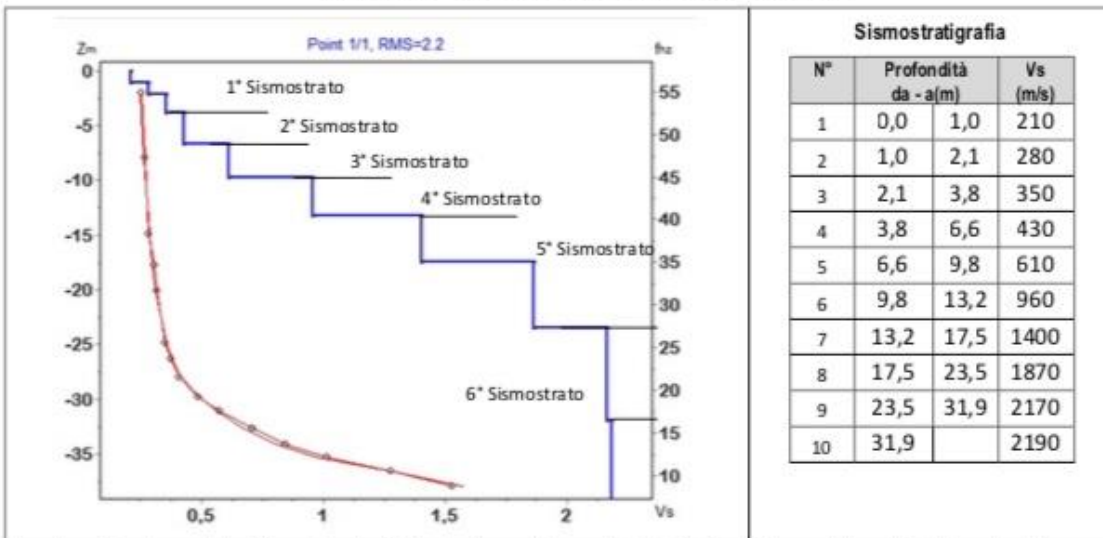
Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 18,5 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

**4.3.5 Base Sismica M5**

L’indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M5, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,8	1° sismostrato con Vs tra 210 e 350 m/s, Terre mediamente addensate
3,8 – 6,6	2° sismostrato con Vs di 430 m/s, Terre molto addensate
6,6 – 9,8	3° sismostrato con Vs di 610m/s, Roccia fratturata
9,8– 13,2	4° sismostrato con Vs di 960m/s, Substrato roccioso fratturato
13,2–23,5	5° sismostrato con Vs tra 1400 e 1870 m/s, Substrato roccioso sano
23,5 – 31,9	6° sismostrato con Vs di 2170m/s, Substrato roccioso sano
>31,9	7° sismostrato con Vs di 2190 m/s, Substrato roccioso sano

**MASW M5 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 386 m/s)**



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall’espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

hi spessore dell’i-esimo strato;

Vs, velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 9,8 m (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 9,8 m di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 9,8/0,025398=386 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 9,8 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

Sulla base dei dati raccolti è stato quindi possibile definire il **modello geologico del sito** che viene di seguito riassunto.

**Modello Geologico 01** - (WTG001-WTG002-WTG003-WTG004-WTG005-WTG008-WTG009- WTG010-WTG011-WTG012- WTG013- WTG014): si evidenzia la presenza di un substrato costituito dall'ammasso roccioso granodioritico caratterizzato da una fratturazione medio-bassa principalmente per diaclasi, i risultati della sismica a rifrazione e MASW suggeriscono una profondità del substrato (Litotipo B2) intorno ai 13 metri. Il sovrastante Litotipo B1, riconosciuto per un repentino abbassamento della V delle onde di taglio e per una diminuzione sostanziale del PV, è probabilmente costituito da granodiorite fratturata si riscontra tra i 10 e i 13m. I primi 10 metri (Litotipo A1-A2-A3), sono costituiti da ciottoli residuali del basamento immersi in una matrice limo argillosa rossastra prodotto dell'alterazione chimica data dall'acqua infiltrata tra le fratture. Il litotipo A va probabilmente da clasto-sostenuto (regolite) a matrice-sostenuto dal basso verso l'alto stratigrafico. Il sondaggio ha permesso di determinare che la roccia può essere talvolta alterata chimicamente fino a profondità che superano gli 8,5 metri. Tra gli 8,5m e gli 11,5m (prof. max sondaggio) il granito risulta estremamente fratturato poco alterato chimicamente, caso del Litotipo A3-B1;

Dai 5 profili MASW ottenuti si è ricavato un profilo medio i cui parametri vengono riportati come segue

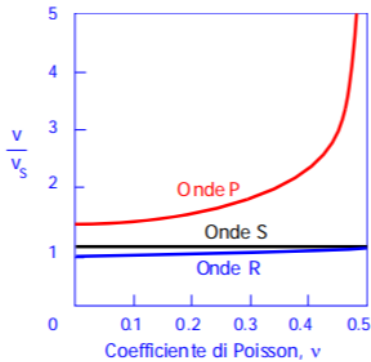
Sismo strato	Prof/ zona	Vp	Vs	Coefficiente Di Poisson
		m/s	<b>m/s</b>	
1	0,00-4,00	570	<b>285</b>	0,33
2	4,00-7,00	800	<b>400</b>	0,33
3	7,00-10,00	1250	<b>625</b>	0,33
4	10,00-13,00	2020	<b>1010</b>	0,33
5	>13,00	3080	<b>1540</b>	0,33

**Modello Geologico 02:** – (WTG006-WTG007) La divisione dei litotipi è identica a quella del Modello 01, la differenza è data dagli spessori degli stessi. Il litotipo A può raggiungere profondità di 18,5m. Sotto i 18,5m le caratteristiche dell'ammasso migliorano. Un tale grado di fratturazione e di alterazione chimica che si spinge fino a queste profondità può essere dovuto non più solo a fenomeni superficiali, probabilmente aree con queste caratteristiche sono situati in prossimità di piccole faglie non rilevabili perché coperte ma che danno luogo ad una fascia di intensa fratturazione che si propaga in profondità nel substrato, l'alterazione chimica sarà poi data dall'acqua meteorica che potrà conseguentemente infiltrarsi a profondità maggiori.

## Tabella di sintesi delle proprietà di sintesi dei terreni di interesse

Di seguito si riporta la stima del valore di  $V_r$  (m/sec) in relazione alla misura di  $V_s$  effettuata mediante l'indagine geofisica tipo MASW correlate come da schema riportato di fianco:

il rapporto  $V_p/V_s$  dipende dal coefficiente di Poisson; in genere la  $V_r$  è sempre di poco minore della  $V_s$



$$\text{per } \nu = 0.25 \quad V_R = 0.919 V_S$$

$$\nu = 0.33 \quad V_R = 0.933 V_S$$

$$\nu = 0.40 \quad V_R = 0.943 V_S$$

$$\nu = 0.50 \quad V_R = 0.955 V_S$$

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1 /M2/M3/M4/M5  $\nu=0,33$   $V_r = 0,933 V_s$

profondità in m (da-a)	$V_s$ (m/sec)	$\nu$	$V_r$ (m/sec)
0,00-4,00	285	0,33	266
4,00-7,00	400	0,33	373
7,00-10,00	625	0,33	583
10,00-13,00	1010	0,33	942
>13,00	1540	0,33	1437

## 5 Propagazione delle vibrazioni nel terreno

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;
- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

L'energia immessa nel terreno dalla sorgente, quando questa è esterna all'edificio, genera onde "elastiche" che raggiungono la fondazione modificandosi nel loro contenuto spettrale per effetto delle **caratteristiche fisico-meccaniche del terreno** attraversato.

Il fenomeno si traduce, nella generalità dei casi, in un'**attenuazione dell'intensità del moto**, man mano che ci si allontana dalla sorgente, per effetto delle **proprietà dissipative del terreno** e per un effetto geometrico. Usualmente tale fenomeno è più sensibile per le componenti del moto alle alte frequenze e nei terreni incoerenti e di tipo sciolto e dà quindi luogo ad uno spettro (del moto alla base) caratterizzato da un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze.

In alcuni casi, quando si è in presenza di condizioni stratigrafiche particolari, possono verificarsi fenomeni di risonanza che tendono ad amplificare alcuni valori spettrali rispetto ad altri.

La norma UNI 9614/2017, che richiama e fa riferimento primario alla ISO 2631-2:2003 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 10 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz).

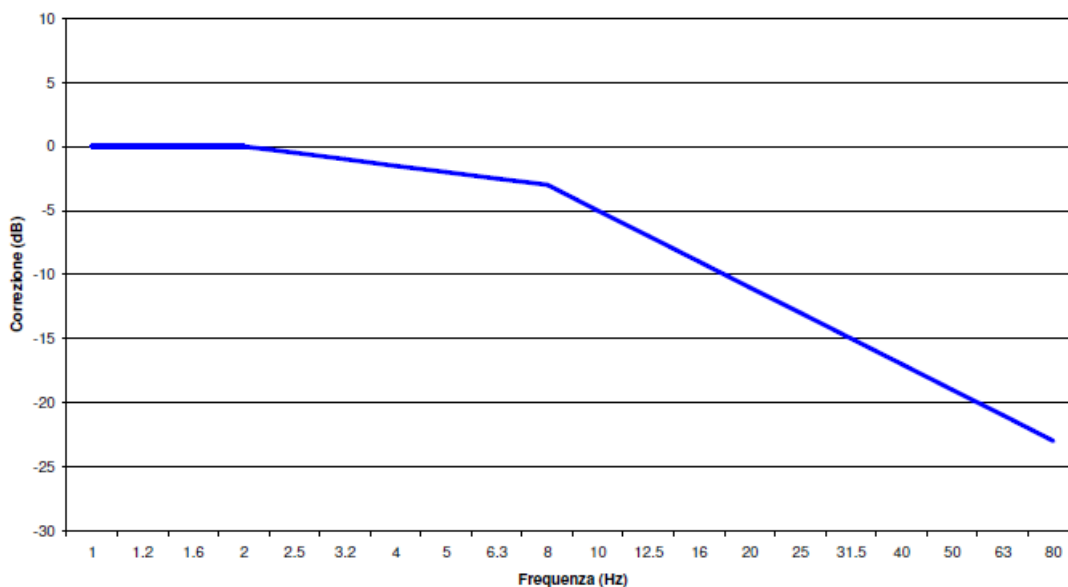


Figura 10 Curva di ponderazione asse generico

Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

$$L_{acc,w,tot} = 10 \cdot \lg \left[ \sum_i 10^{(L_{acc,i} + C_i)/10} \right]$$



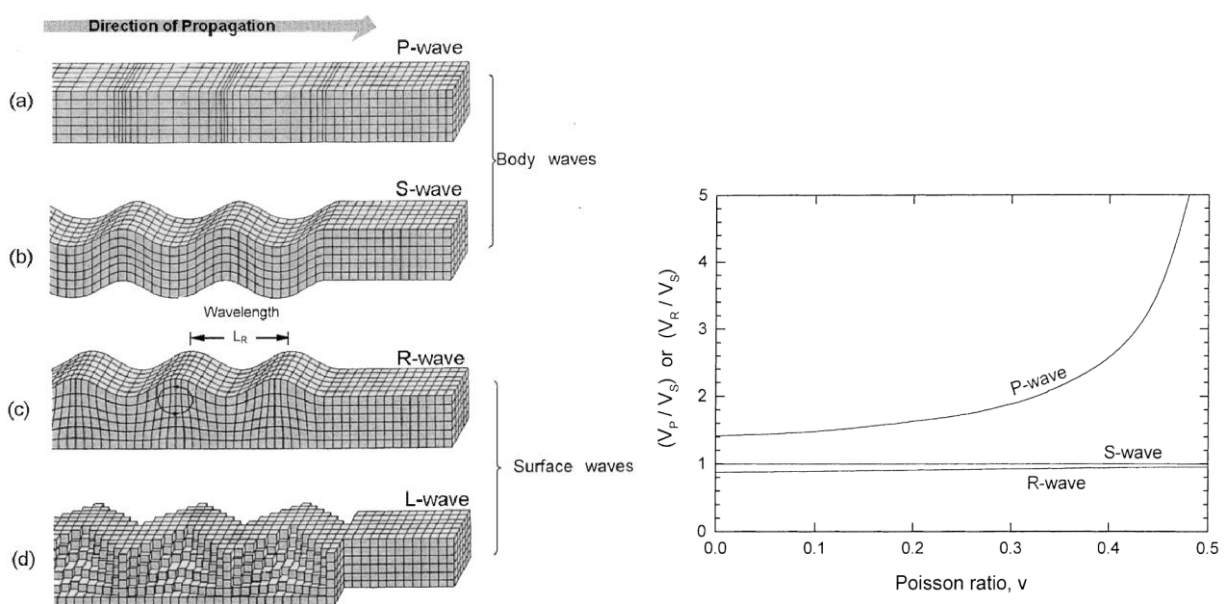
Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che, come abbiamo visto, producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre, infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

Le vibrazioni si propagano nel terreno circostante, alla zona della sorgente, subendo un'attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale:

- a) Onde di compressione (onda P)
- b) Onde di taglio (onda S)
- c) Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria. La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.



La velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La seguente figura mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

Ne consegue che l'onda che maggiormente interagisce con gli elementi strutturali (fondazioni, murature portanti, tramezzi e solai) degli edifici sono le onde di superficie  $V_r$ .

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

- si considera il terreno omogeneo e isotropo
- la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato
- ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

## 6 Modello di propagazione dell'onda nel terreno

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left( \frac{d_0}{d} \right)^n \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta / c \cdot (d - d_0)}$$

In cui  $\eta$  è il fattore di perdita del terreno,  $c$  la velocità di propagazione in m/s,  $f$  la frequenza in Hz,  $d$  la distanza in m e  $d_0$  la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

L'esponente  $n$  è funzione della tipologia di sorgente e dalla profondità. Pertanto per **sorgenti poste in superficie** (es. fondazioni superficiali, scavi poco profondi, etc) si assume  $n=0,5$  e  $n=1$  per sorgenti profonde (fondazioni su pali, perforazioni, etc).

Il fattore di smorzamento o di perdita del terreno  $\eta$  è funzione della natura del terreno ed è in generale pari a 0,1 per sabbie, ghiaie, o simili e 0,01 per gli elementi lapidei.

Tipo di terreno	$\eta$
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

## 7 Valutazione della propagazione delle vibrazioni

Sulla base dei dati relativi ai singoli modelli geologici rappresentativi del sito di interesse si sono definiti i valori del fattore di smorzamento  $\eta$  e dell'esponente  $n$  di seguito riportati.

Poiché i lavori interesseranno solo gli strati superficiali verranno valutate le vibrazioni prodotte dai mezzi meccanici fino a 2m tenendo conto degli sismostrati rilevati e delle relative velocità  $V_r$  calcolate per ognuno di essi.

Modello Geologico di sito– Profilo sismico M1 /M2/M3/M4/M5  $v=0,33$   $V_r = 0,933 V_s$

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	$\eta$	n
0,00-4,00	285	0,33	266	0.05	0.5
4,00-7,00	400	0,33	373	0.01	0.5
7,00-10,00	625	0,33	583	0.01	0.5
10,00-13,00	1010	0,33	942	0.01	0.5
>13,00	1540	0,33	1437	0.01	0.5

Se da una parte la **caratterizzazione geotecnica di dettaglio del sito** ha permesso di risalire con una buona approssimazione al **reale comportamento della propagazione delle onde superficiali** che generano la maggiore componente vibrazionale, allo stato attuale non è possibile effettuare **misure dirette sulle configurazioni di cantiere** previste (macchine e attrezzature) per **l'assenza di mezzi analoghi nel sito di progetto** ma anche in quelli più prossimi e geologicamente simili **assimilabili a quello in progetto**. Le misure su cantieri **non assimilabili** si riferirebbero a contesti non realistici e perciò **non rappresentativi**.

Pertanto, al fine di poter avere un quadro di riferimento della situazione benché non esaustivo per le ragioni appena espresse, verrà effettuata una disamina degli scenari maggiormente impattanti attraverso l'utilizzo di dati di letteratura (ammessa dalla norma – App.C punto C.4)

rimandando alla fase esecutiva l'effettuazione di tutte le **misure dirette e relative elaborazioni** da effettuarsi secondo quanto previsto al punto 6 e 8 della UNI 9614/2017

## 8 Sorgenti di vibrazione

La norma UNI 9614/2017 al punto 5 suddivide le sorgenti per tipologia in funzione di 1) posizione rispetto agli edifici, 2) funzione, 3) rispetto alle caratteristiche della durata della vibrazione prodotta ovvero in funzione al periodo di attività della sorgente. Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

- rispetto alla posizione – **esterne agli edifici**;
- rispetto alla funzione – **legate ad attività non essenziali e legate ad attività che non possono essere contemplate tra quelle interrompibili con successivi danni ad impianti, pericolo di incidenti e danni a produzioni.**
- rispetto al periodo di attività della sorgente – **tra le sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri).**

### 8.1 Analisi della fase di cantiere per la costruzione delle opere in progetto

In fase di valutazione previsionale, per quantificare il potenziale impatto delle vibrazioni relativo alla fase di costruzione e di installazione dei generatori si fa riferimento ad un programma di massima delle attività di cantiere ed in particolare alle fasi di lavorazione che possono risultare maggiormente gravose sotto il profilo vibratorio perché, ad esempio, comprendono l'impiego di attrezzature e macchinari che devono funzionare all'aperto.

In particolare, la fase di sbancamento preliminare alla erezione delle torri e di getto di calcestruzzo per costituire le platee ed i basamenti delle torri medesime e la realizzazione della nuova viabilità di servizio costituiscono potenzialmente la fase di attività più importante, senza sottovalutare quella relativa alla movimentazione di attrezzature e mezzi mediante autocarri che andranno ad incidere sulla viabilità. Si prevede infatti l'impiego di escavatori, dumpers, beton-cars, attrezzi ed utensili manuali. Inoltre, il cantiere può indurre un incremento di traffico stradale sulla viabilità locale.

Tali attività non vengono svolte simultaneamente in tutti i siti di installazione degli aerogeneratori, ma vengono compiute un sito per volta ed inoltre, benché la valutazione degli impatti negli scenari a seguire sarà fatta considerando la contemporaneità di attività dei mezzi, questo nella realtà non avviene.

Si prevede che le attività saranno svolte unicamente in periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa fase lavorazioni nei giorni festivi.** Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

## 8.2 Potenziale incremento dei flussi di traffico indotto dal cantiere sulla viabilità locale

Per quanto riguarda il traffico indotto dal cantiere si prevede un flusso di mezzi per il trasporto di materiali, componenti e personale quantificabile in circa 40 transiti/giorno in aggiunta al flusso di traffico locale attualmente presente (poche decine di veicoli/giorno) sulla viabilità di accesso al cantiere.

## 8.3 Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere

Sulla base del cronoprogramma indicato negli elaborati progettuali con riferimento allo spettro di emissione delle macchine operatrici e dell'incremento previsto nei flussi di traffico stradale, è stato sviluppato un modello di calcolo previsionale dell'impatto della componente vibrazioni da applicare a scenari individuati come rappresentativi delle attività e indicati di seguito, in prossimità dei ricettori maggiormente sensibili.

Sono stati individuati i seguenti scenari maggiormente impattanti dal punto di vista della propagazione di vibrazioni:

- **Scenario 01** – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione;
- **Scenario 02** – attività di posa dei cavidotti;
- **Scenario 03** – attività di realizzazione delle fondazioni delle torri di supporto;

Gli scenari di calcolo considerano la **contemporaneità nell'utilizzo dei mezzi di cantiere** (condizione più sfavorevole) e le **peggiori condizioni di trasmissione delle vibrazioni dal mezzo substrato** in un orario di lavoro compreso tra le 7:30 e le 13:00 e poi tra le 14:00 e le 16:30. Il calcolo è stato effettuato utilizzando la regola cosiddetta **SRSS** ovvero Square Root of the Sum of Squares che viene utilizzata in presenza di sorgenti multiple. Normalmente i mezzi d'opera non saranno impiegati continuativamente e contemporaneamente. Inoltre, durante l'orario di cantiere è previsto che i macchinari abbiano delle fermate legate alle necessità produttive. La norma **UNI 9614/2017 prevede che sia considerata periodo diurno la fascia oraria dalle 6.00 alle 22.00** (punto 3.17) e **fissa il limite per la massima accelerazione a 7,2 mm/s<sup>2</sup>** (punto 9.1).

Altresì nella valutazione del disturbo e sempre cautelativamente, i macchinari verranno considerati posizionati nel punto più vicino al ricettore in relazione all'attività da essi svolta.

Non è tuttavia possibile escludere il verificarsi di eventuali superamenti temporanei dei limiti differenziali solamente in occasione di specifiche o particolari lavorazioni svolte in vicinanza dei ricettori.

In questi casi si deve fare riferimento alla **gestione di attività temporanee (cantieri) in deroga ai limiti massimi** previsti dalla norma **UNI 9614/2017** al punto 9.5 e contenuta nell'**Appendice C** che prevede la stesura del **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

Al fine della valutazione della distanza oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alle soglie limite dettate dalla norma si sono prese in considerazione le caratteristiche geologiche del **modello geologico di sito** ipotizzando l'assenza di terreno di copertura in questo modo maggiormente cautelativo.

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	$\eta$	n
0,00-4,00	285	0,33	266	0.05	0.5
4,00-7,00	400	0,33	373	0.01	0.5
7,00-10,00	625	0,33	583	0.01	0.5
10,00-13,00	1010	0,33	942	0.01	0.5
>13,00	1540	0,33	1437	0.01	0.5

#### 8.4 Scenari di riferimento di cantiere

**Scenario 01** – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Pala cingolata
- Autocarro
- Rullo vibrante
- Escavatore

**Scenario 02** – attività di posa dei cavidotti: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Escavatore
- Autocarro

**Scenario 03** – attività di realizzazione delle fondazioni e piazzole delle torri di supporto agli aerogeneratori: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Escavatore
- Martellone idraulico
- Autocarro
- Pala cingolata
- Betoniera\*
- Gru\*

MOD. GEO.	Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec <sup>2</sup>
<b>Scenario 01</b>	<b>127</b>
<b>Scenario 02</b>	<b>87</b>
<b>Scenario 03**</b>	<b>127</b>

Tabella 2 - Valutazione distanza di sicurezza per le vibrazioni

\*Gli spettri di emissione per questi macchinari non sono reperibili in letteratura, pertanto per la loro valutazione si rimanda alla campagna di misure prevista nel piano di cantierizzazione in fase esecutiva.

\*\* valore indicativo ottenuto senza il contributo di autobetoniera e gru.

### 8.5 Scenari di riferimento di esercizio

Relativamente alla valutazione del disturbo in fase di esercizio e perciò dovuto a vibrazioni provenienti dal funzionamento degli aerogeneratori, poiché queste vengono totalmente dissipate dai corpi di fondazione non propagandosi nell'ambiente circostante, non si manifestano problematiche legate al disturbo alla persona e/o a eventuali danni alle strutture.

Qualora, in fase di esercizio, si dovesse eseguire un intervento di manutenzione straordinaria che prevede l'utilizzo di macchine operatrici le cui vibrazioni in fase di attività sono potenzialmente impattanti, verrà opportunamente redatto un apposito piano di monitoraggio e si farà riferimento a tutte le direttive previste dalla UNI 9614/2017 all'Appendice C per la gestione degli effetti prodotti da vibrazioni in attività temporanee (cantieri).

## 9 Limiti di riferimento

Il problema della percezione umana delle vibrazioni in termini di disturbo (annoyance) dipende dalla tipologia di attività svolta e dall'intensità e frequenza che essa genera e che produce la vibrazione. I limiti di riferimento sono riportati dalla **norma UNI 9614/2017** che suddivide gli edifici in base alla loro destinazione d'uso in 5 classi, ipotizzando quindi una differente sensibilità alle vibrazioni e al punto 9, ai fini della valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni e indica dei limiti per le accelerazioni con riferimento alla tollerabilità a fenomeni vibratorii.

Di seguito vengono riportati per i diversi tipi di ambiente e per i diversi periodi della giornata i valori limite di disturbo.

Ricettore	Periodo	Accelerazione ponderata della sorgente (mm/sec <sup>2</sup> )
Ambienti ad uso abitativo (punto 9.1)	Diurno	7,2
	Notturmo	3,6
	Diurno di giornate festive	5,4
Luoghi lavorativi (punto 9.2.1)	Non specificato	14
Ospedali, case di cura ed affini (punto 9.2.2)	Non specificato	2
Asili e case di riposo (punto 9.2.3)	Limitatamente ai periodi in cui è previsto riposo diurno	3,6
Scuole (punto 9.2.4)	Limitatamente nel periodo di fruizione	5,4

Figura 11- Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

La sensibilità umana è variabile con la frequenza, e dipende dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono codificate dalla norma tecnica UNI 9614/2017, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate, sedute o in piedi, riportato nelle seguenti figure:

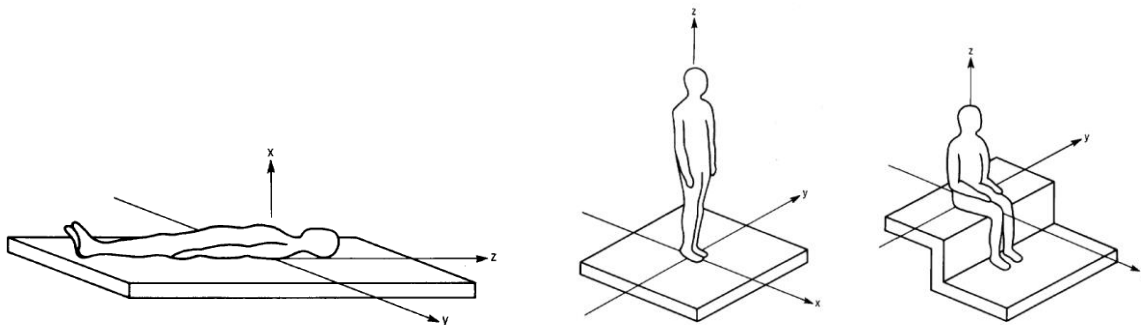


Figura 12- Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz. Al segnale di accelerazione rilevato devono essere applicati per le singole frequenze dei valori di attenuazione (curve di ponderazione) al fine di rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

Nel caso considerato, tuttavia, la popolazione si troverà esposta indifferentemente su uno dei tre assi, a seconda della giacitura dei soggetti, che è ovviamente non predeterminale e variabile nel corso delle 24 ore. In tali casi, la norma UNI 9614/2017 prevede l'impiego di una curva di ponderazione per asse generico (o meglio, per asse non definibile), che è riportata nella seguente figura.



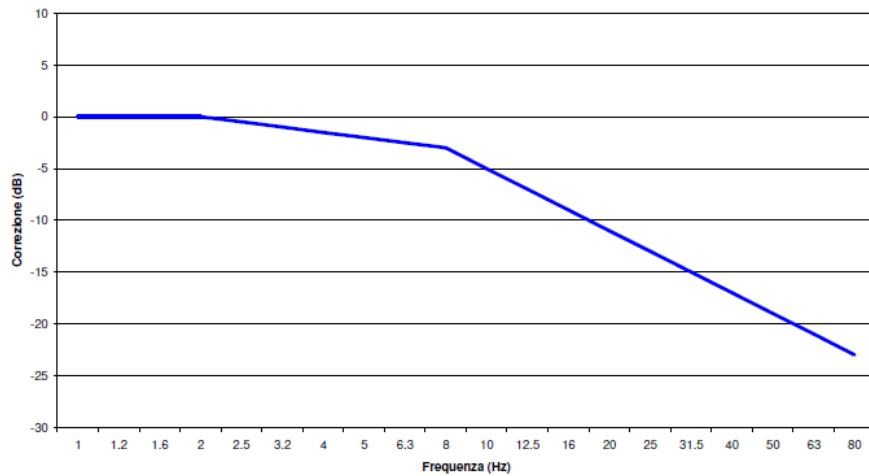


Figura 13- Curva di ponderazione per un asse generico - UNI 9614

Per quanto concerne il danno strutturale i limiti presi in considerazione nella norma UNI 9614/2017, risultano più elevati per almeno un ordine di grandezza a ciascuna frequenza, dei limiti individuati dalla norma UNI 9916/2014 nei riguardi del danno potenziale alle strutture. Ne consegue che la verifica dei limiti secondo la norma 9614/2017 esclude il generarsi di effetti dannosi sulle strutture dei ricettori considerati. **Tuttavia, in fase esecutiva, sarà effettuata una campagna di misure sui fabbricati qualificati come ricettori sensibili secondo quanto previsto dalla norma 9916/2014 ai punti 6,7 e 8.**

Di seguito si riportano i Valori di Riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni secondo la DIN 4150 a cui fa riferimento la UNI 9916/2014 al punto 9.

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

- 1) Edifici industriali e ostruzioni strutturalmente simili;
- 2) Edifici residenziali e costruzioni simili;
- 3) Costruzioni che non appartengono alle prime de categorie e sono degne di essere tutelate

(per esempio monumenti storici)

E considera due tipi di vibrazione:

- 1) Vibrazione di breve durata;
- 2) Vibrazione permanente

prospetto D.1 **Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) a 50 ( $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) a 20 ( $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) a 10 ( $f=100$ Hz)	8	3/4

\*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

prospetto D.2 **Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

Figura 14- Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)

## 10 Recettori

L'analisi dei ricettori è stata effettuata entro un raggio di 1000m dalle aree di cantiere e dalla viabilità di servizio. Successivamente si sono presi in considerazione gli scenari di cantiere maggiormente impattanti e da questi si sono derivate le distanze massime oltre le quali le vibrazioni potenzialmente prodotte non superano i valori soglia dettati dalla norma 9614/2017.

Tali distanze sono state utilizzate inoltre per valutare, secondo la 9916/2014 gli edifici potenzialmente suscettibili di danno secondo quanto previsto dalla norma stessa.

## 11 Modalità di gestione del disturbo dovuto alle vibrazioni

Le attività di cantiere quali il passaggio di veicoli pesanti, le demolizioni, la battitura di pali, ecc. costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili e pertanto nella maggior parte dei casi gestibili. Qualora non fosse tecnicamente possibile o economicamente giustificabile mettere in atto soluzioni lavorative differenti a quelle previste e si dovessero verificare condizioni per cui si abbia evidenza del superamento dei limiti di riferimento, in accordo con quanto indicato al punto 9.5 della norma UNI 9614/2017 che dispone la possibilità di deroghe a tali limiti concedibili in alcuni casi per **attività temporanee o di cantiere**, verranno attuate le attività previste dalle linee guida all'**Appendice C** della stessa norma.

### 11.1 Criteri di azione e misure di mitigazione

Sebbene i limiti di riferimento relativi al disturbo non siano, in certi casi, esplicitabili, in generale il primo criterio con cui affrontare la gestione del disturbo generato da vibrazioni è che:

- **le vibrazioni dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime** (la norma di riferimento per tali valutazioni è la UNI 9916/2014)

Per quanto concerne invece il disturbo alle persone, il primo criterio che dovrebbe essere garantito è

- **Il rispetto del periodo di riposo notturno**

ovvero evitare tutte quelle attività che possano portare al risveglio durante il periodo dalle ore 22.00 alle ore 6.00 o, in adiacenza a strutture quali scuole, case di riposo in cui è previsto il riposo pomeridiano per la durata dello stesso.

Un altro criterio da tenere in considerazione è

- **la valutazione di modalità esecutive a minore impatto e posizionamento di sorgenti fisse lontano dai ricettori**

ovvero la rivalutazione delle attività lavorative previste con l'intento di abbassare il complessivo livello di vibrazione generato e la dislocazione delle sorgenti a maggiore impatto a distanze maggiori per garantire una maggiore dissipazione della vibrazione immessa.

Risulta evidente che il miglior approccio alla gestione del problema nel suo complesso venga studiato approfonditamente dall'impresa esecutrice dei lavori in base alla propria dotazione di attrezzature e mezzi e alla sua organizzazione. L'analisi preventiva di tutte le situazioni di impatto e delle relative modalità di gestione sarà contenuta in un documento che l'impresa dovrà fornire all'ente o al soggetto controllore prima dell'inizio dei lavori contenente le misure di mitigazione che verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

Tale documento individuato con il nome di **PIANO di GESTIONE dell'IMPATTO VIBRAZIONALE di CANTIERE (PGIVC)** ha l'obiettivo, per quanto ragionevolmente attuabile in relazione agli obiettivi di progetto, di limitare i livelli di vibrazione così che le residenze interessate o altri ricettori sensibili siano protetti da eccessivi livelli di vibrazione associati alle attività di cantiere. Di seguito vengono riportati i contenuti minimi richiesti per le lavorazioni in progetto:

1. censimento dei ricettori: deve essere fornita la lista completa e aggiornata dei ricettori ritenuti sensibili e di questi devono essere fornite le seguenti informazioni: destinazione d'uso, attività in esso svolte, caratteristiche costruttive e condizioni di conservazione. I ricettori verranno classificati in base a queste caratteristiche e alle fasce orarie di rispetto del riposo.
2. tipologia di lavorazioni: deve essere stilata una precisa lista delle lavorazioni ed in particolar modo di quelle fasi che prevedono sovrapposizione di sorgenti potenzialmente impattanti. Di essi si dovrà conoscere il potenziale di impatto ottenuto da misure dirette o da dati di letteratura. Questa fase è di fondamentale importanza e propedeutica alla valutazione dell'entità del disturbo e della sua durata.
3. attività informativa preventiva: il piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere deve contenere un accurato programma di informazione preventiva rivolto alla popolazione ritenuta sensibile. L'informazione, esplicita mediante i mezzi di divulgazione locali (volantini, riunioni della popolazione, avvisi e/o ordinanze comunali, porta a porta) devono contenere tutti gli elementi necessari alla corretta informazione degli eventi previsti: valori limite, orario delle lavorazioni, durata, tipologia. Le comunicazioni dovranno altresì informare chiaramente che le vibrazioni non saranno tali da recare danni permanenti alle strutture.
4. monitoraggi: prima dell'inizio delle attività di cantiere previste, dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio con misure dirette su ciascuna di quelle più impattanti con particolare riferimento quelle la cui interferenza può potenzialmente generare superamenti delle soglie limite. Le modalità esecutive delle misure, il numero e la successiva elaborazione dei dati deve essere eseguita con le modalità descritte al punto 6 della UNI 9614/2017. La strumentazione da utilizzare avrà le caratteristiche previste al punto 7 della stessa norma e sarà opportunamente calibrata e tarata, dandone evidenza allegando al piano di monitoraggio la documentazione rilasciata dall'ente certificatore. Qualora ci si trovasse in presenza di lamenti e/o esposti, al fine di verificare con la massima cura l'entità del disturbo, il tecnico misuratore utilizzerà il questionario predisposto all'Appendice B della UNI 9614/2017, finalizzato ad una raccolta dati efficace e completa.
5. mitigazioni: il PGIVC dovrà contenere tutte le misure di mitigazione individuate per limitare il disturbo generato dalla vibrazione. Sarà indicata al suo interno un'analisi ex-ante ed ex-post da cui si possa evincere l'efficacia delle misure di mitigazione individuate.

6. controlli: il PGIVC deve prevedere un piano di controllo e audit interno finalizzato alla corretta applicazione delle misure di mitigazione e in generale di tutte le azioni strutturali e non strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

Per quanto non esplicitamente esposto nella presente, si rimanda all'Appendice C della norma UNI 9614/2017.

spettri di emissione delle macchine operatrici

11.1.1 PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO VIBRANTE

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un rullo vibrante e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

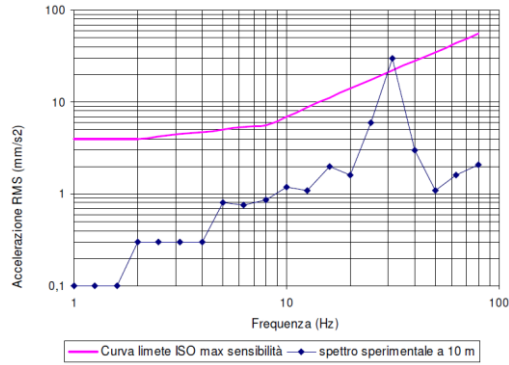


Figura 15 Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

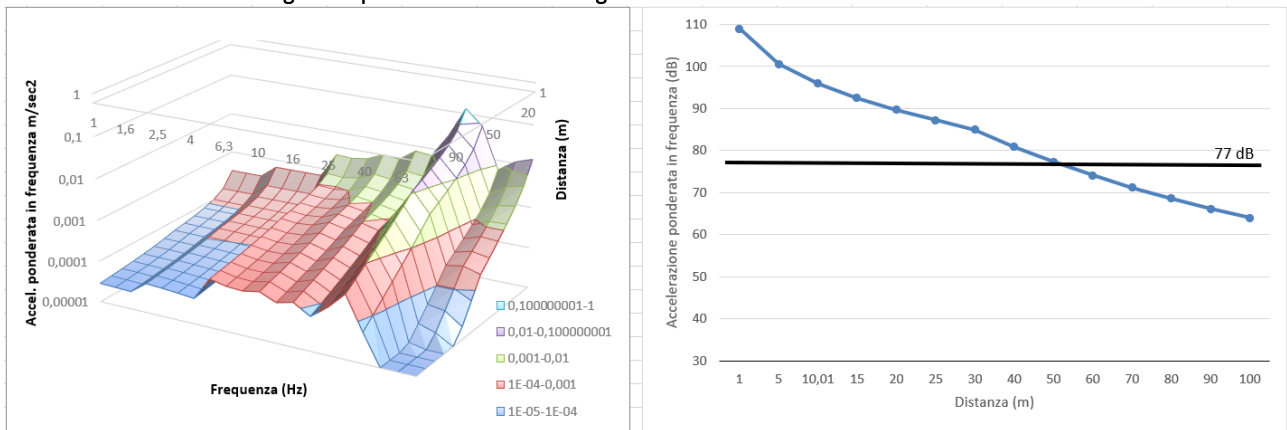


Figura 16 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 11.1.2 PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UNA PALA CINGOLATA

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per una pala cingolata e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

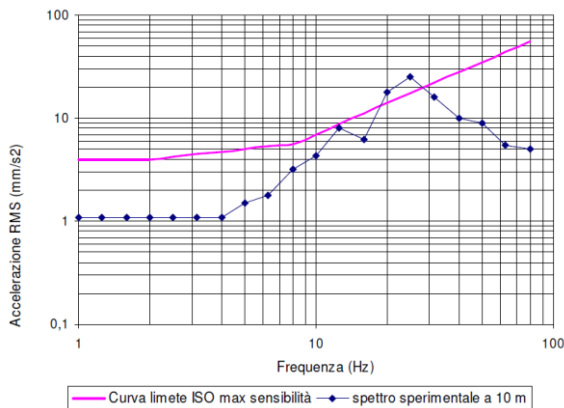


Figura 17 Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10mdall’asse di cantiere

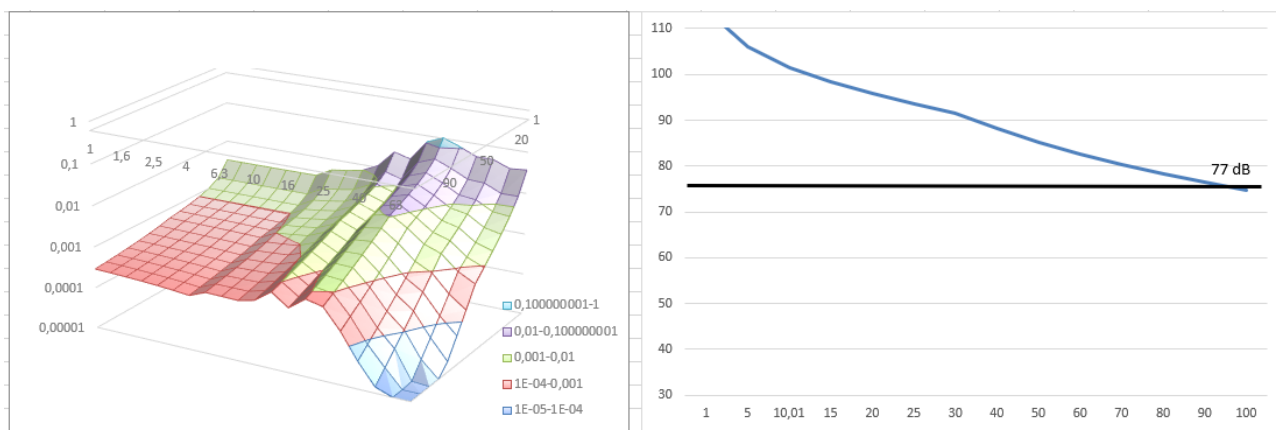


Figura 18 Modifica dello spettro dell’accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 11.1.3 PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN AUTOCARRO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un autocarro e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

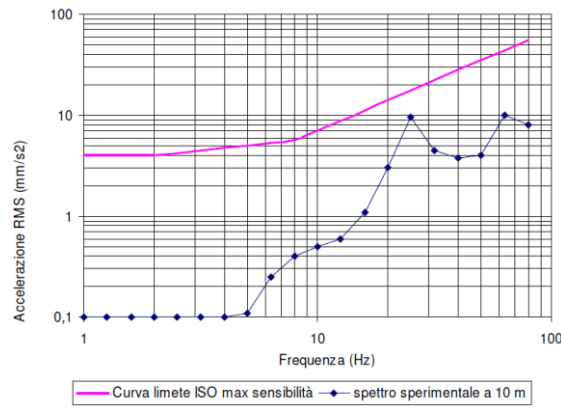


Figura 19 Spettro di emissione della sorgente di un autocarro 10mdall'asse di cantiere

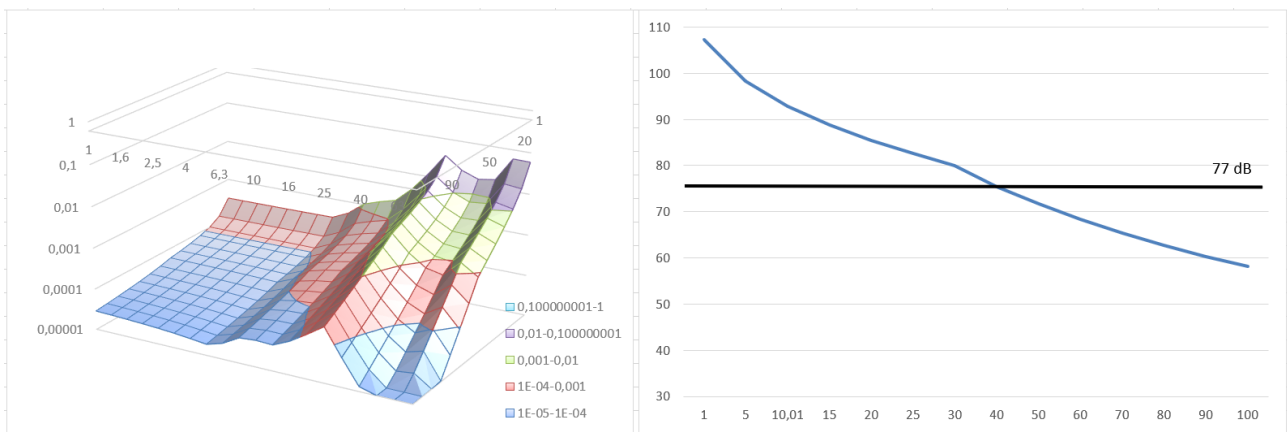


Figura 20 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni



### 11.1.4 PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN ESCAVATORE CINGOLATO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un escavatore cingolato e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

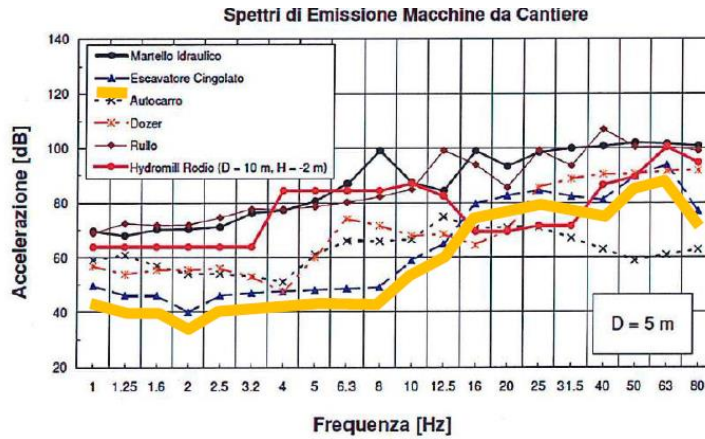


Figura 21 Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato 5mdall'asse di cantiere

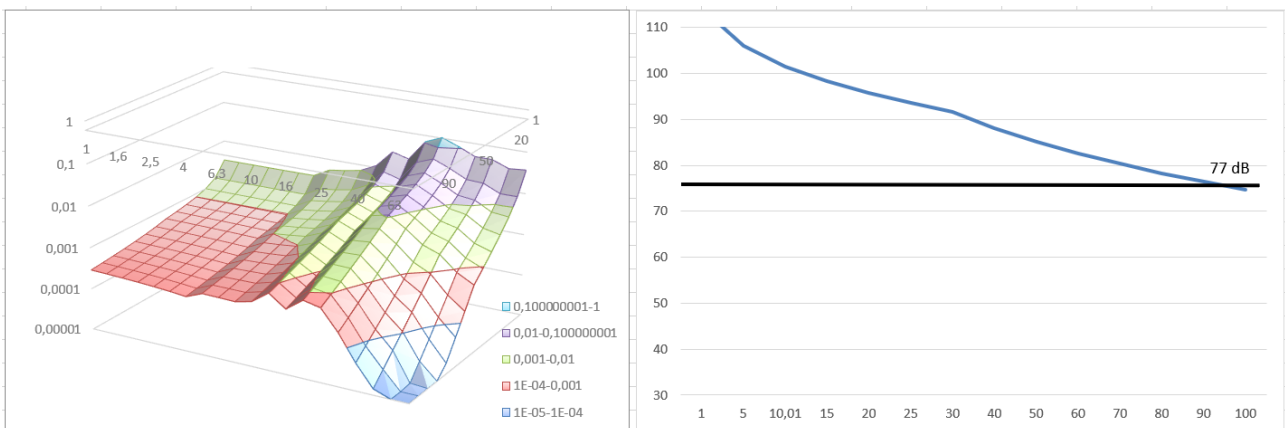


Figura 22 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

### 11.1.5 PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN MARTELLO IDRAULICO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un martello idraulico e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.

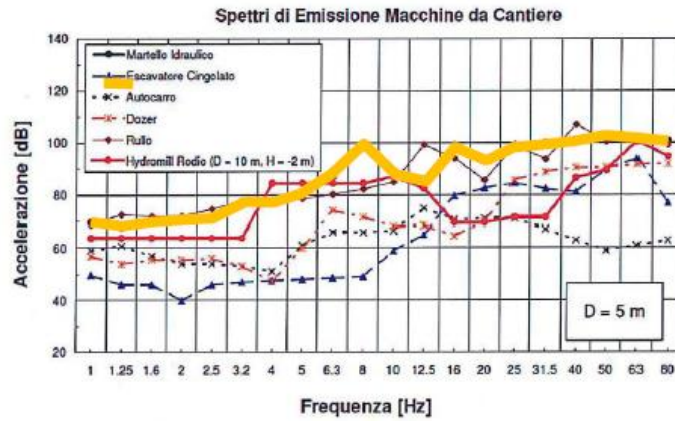


Figura 23 Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico 5m dall'asse di cantiere

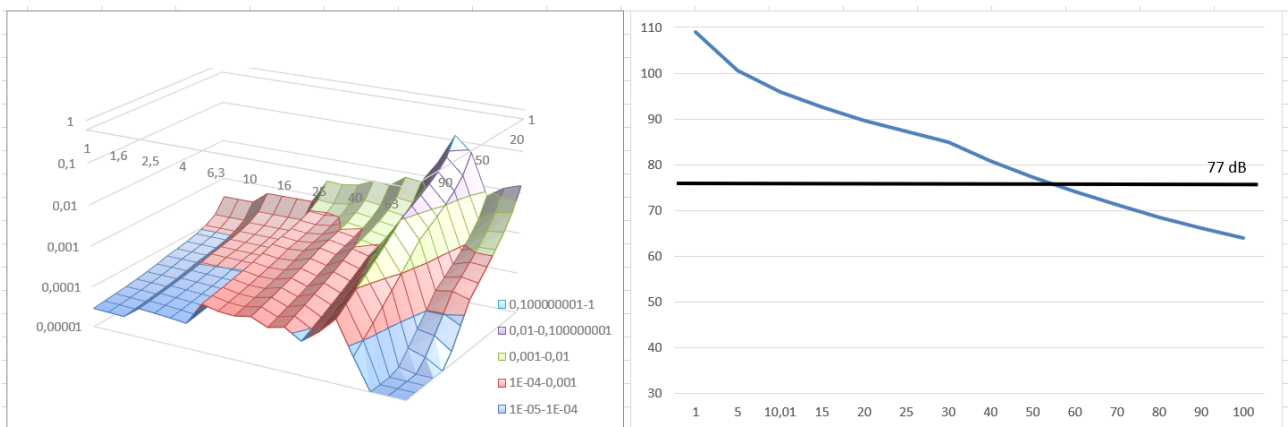


Figura 24 Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni

## 12 Conclusioni

Lo studio ha permesso di analizzare il potenziale impatto dovuto a vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici, in accordo con quanto previsto alle norme 9416/2017 e 9916/2014, che verranno impiegate per la realizzazione del Parco Eolico e successivamente durante il suo esercizio.

A tal fine e con l'intento di valutare efficacemente le attività previste sono stati individuati tre scenari di riferimento per la fase di cantiere. Quindi sono state valutate le distanze oltre le quali il livello di vibrazione prodotto complessivamente dalle attività risulta minore dei limiti prefissati dalla norma ovvero con accelerazione ponderata minore di 7,2 mm/sec<sup>2</sup>.

**L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza compreso tra i 87m (posa dei cavidotti) e i 127m (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).**

All'interno di queste distanze non ricadono ricettori sensibili quali abitazioni.

I risultati dello studio mostrano che la componente vibrazioni non comporta in generale incompatibilità di alcuna natura tra le attività previste e l'assetto ambientale esistente sia nei confronti della salute umana e quindi nella percezione del disturbo, che relativamente ad eventuali ripercussioni sulle strutture.

Tuttavia, eventuali superamenti dei limiti, ammessi dalla normativa per attività temporanee quali i cantieri, verranno gestite secondo quanto riportato nel Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere da redigere prima dell'inizio dei lavori.