Firmato digitalmente da
mente da
antonio viggiano
IERI
CN = viggiano antonio
C = IT
CN = MATTIA LETTIERI
T = GEOLOGO
SerialNumber =
TINIT-LTTMTT68M08H703R

REGIONE LIGURIA

Provincia di Savona

COMUNI DI CAIRO MONTENOTTE E ALTARE

PARCO EOLICO "BRIC SURITE" (27MW) nei Comuni di Cairo Montenotte e Altare

Relazione geologica di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica

DATA	REVISIONE
Agosto 2023	*Procedura di Verifica di assoggettabilità a VIA - Screening*

I TECNICI:
Dott. Geol Antonio Viggiano

ORDINE DEI GEOLOGI della Regione Campania – Dr. Geol. Antonio VIGGIANO – Albo N° 2397

Dott. Geol. Mattia Lettieri

ORDINE DEI GEOLOGI della Regione Campania – dr. geol. MATTIA LETTIERI – Albo n. 1448

SOCIETA' PROPONENTE:
DA1 S.r.l
Via Ezio Maccani 54
38121 Trento (TN)
C.F e P.IVA 02673660227

DA1

TRYNITY ENERGIE

ELABORATO

02.R02

INDICE

1. Premessa 3
2. Individuazione geografica e cartografica dell'area 7
3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica 9
   3.1 Inquadramento geologico regionale 9
   3.2 Il Bacino Terziario Piemontese – nuove conoscenze apportate dal Progetto CARG 12
   3.3 Assetto geologico locale dell'area di studio 14
   3.4 Geomorfologia e stabilità generale dell'area di studio 17
   3.5 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame 19
4. Pericolosità geologica dell'area di studio 22
   4.1 Normativa di riferimento 22
5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica 25
   5.1 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito 25
6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni 26
   6.1 Caratteristiche geotecniche dei terreni 26
7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche 29
   7.1 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) 29
8. Sismicità del territorio 60
   8.1 Classificazione sismica 60
   8.2 Normativa di riferimento 62
   8.3 Inquadramento sismo-tettonico 63
   8.4 Sismicità attuale e storica di Cairo Montenotte e Altare 65
   8.5 Zonazione sismogenetica 72
   8.6 Pericolosità sismica 74
9. Risposta sismica locale 77
   9.1 Categoria di sottosuolo 78
   9.2 Categoria topografica 87
   9.3 Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica 88
10. Caratterizzazione sismica secondo le N.T.C. 2018 (D.M. 17.01.2018) 91
11. Verifica delle pericolosità dovuti agli effetti cosismici 108
   11.1 Stabilità nei confronti della liquefazione 108

12. Considerazioni tecniche e compatibilità geologica del progetto proposto 113
12.1 Descrizione sommaria delle opere da realizzare..... 113
12.2 Compatibilità idrogeologica del progetto proposto..... 117
13. Campagna di indagini geognostiche previste per il progetto esecutivo..... 120

Tavole allegate alla relazione fuori testo:

- *Tav. R02.1 – Impianto eolico su Carta Tecnica Regionale – Scala 1:5.000*
- *Tav. R02.2 – Carta geolitologica – Scala 1:5.000*
- *Tav. R02.3 – Carta inventario dei fenomeni franosi – Scala 1: 5.000*
- *Tav. R02.4 – Carta di ubicazione delle indagini in sito – Scala 1:5.000*
- *Tav. R02.5 – Carta della pericolosità idraulica – Scala 1:5.000*
- *Tav. R02.6 – Carta della categoria di sottosuolo – Scala 1:5.000*
- *Tav. R02.7 – Carta della categoria topografica – Scala 1:5.000*

1. Premessa

Su incarico ricevuto dalla soc. ***DA1 S.r.l.***, con sede in Trento (TN) alla via Ezio Maccani n°54, il sottoscritto geologo dott. Antonio Viggiano, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con n°2397, con studio in Postiglione (SA) alla via Canneto n°210, in collaborazione con il *geologo dott. Mattia Lettieri*, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania con n°1448, redigono la presente relazione geologica, idrogeologica, di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione (*DPR 328/01, art. 41; D.M. 17/01/2018, 3.2.2, 6.2.2;*) per il progetto denominato "*Parco eolico BRIC SURITE (27MW) nei Comuni di Cairo Montenotte e Altare*".

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici il presente studio geologico è stato redatto secondo le seguenti disposizioni normative statali e regionali:

- Decreto Ministero LL.PP. 11 marzo 1988, "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce*, *la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*" con relativa Circolare n. 30483 del 24 settembre 1988, per quanto non sostituito dal D.M. 14/01/2008.
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - DM 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», con la relativa Circolare 21/02/2019 n. 7, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018".
- Autorità di Bacino del Fiume Po "*Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI),* approvato con D.P.C.M. del 24/05/2001, comprensivo del P.S. 45 e del *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, con smi*.
- Regione Liguria, Deliberazione 19 novembre 2010, n. 1362, "*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".*
- Regione Liguria, G.R. n. 216 del 17 marzo 2017 – O.P.C.M. 3519/2006, *Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*.
- Regione Liguria, G.R. n. 802 del 05 agosto 2020 - L.R. 41/2014, art.33, c.6. Adozione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità geomorfologica da frana.

La presente analisi fornisce un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico dell'area oggetto di studio ed è supportata dalle risultanze della campagna di indagini eseguite dagli scriventi nelle zone che saranno interessate dall'installazione degli aerogeneratori.

Questo lavoro si prefigge, quindi, di evidenziare le possibili problematiche connesse alle condizioni di assetto idrogeologico in cui versa attualmente il territorio indagato fornendo tutti i suggerimenti necessari per eseguire le scelte tecniche operative più idonee. L'indagine eseguita si è articolata nelle seguenti quattro fasi di studio principali:

1. *Fase preliminare*: la prima fase ha riguardato la raccolta di tutti i dati disponibili presso gli enti pubblici preposti (Comuni di Cairo Montenotte e Altare, Autorità di Bacino del Fiume Po) e del materiale bibliografico riguardante l'area in esame.

2. *Fase conoscitiva di base*: durante la seconda fase è stato effettuato il riconoscimento dei lineamenti geologici, geomorfologici e dell'assetto strutturale della zona, dello stato idrogeologico superficiale e sotterraneo, controllo, integrazioni o aggiornamenti delle cartografie di base già redatte per la zona di studio da altri enti pubblici.

3. *Fase degli accertamenti di dettaglio*: la terza fase si è svolta prima mediante il rilevamento geologico di campagna, al fine di verificare e aggiornare con rilievi di dettaglio gli aspetti geologici e geomorfologici relativi al territorio in studio, e successivamente con l'analisi delle indagini eseguite e disponibili con la successiva elaborazione ed interpretazione dei dati.

4. *Elaborazione dei dati*: infine si è pervenuti alla stesura della relazione geologica, idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione, che illustra le conclusioni cui si è approdati in fase di sintesi al fine di verificare la compatibilità dei lavori di progetto in relazione alla stabilità della zona ed alle condizioni di assetto idrogeologiche attualmente presenti.

L'approccio metodologico seguito nello sviluppo del presente studio è stato il seguente:

- analisi critica della documentazione scientifica e tecnica disponibile per l'area, con particolare riferimento alla bibliografia recente relativa all'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area;
- sopralluoghi interdisciplinari sui siti e negli areali circostanti, con la partecipazione dei progettisti per una verifica puntuale dell'assetto degli stessi e delle esigenze connesse al progetto proposto;
- rilievi geologico-strutturali di terreno volti all'analisi della successione litostratigrafica presente ed all'assetto strutturale dell'area;
- controllo dell'assetto geomorfologico attraverso rilievi di dettaglio sul terreno, esame della cartografia tematica disponibile;
- analisi delle indagini geognostiche pregresse (sondaggi, prove in sito, prove di laboratorio) condotte in aree limitrofe a quelle di specifico interesse;
- analisi complessiva del quadro geologico, geotecnico e idrogeologico disponibile finalizzato alla valutazione delle necessarie attività di integrazione;

- programmazione di indagini e rilievi specifici per la definizione degli aspetti geologico-strutturali, geotecnici, idrogeologici e sismici, e programmazione del nuovo Piano di indagini integrative per il progetto esecutivo;
- elaborazione e rappresentazione cartografica degli elementi di superficie;
- confronto e interscambio periodico con le altre Figure professionali del Gruppo di progettazione per il continuo recepimento delle esigenze conoscitive e la immediata messa a disposizione dei dati man mano emergenti;
- elaborazione del Modello geologico e sismico di riferimento e interfaccia con le competenze ingegneristiche per una completa caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce e l'impostazione di condizioni al contorno adeguatamente rappresentative per le analisi di stabilità.

I contenuti della presente relazione geologica e idrogeologica, di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione, sono i seguenti:

- inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area;
- analisi e considerazioni sulle indagini sismiche eseguite sui siti di specifico interesse e su quelle disponibili per l'area di studio;
- caratterizzazione dei parametri geotecnici medi dei litotipi del sottosuolo in esame;
- indicazione della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale e della sismicità storica dell'area di studio;
- determinazione della categoria di sottosuolo, indicazione degli effetti di sito (risposta sismica locale) e dei relativi coefficienti di amplificazione sismica;
- verifica delle pericolosità (liquefazione dei terreni, effetti cosmici).
- indicazione della fattibilità dell'intervento in relazione all'assetto idrogeologico della zona ed in base ai risultati ottenuti dai punti precedenti.

L'obiettivo finale che si vuole raggiungere con il presente studio è quello di valutare la Risposta Sismica di Sito che ha avuto lo scopo di definire, in tutti i suoi dettagli, le caratteristiche del sito di fondazione e del sottosuolo significativamente interessato dalle opere di progetto definendo, come previsto nella nuova normativa per le costruzioni in zona sismica, la Categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche. L'attenzione alle caratteristiche geolitologiche, geosismiche e geotecniche a livello di sito, nasce dalla constatazione ormai ben nota che un deposito incoerente, poggiante su un basamento rigido, può modificare sostanzialmente la composizione spettrale ed il livello energetico dell'evento sismico determinando l'amplificazione di alcune frequenze.

La definizione di tali amplificazioni è essenziale per valutare la pericolosità di un sito potendo essa essere di livello anche molto maggiore di quello relativo alle stesse differenziazioni energetiche legate alla Classificazione. Il Rischio per una struttura sottoposta ad uno stress sismico dipende, infatti, non solo dalla vulnerabilità propria della struttura edilizia, ma anche, e forse principalmente, dall'intensità delle componenti a varie frequenze contenute nel segnale

sismico ed in particolare quello relativo alle onde *S*, che, emergendo in genere verticalmente, producono sollecitazioni orizzontali alle costruzioni.

Per la ricostruzione del modello geologico e geotecnico dell'area di studio, dunque, sono stati presi in considerazione i risultati di precedenti campagne di indagini geognostiche realizzate in aree limitrofe a quella in esame e su terreni appartenenti alle medesime formazioni geologiche.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo, invece, sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*). Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico e sismico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.

L'insieme dei dati acquisiti, a parere degli scriventi, risulta sufficiente a riconoscere e descrivere i parametri necessari ad inquadrare la tematica trattata e consente di giungere responsabilmente al parere di competenza, in ordine all'incarico ricevuto.

2. Individuazione geografica e cartografica dell'area

L'area in esame si localizza nell'ambito della Provincia di Savona. Il parco eolico sarà costituito da n°6 aerogeneratori di cui n°3 saranno realizzati nel Comune di Cairo Montenotte (aerogeneratori V-3B, V-2B, V-4C,) e n°3 saranno realizzate nel Comune di Altare (aerogeneratori V-6A, V-1D, V-7E) (Fig. 1).

Si tratta di un settore di territorio posto in corrispondenza dello spartiacque tra i Bacini del Bormida di Mallare e del T. Letimbro e, dal punto di vista topografico, interamente compreso nelle Sezioni 228042, 228081, 229013 e 229054 della Carta Tecnica Regionale ligure.

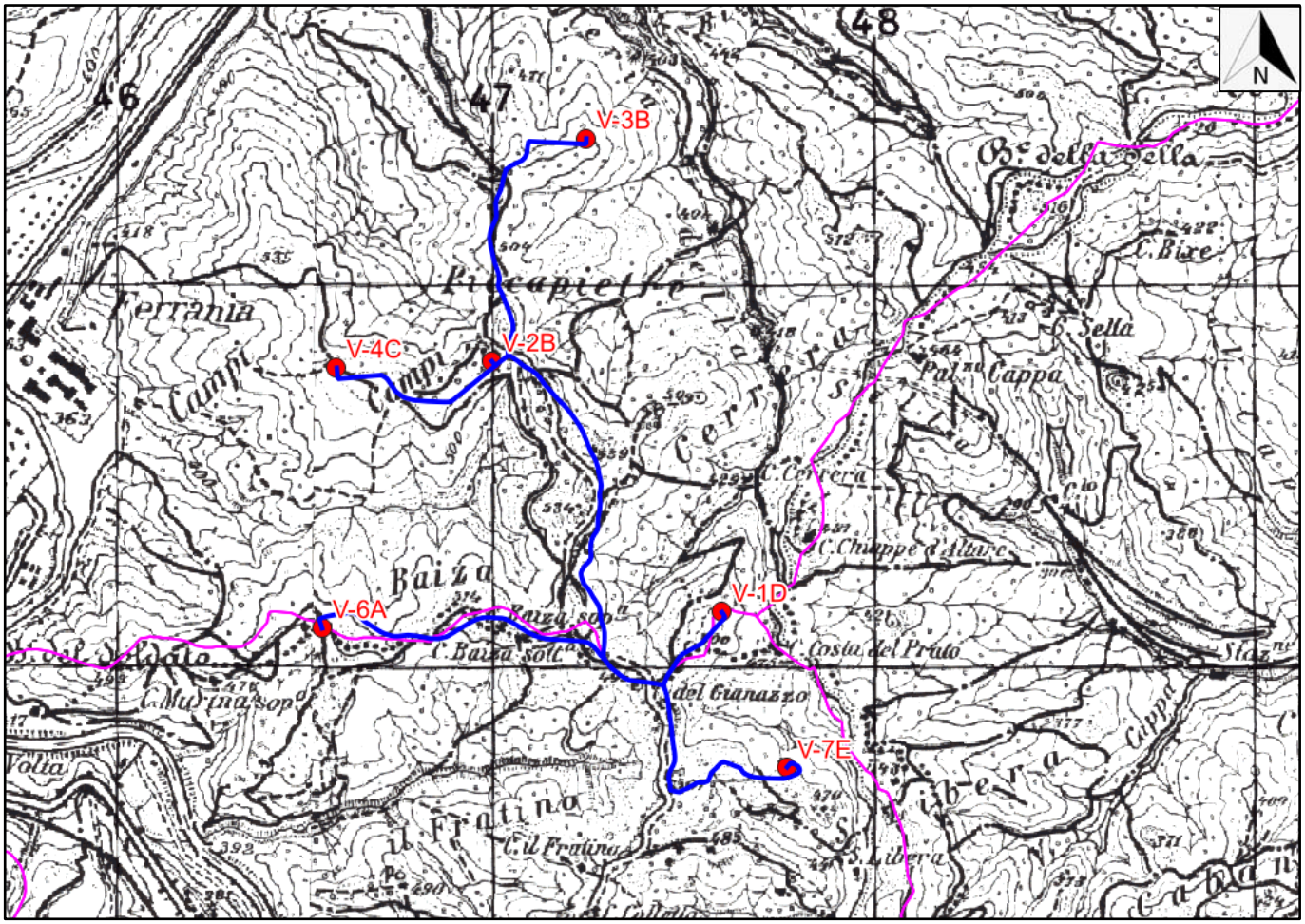


Fig. 1 – Stralcio della Carta Topografica IGM in scala 1:25.000 con ubicazione degli aerogeneratori e del percorso dell'elettrodotto

Legenda

= Aerogeneratori

= Cavidotto

= Limite comunale

Su ampia scala si osserva un territorio montano con versanti ad elevate pendenze e aree di fondovalle semi-piane ove scorrono i principali corsi d'acqua (Fiume Bormida). L'organizzazione planimetrica della rete idrografica è di tipo dendritico ovvero con ramificazioni ad andamento arborescente dei segmenti fluviali di ordine via via inferiore (Fig. 2).

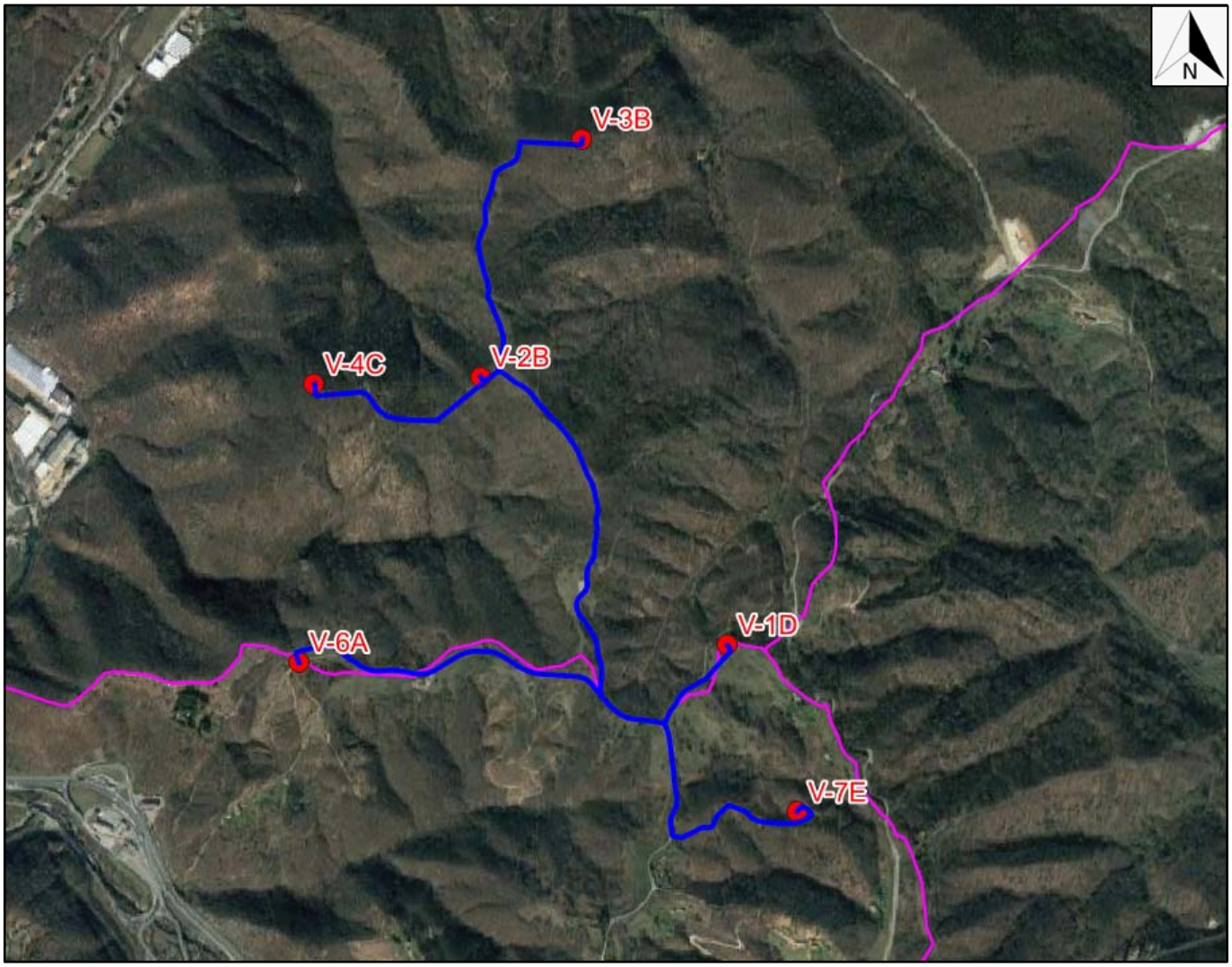


Fig. 2 – Ortofoto tratta da Google satellite con ubicazione degli aerogeneratori e del percorso dell'elettrodotto

Nelle seguenti tabelle sono indicate le coordinate geografiche delle singole postazioni del parco eolico di progetto.

Comune di Cairo Montenotte		
ID	Latitudine	Longitudine
V-3B	44° 21' 39.59" N	8° 20' 12.83" E
V-4C	44° 21' 19.88" N	8° 19' 43.30" E
V-2B	44° 21' 20.53" N	8° 20' 1.80" E

Comune di Altare		
ID	Latitudine	Longitudine
V-6A	44° 20' 57.68" N	8° 19' 41.89" E
V-1D	44° 20' 59.35" N	8° 20' 29.38" E
V-7E	44° 20' 46.06" N	8° 20' 37.32" E

3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica

L'impianto eolico di progetto si localizza nell'ambito del paesaggio collinare relativo allo spartiacque tra i medi bacini dei F. Bormida di Spigno e di Millesimo, alcuni chilometri a SO di Cairo Montenotte e a pochi chilometri a N di Altare.

Il settore appartenente al dominio strutturale delle Alpi Liguri, si caratterizza per la presenza al di sopra del basamento metamorfico di una potente sequenza di depositi marini di età terziaria, riferibili al cosiddetto Bacino Terziario Piemontese (BTP), comprendenti litologie terrigene prevalentemente a granulometria fine. La struttura del rilievo è impostata nell'ambito di queste unità a composizione marnosa e marnoso-arenacea (spessore complessivo superiore ai 1.200 m) che, presenti con continuità lungo l'intero settore compreso tra i due rami del Bormida, costituiscono il substrato locale del sito e di un suo ampio areale circostante.

La sequenza marina è ricoperta direttamente da sedimenti incoerenti, originatisi in ambiente continentale, relativi alle coperture quaternarie. Si tratta per lo più di coltri detritico-colluviali presenti localmente lungo i versanti, e di depositi torrentizi connessi allo sviluppo del reticolo idrico locale. L'assetto morfo-topografico del sito e l'evoluzione morfo-climatica del bacino, a scala d'insieme improntata dal reticolo incentrato sul corso del Bormida di Spigno, ha comportato un limitato sviluppo delle coperture, sia in termini di continuità areale che di spessori, non superiori a pochi metri.

In relazione a questa configurazione i rilevamenti di superficie condotti, unitamente alle indagini geognostiche analizzate, consentono di ricostruire in modo puntuale e continuo le unità litologiche costituenti il substrato, insieme agli altri fattori condizionanti il comportamento geotecnico e idrogeologico del volume di sottosuolo significativo per l'intervento in progetto.

3.1 Inquadramento geologico regionale

Successivamente alla principale fase deformativa responsabile della strutturazione delle Alpi Liguri, a partire dall'Oligocene il Bacino Terziario Piemontese si individua al margine tra le catene alpina ed appenninica, costituendo un bacino satellite nell'ambito di un complesso sistema di "avanfossa – *thrust* – area di retroarco" (Gelati & Gnaccolini, 1987/88; Boccaletti *et alii*, 1990).

L'evoluzione a scala regionale di questo settore, improntato da una complessa struttura tettonica ("nodo ligure" secondo Laubscher *et alii*, 1992) appare controllata dalla traslazione verso NO della propaggine settentrionale della crosta adriatica nel corso dell'Oligocene – Miocene inferiore. A questo si associa l'apertura di un bacino marino con crosta di tipo oceanico, il Mar Ligure, il conseguente collasso dell'area ligure-provenzale e la rotazione del blocco sardo-corso verso Est (Gelati & Gnaccolini, 2003; Gelati *et alii*, 2010).

In relazione alle fasi di attività tettonica si individua, quindi, un settore in forte subsidenza, sede di un'intensa sedimentazione (Carrapa *et alii*, 2003) dapprima in corrispondenza di singoli bacini in ambiente continentale o marino-litorale, poi interessante con modalità evolutive unitarie più estesi bacini in ambiente francamente marino. La presenza di un ampio braccio di mare

allungato da Ovest verso Est nell'area in parte corrispondente alle attuali Langhe consente la deposizione di una potente successione terrigena dapprima grossolana, poi prevalentemente pelitico-arenacea, che prosegue per tutto il Miocene, sino a raggiungere spessori massimi nell'ordine dei 5000-6000 m. Nell'insieme l'assetto di questo cuneo clastico derivante principalmente dalla sedimentazione ad opera di correnti di torbida (Gelati & Gnaccolini, 1987/88; Giammarino, 1984) è riferibile ad un monoclinale con giacitura NE-SO ed immersione verso NO, generalmente con pendenze comprese tra 7 ÷ 15°.

Per l'area in esame riveste specifico interesse la porzione basale della sequenza, comprendente secondo lo schema stratigrafico classico (Gelati, 1968; Serv. Geol. d'It., 1969) le unità seguenti elencate a partire dal basso (ovvero dal termine più antico):

- ***Formazione di Murialdo***: metasedimenti fini, varicolori, che raggruppano rocce di diversa natura: quarzoscisti, scisti quarzo-micacei, scisti a cloritoide, scisti cloritico-albitici e filladi grafitiche nerastre; sono caratterizzati dalla presenza sia di ankerite e calcite, sia da abbondanti vene di quarzo. Lo spessore della formazione si aggira mediamente sui 150 metri. La paragenesi metamorfica alpina è data da anfobolo sodico, clorite, fengite e albite. Permiano Inf.

- ***Ortogneiss di Vetria***: ortogneiss granitoidi con associazione pre-alpina a K-feldspato, oligoclasio, quarzo, muscovite e biotite subordinata; paragenesi metamorfica alpina a clorite, fengite e granati. Ordoviciano Medio.

- ***Formazione di Molare***: conglomerati mal sezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri) in rozze bancate, a clasti poligenici a matrice arenacea grossolana. Alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici. I conglomerati rappresentano la litologia prevalente nella porzione inferiore dell'unità. Verso l'alto aumenta la componente arenacea sino a diventare esclusiva in prossimità del limite superiore. Spessore molto variabile (da pochi metri fino a 80-100 mt) in relazione alla paleotopografia del bacino. Spesso si rinviene a diretto contatto con il substrato pre-oligocenico con limite erosivo. Depositi di ambiente variabile tra il continentale al marino costiero con prevalenza di facies di conoide. Oligocene Inf. Oligocene Sup.?.

La sequenza marina terziaria ed i depositi continentali furono oggetto sin dalla fine dell'Ottocento di numerose ricerche (si veda, ad esempio, Sacco 1889-1890). Successivamente, ed in particolare dalla seconda metà dello scorso secolo, nuove indagini di carattere stratigrafico e sedimentologico hanno consentito una migliore caratterizzazione dei meccanismi di deposizione, della distribuzione e della collocazione cronologica dei singoli corpi sedimentari, ponendo le basi conoscitive per una ricostruzione rappresentativa dell'assetto del bacino (Fig. 3).

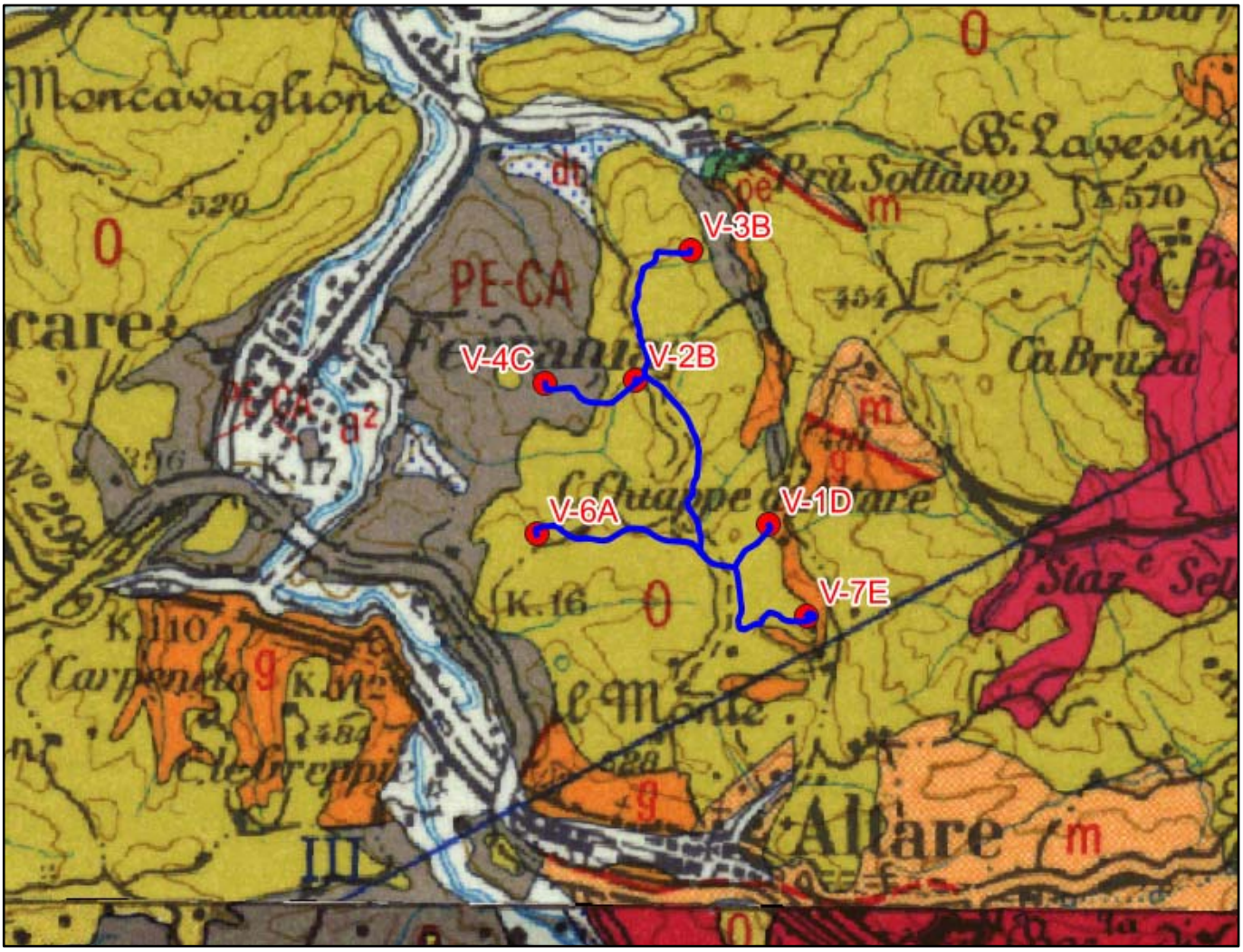
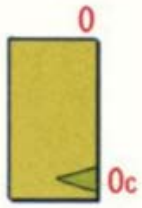


Fig. 3 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 Foglio 81 "Ceva" con ubicazione degli aerogeneratori e del percorso dell'elettrodotto

Legenda



FORMAZIONE DI MOLARE. Conglomerato poligenico solitamente con elementi di diametro massimo sui 10 cm associato ad arenarie grossolane grigiastre; livelli con elementi di diametro superiore al metro talora direttamente trasgressivi sul basamento precenozoico. Localmente si intercalano, soprattutto nella parte inferiore, calcari dolomitici di scogliera (0c). Nei litotipi arenaceo-conglomeratici frequenti Foraminiferi riferibili soprattutto ai generi: ***Nummulites, Eulepidina, Nephrolepidina, Operculina*** etc.; nei litotipi marnosi: ***Clavulinoides szaboi*** (HANTKEN), ***Uvigerina mexicana*** NUTTALL, ***Cibicides mexicanus*** NUTTALL ***(OLIGOCENE).***

= Aerogeneratori

= Cavidotto

= Limite comunale

3.2 Il Bacino Terziario Piemontese – nuove conoscenze apportate dal Progetto CARG

L'esecuzione dei rilievi della nuova cartografia geologica ufficiale ha portato progressi significativi nella ricostruzione e interpretazione delle sequenze litologico-stratigrafiche del BTP.

L'area in esame è compresa nei Fogli 208 "Cairo Montenotte" e 229 "Savona" della nuova Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 realizzato nell'ambito del progetto CARG (Legge n. 438 del 27/10/1995) tramite convenzione tra il Servizio Geologico Nazionale (ex APAT – Dipartimento Difesa del Suolo, ora ISPRA) e la Regione Piemonte (oggi ARPA Piemonte).

La nuova cartografia deriva dall'applicazione sistematica dei nuovi principi di rilevamento e nomenclatura delle unità stratigrafiche (Pasquarè *et alii*, 1992). Ai criteri litostratigrafici del rilevamento è stata sovraimposta una suddivisione in sequenze deposizionali, intese nell'accezione originariamente formulata da Mitchum *et alii* (1977), di unità stratigrafiche comprendenti una successione di strati geneticamente correlati, delimitata alla base ed al tetto da una discordanza, ovvero una discontinuità significativa nella sedimentazione. La datazione delle unità marine è stata basata sulla biostratigrafia dei microfossili.

L'applicazione di queste metodologie e l'esame critico dell'assetto dei vari termini litostratigrafici ha comportato una revisione sistematica della sequenza stratigrafica. Data la migliore rispondenza obiettiva del nuovo modello stratigrafico alla realtà fisica del territorio, anche per quanto riguarda gli aspetti applicativi, nel presente *Studio* si segue lo schema stratigrafico elaborato per il Foglio Dego, utilizzando anche per quanto possibile la stessa terminologia.

Dopo la fase deformativa responsabile nel corso dell'Eocene della strutturazione della catena alpina, si individuano una serie di bacini di sedimentazione in ambiente dapprima continentale, evolvente poi in marino. I bacini delle Langhe, al cui margine SE si localizza l'area di interesse, del Monregalese e dell'Alto Monferrato, in particolare, si sviluppano su un substrato di unità metamorfiche Brianzonesi e Liguro-Piemontesi appartenenti al settore assiale della catena alpina.

La sedimentazione iniziale è costituita da termini grossolani quali i conglomerati e le arenarie della Formazione di Molare, riferibili all'Oligocene inferiore. Già alla fine di questo periodo e per parte del Burdigaliano risultano prevalenti i depositi fini comprendenti peliti emipelagiche, alle quali si intercalano corpi arenacei (Formazione di Rocchetta – Monesiglio) connessi a correnti di torbida. Seguono nel corso del Burdigaliano superiore alternanze ritmiche di peliti ed arenarie connesse a correnti ad alta densità provenienti essenzialmente da Ovest (Formazione di Cortemilia). Il Langhiano ed il Serravalliano comprendono alternanze di arenarie e peliti nella zona centrale del settore (Formazione di Cassinasco) e da peliti al margine ovest (Formazione di Murazzano). Verso l'alto la successione prosegue con le peliti emipelagiche del Tortoniano (Marne

di S. Agata Fossili), evidenziando poi nel Messiniano una tendenza regressiva con depositi di ambiente euxinico ed evaporitico (Formazione Gessoso-solfifera).

A partire dall'Oligocene superiore il contesto evolutivo regionale, in conseguenza all'apertura del Bacino Ligure-Provenzale, viene influenzato dalla strutturazione con vergenza a Nord della Catena Appenninica. A Sud del "sistema Collina di Torino – Monferrato" si individua un bacino a

forte subsidenza, che ospita nell'Oligocene-Miocene la potente sequenza del BTP (spessore complessivo maggiore di 5.000 - 6.000 m). Sul margine meridionale il bacino risulta delimitato da un basamento composito di unità alpine ed appenniniche in sollevamento che ne improntano l'evoluzione.

A scala regionale il BTP si identifica così come un bacino di *piggy-back* (Dalla *et alii*, 1992) a sedimentazione prevalentemente terrigena, che tende a sovrascorrere sull'avanfossa appenninica (Pianura Padana) al di sopra del sovrascorrimento del Monferrato-Collina di Torino. Tale evoluzione risulta controllata dal sollevamento del basamento nei settori meridionali che comportano un progressivo spostamento verso Nord delle zone di principale accumulo sedimentario (Mosca, 2006). L'areale interessato dai successivi depositi marini del Pliocene (Formazione delle Argille azzurre) risulta infatti limitato al margine settentrionale delle Langhe.

A seguito dell'inversione tettonica subita dal margine prossimo alle Alpi Liguri, nel settore meridionale del BTP si verifica il basculamento delle successioni sedimentarie, con un sollevamento generalizzato e la progressiva asportazione ad opera dei processi erosivi di gran parte della serie oligo-miocenica. L'area completamente emersa è interessata nel corso del Quaternario dai processi di modellamento tipici dell'ambiente continentale.

Gabert (1962) e, successivamente, Biancotti (1981a; 1981b; 1981c) rilevano che l'area attualmente occupata dai rilievi collinari delle Langhe ospitava in origine un esteso *glacis* di età "villafranchiana" immergente verso NO, come indicato dalla disposizione delle dorsali spartiacque e della sommità dei crinali. Dal successivo smantellamento di questa originaria superficie di modellamento deriva il paesaggio collinare tipico delle Langhe.

Successivamente al Pleistocene inferiore (circa 700.000 anni fa), periodo in cui termina la genesi del *glacis* delle Langhe, l'area è interessata da più fasi erosive (Biancotti, 1981b; 1981c). Nel Pleistocene medio (700.000 ÷ 125.000 anni fa) il *glacis* é inciso da un reticolo idrografico defluente da SSE verso NNO, quindi, nel corso del Pleistocene superiore (125.000 ÷ 10.000 anni fa) il sollevamento differenziale dell'area determina l'inversione dei deflussi dei corsi d'acqua, che dalla pianura cuneese, a seguito dello sviluppo della subsidenza tettonica, si dirigono verso il bacino di Alessandria.

L'evoluzione morfologica recente dell'area è profondamente condizionata da una serie di importanti fenomeni di deviazione fluviale, derivanti dall'interazione tra la mobilità tettonica recente, la situazione morfologica al contorno e l'elevata erodibilità delle formazioni presenti. Le ricerche di vari Autori (Forno, 1982; Carraro *et alii,* 1980; Carraro *et alii* 1995) hanno consentito una ricostruzione sufficientemente dettagliata dell'evoluzione della rete idrografica del Piemonte centrale. Ancora nel corso del Pleistocene superiore, i collettori principali del bacino piemontese meridionale (paleo-Po, paleo-Tanaro) scorrevano a Sud della Collina di Torino, da Ovest verso Est. Il paleo-Po dopo aver costeggiato il margine meridionale della Collina e del Monferrato si immetteva nella pianura una decina di chilometri ad Est dell'attuale posizione di Valenza Po.

Il suo corso, verso la fine del Pleistocene sup. subisce una diversione nei pressi di Villastellone, che porta all'individuazione di un nuovo collettore, l'attuale Po, con decorso lungo il margine settentrionale della Collina di Torino.

Il F. Tanaro, principale affluente del paleo-Po (e sino ad allora con decorso da Bra verso Carmagnola) in un momento di poco successivo, collocabile indicativamente tra i 100.000 e i 50.000 anni fa, erodendo lateralmente verso Est intercettava poco a Sud dell'attuale abitato di Bra un'incisione minore appartenente al reticolato locale delle Langhe, tracimandovi. Riferendosi in particolare al Tanaro, il nuovo corso fluviale impostato su un nuovo livello di base posto ad una quota di circa 150 m inferiore alla precedente, comporta l'innesco di un processo di ringiovanimento morfologico generale del bacino tuttora in atto.

Secondo la stessa dinamica i corsi d'acqua affluenti, tra i quali il Belbo, la Bormida di Millesimo e la Bormida di Spigno, deviarono il loro percorso verso il nuovo livello di base, spostando i deflussi dalla piana cuneese alla piana alessandrina. La situazione è tuttora riscontrabile nel loro assetto attuale, dove è presente dapprima un tratto diretto verso NO a cui fa seguito, a valle di un gomito pronunciato, un ramo defluente a NE.

Il progressivo approfondimento del reticolo idrografico connesso all'ultima fase evolutiva comporta la formazione di una serie di superfici di modellamento fluviale impostate nelle litologie del substrato locale, poste a quote progressivamente decrescenti procedendo dalla più antica alla più recente. Nel bacino del F. Bormida i terrazzi fluviali più antichi, posti sino a 120-130 m al disopra della quota degli alvei attuali, sono riferibili al top deposizionale del Subsintema di Spigno Monferrato la cui formazione è attribuita dubitativamente alla fine del Pleistocene medio (Gelati *et alii*, 2010).

3.3 Assetto geologico locale dell'area di studio

L'acquisizione degli elementi conoscitivi di base necessari alla formulazione del Modello geologico propedeutico alla caratterizzazione geotecnica del volume di sottosuolo significativo ha comportato l'esecuzione di rilievi litologico-stratigrafici di dettaglio in corrispondenza delle aree di installazione degli aerogeneratori e di un areale circostante significativamente esteso.

La realizzazione di un elaborato geologico di inquadramento (TAV. 2 – *Carta geolitologica*), dotato comunque di un sufficiente dettaglio, ha comportato l'esecuzione di rilevamenti geologico-geomorfologici di terreno su un settore significativamente esteso delle aree esaminate, tale da consentire sia la verifica dell'area vasta, sia l'acquisizione del quadro geologico di base necessario alla caratterizzazione geologico-tecnica e alla modellizzazione idrogeologica.

Al fine di una rappresentazione d'insieme dell'intero areale, è stata utilizzata come base cartografica per la restituzione dei rilievi di terreno e degli elementi ottenuti con l'analisi aerofotogeologica delle riprese aeree, l'assemblaggio delle sezioni a scala 1:5.000 della Carta Tecnica Regionale (Fig. 4).

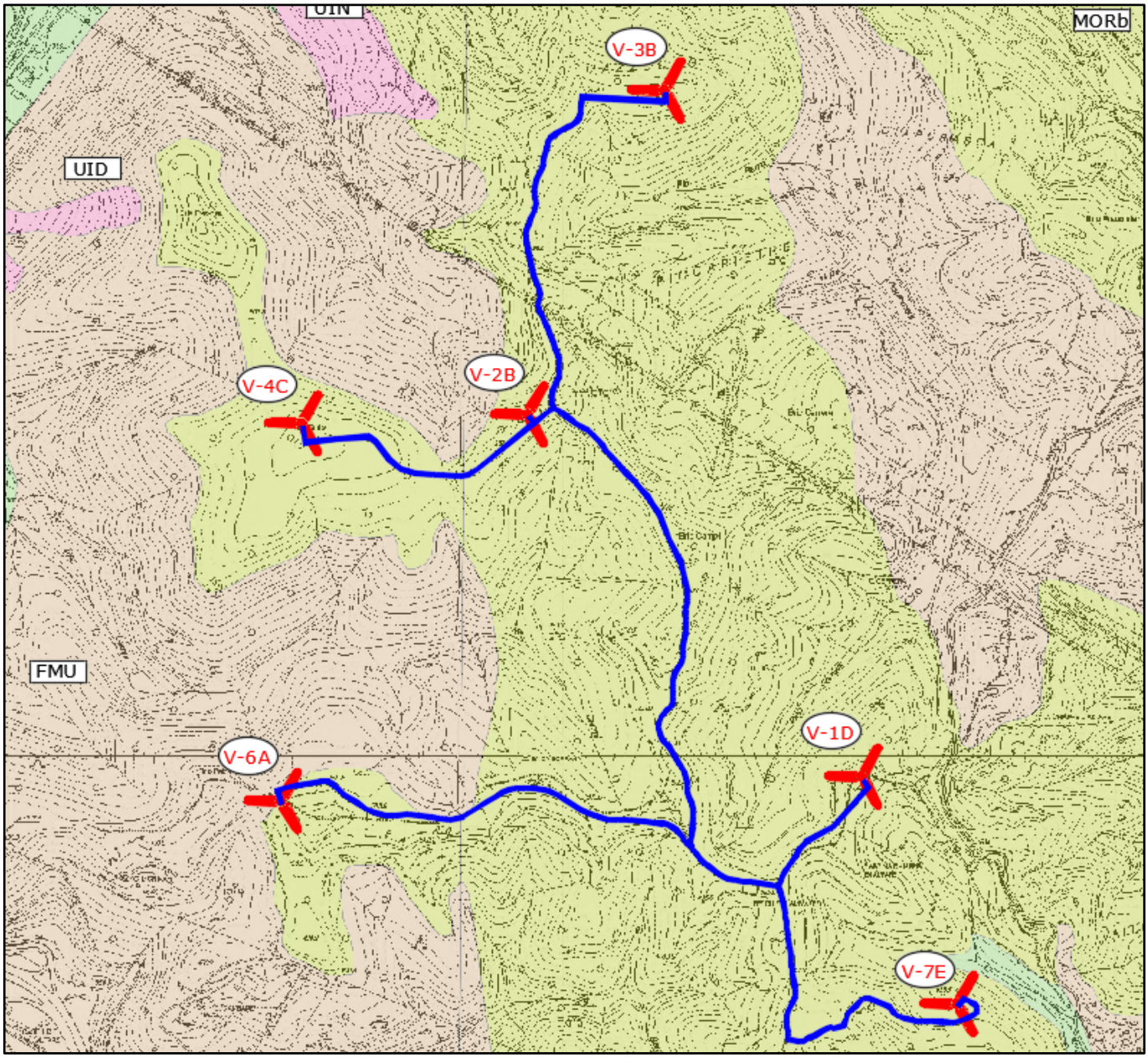


Fig. 4 - Stralcio della Carta geolitologica con ubicazione degli aerogeneratori e del percorso dell'elettrodotto

L'area di interesse posta in prossimità del dominio strutturale alpino si localizza al margine SE del (BTP). Coerentemente all'evoluzione tardo-miocenica e quaternaria del settore, il substrato locale risulta interamente costituito dalla porzione basale della successione del BTP e, nello specifico, dalla ***Formazione di Molare***, costituita da conglomerati mal sezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri) in rozze bancate, a clasti poligenici a matrice arenacea grossolana. Alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici.

I conglomerati rappresentano la litologia prevalente nella porzione inferiore dell'unità. Verso l'alto aumenta la componente arenacea sino a diventare esclusiva in prossimità del limite superiore. Spessore molto variabile (da pochi metri fino a 80-100 mt) in relazione alla paleotopografia del bacino. Spesso si rinviene a diretto contatto con il substrato pre-oligocenico con limite erosivo (Foto 1).

Le coperture quaternarie costituiscono areali discontinui localizzati in corrispondenza delle incisioni relative alle aste del reticolo secondario e lungo alcuni tratti dei versanti. I sedimenti rilevati sono riferibili a fenomeni effimeri di scorrimento incanalato delle acque di superficie lungo il reticolo locale (depositi torrentizi e di conoide detritico-alluvionale) e alla sedimentazione ad opera della gravità e delle acque di ruscellamento (depositi detritico-colluviali e di frana).

Gli affioramenti delle coperture sono sempre limitati e gli spessori non superano generalmente i 4 – 5 m (Foto 2).



Foto 1 – Affioramento della Formazione di Molare presso la cresta Bric Campi



Foto 2 – Terreni di copertura dell'area di studio

3.4 Geomorfologia e stabilità generale dell'area di studio

Il settore ove saranno realizzati gli aerogeneratori si sviluppa sulla zona di crinale di una dorsale costituente lo spartiacque tra i bacini delle valli del Torrente Bormida di Mallare, di pertinenza idraulica piemontese, e del Torrente Letimbro, di pertinenza ligure.

Nel tronco in esame, il crinale si sviluppa a quote comprese tra 450 e 540 m s.l.m. ed è caratterizzato da un profilo ondulato piuttosto articolato, per la fitta alternanza di piccole valli, dorsi collinari e fasce di raccordo, relative ad un reticolato idrografico di tipo giovanile, ancora in rapida evoluzione.

Il crinale di separazione tra i bacini a vergenza piemontese e ligure è nella zona in oggetto posto a cavallo della stessa S.P. n.12 Savona-Altare, e presenta generalmente un profilo trasversale ampio ed arrotondato e si raccorda ai versanti con cambi di pendenza poco marcati verso Nord-Ovest e più accentuati verso Sud-Est.

I fianchi della dorsale collinare di interesse, quella del Bric Baiza e Bric Surite, sono caratterizzati da uno sviluppo altimetrico di 500 m circa e, nelle parti media ed inferiore, presentano una configurazione articolata, in grande, in un'alternanza di dorsali e valloni secondari. Questa morfologia risulta meno marcata in prossimità del crinale, ove il reticolo idrografico non è ancora sviluppato.

Le aree di sedime che saranno coinvolte direttamente dagli aerogeneratori dell'impianto eolico di progetto, così come l'elettrodotto interrato, non presentano aree interessate da fenomeni franosi in atto (Fig. 5).

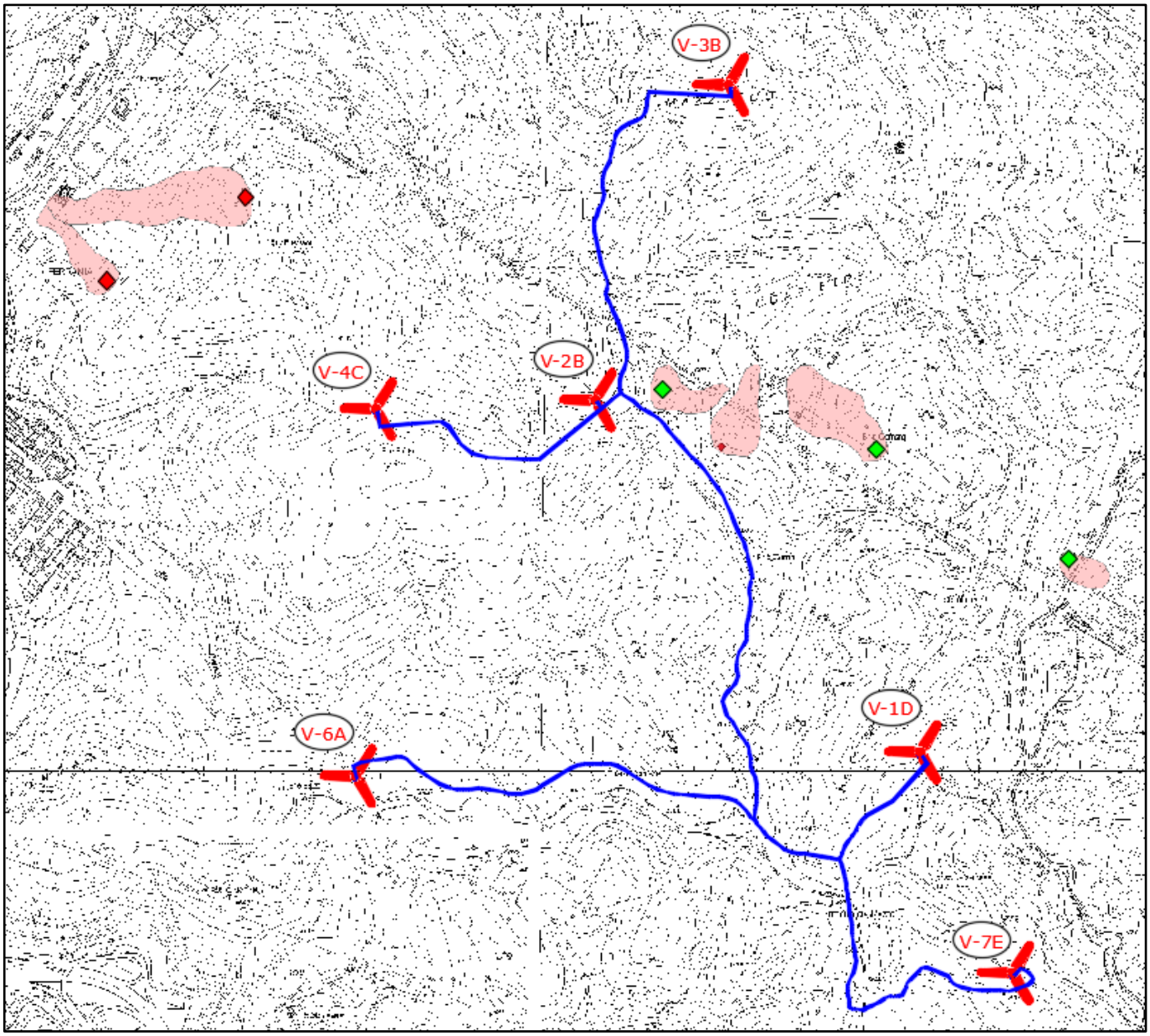


Fig. 5 - Stralcio della Carta inventario dei fenomeni franosi con ubicazione degli aerogeneratori e del percorso dell'elettrodotto interrato

Legenda



Aerogeneratore

Elettrodotto

Perimetrazione frana

3.5 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame

Il F. Bormida, affluente in destra del F. Tanaro, nasce sullo spartiacque ligure – padano, nel territorio della provincia di Savona. Il tratto medio-superiore del corso d'acqua è organizzato su tre sottobacini imbriferi adiacenti relativi a tre aste fluviali con denominazione omonima. Procedendo da Sud–Est verso Nord–Ovest, si incontra il Bormida di Mallare, il Bormida di Spigno e, infine, il Bormida di Millesimo. La zona in esame interessa un tratto del rilievo collinare compreso nel bacino in destra della valle Bormida di Spigno, dove il drenaggio superficiale è impostato in una serie di impluvi scolanti bacini con superficie di pochi chilometri quadrati.

La configurazione morfologica individua un settore ad anfiteatro delimitato, sul lato occidentale, dalla dorsale spartiacque con il Bormida di Millesimo, a N e a S dai rilievi minori degradanti verso la valle del Bormida di Spigno e a E, infine, da quest'ultimo corso d'acqua. In questo ambito il reticolo idrografico, in relazione all'assetto morfo-topografico e ai caratteri meteo-climatici, presenta uno sviluppo limitato con assenza di corsi d'acqua di rilievo.

L'impianto eolico dio progetto si localizza nel sottobacino del Fiume Bormida di Spigno. Esso nasce dall'unione dei rami provenienti da Pallare e Mallare nei pressi di San Giuseppe di Cairo, nel Comune di Cairo M.tte ed ha un bacino complessivo, per la parte ligure, di circa 275 Kmq.

Il Bormida di Pallare nasce sullo Scoglio dei Ladri, sulle alture di Bormida, ad una quota attorno ai 750 m s.l.m.; lungo il suo corso verso valle il primo centro abitato che incontra è Bormida.

Continuando verso valle, il corso d'acqua è caratterizzato da un alveo incassato e, in alcuni tratti, tortuoso; giunto nell'abitato di Pian Sottano l'alveo si allarga per poi restringersi di nuovo nei pressi del ponte sulla S.P. 38 in località Case Romane (Bormida) e quindi proseguire incassato per ca. 1 km. Di seguito il corso del Bormida è costeggiato da numerose piane alluvionali, la più estesa delle quali è quella in prossimità dello sbocco del torrente Viazza (affluente di sinistra) nell'abitato di Pallare.

A valle dell'immissione del torrente Viazza, il Bormida scorre, per circa 5 km, in un'area praticamente disabitata, fino all'immissione del rio Plodio nei pressi della quale inizia l'abitato di Carcare, il cui centro cittadino viene attraversato interamente dal Bormida: molti edifici ed un ponte pedonale sono costruiti a quote che li rendono vulnerabili nel caso defluisca una portata di piena significativa. A valle della confluenza il Bormida attraversa la zona industriale di Carcare e San Giuseppe di Cairo per poi immettersi nel Bormida di Spigno.

Il Bormida di Mallare nasce alle pendici del Bric della Binella, sulle alture di Mallare, ad una quota di circa 750 m s.l.m.; nella parte alta segue un percorso piuttosto tortuoso che lo porta a lambire il centro cittadino di Mallare nel tratto immediatamente a valle del ponte sulla S.P. 38. Da qui il Bormida prosegue il suo corso, costeggiando una vasta piana posta al di sotto della località Olano (Mallare) secondo un percorso caratterizzato da alcuni meandri, fino alla località Isolagrande, cioè l'area industriale di Altare. il Bormida poi piega decisamente verso destra per dirigersi verso Ferrania (Cairo Montenotte) dove prima costeggia lo stabilimento "Ferrania" e poi, in prossimità della stazione ferroviaria, riceve le acque del rio Cappelletta.

Nel tratto subito a valle, il corso d'acqua incontra il ponte presso il quale si trova la stazione idrometrografica di Ferrania, costeggia una zona pianeggiante in località San Pietro e subito dopo un ponte ferroviario si ha l'immissione del rio Ferranietta. Il Bormida di Mallare corre quindi verso valle costeggiando, in un breve tratto, l'abitato di Bragno, che si trova però a quote superiori, per poi confluire nel Bormida di Spigno.

Il Bormida di Spigno nasce dall'unione dei rami provenienti da Pallare e Mallare E il suo corso prosegue secondo un percorso praticamente rettilineo fino ad una pronunciata curva verso sinistra, poco a monte del ponte lungo la S.P. 29, da cui inizia il tratto che attraversa il centro abitato di Cairo Montenotte. In tale tratto si ha l'immissione di numerosi corsi d'acqua tra i quali il rio Loppa, il rio Ferrere ed il rio Carretto. Proseguendo verso valle, dopo circa 3 km, il Bormida lambisce l'abitato di Rocchetta di Cairo, e costeggia un'ampia area di espansione, in caso di piena, chiamata Piana degli Alemanni; circa 800 m dopo inizia l'abitato di Dego in corrispondenza del quale si ha lo sbocco, da destra, del rio Pollovero. Il rio Pollovero presenta un andamento piuttosto tortuoso e lungo il suo percorso verso valle non attraversa nessun nucleo abitato significativo.

Il Bormida prosegue verso valle costeggiando un'ampia piana in località Piano (Dego), percorrendo un ampio meandro fino alla traversa in località Case Tione (Piana Crixia. A valle, dopo aver percorso un altro ampio meandro, il corso d'acqua attraversa Piana Crixia, riceve le acque del rio Madonna, e quindi entra in provincia di Alessandria.

A scala areale, l'analisi geomorfologica di terreno e l'esame delle riprese aerofotografiche, ha riscontrato che le principali aste del Fiume Bormida di Spigno, come pure tutte le incisioni presenti nei settori adiacenti, siano state interessate nel recente passato geologico da una significativa tendenza all'incisione, in conseguenza dell'abbassamento del livello di base del corso d'acqua ricettore (F. Bormida e, a scala più ampia intero Bacino del Tanaro). Il modellamento delle rocce del substrato, caratterizzate da buone caratteristiche geotecniche, ha comportato quindi per l'intero reticolo minore in ambito collinare un assetto caratterizzato da alvei incassati e tendenza all'approfondimento, mentre non sono presenti significativi accumuli di sedimenti.

Nei tratti di fondovalle, la presenza di una sia pur ridotto spessore di depositi evidenzia, invece, che la porzione inferiore dei piccoli bacini ha raggiunto già una fase di equilibrio morfodinamico. Le incisioni non tendono più ad approfondirsi in modo rilevante e gli alvei assumono anche andamenti tendenti al meandriforme. La configurazione complessiva delineata fornisce precise indicazioni sullo stato evolutivo attuale del reticolo idrico locale:

- ✓ nei settori a maggiore acclività, la presenza di alvei incisi e solchi di erosione anche ben pronunciati sottolineano le buone caratteristiche dell'ammasso roccioso costituenti il substrato di tutto il bacino. In presenza di rocce con caratteristiche scadenti tali forme non si potrebbero conservare per il periodo di tempo necessario alla loro individuazione e sviluppo (per lo meno centinaia – migliaia di anni);
- ✓ la parte medio alta del bacino non è sede, oramai da tempo, di significativi processi di trasporto e deposito comprese le colate detritiche. Questo aspetto desumibile dall'assetto generale del reticolo secondario in un ampio settore circostante è stato verificato direttamente nell'intorno

dell'area di interesse attraverso la posizione "fossilizzata" dei depositi di conoide, che costituiscono lembi residui in parte rimodellati, e dall'assenza sia in superficie che nel sottosuolo di depositi torrentizi al di fuori dell'incisione vera e propria delle incisioni;

- ✓ la fase parossistica di sviluppo dei processi erosivi e la conseguente tendenza generale all'approfondimento del reticolo è terminata, o comunque si è fortemente ridotta, dato che un'ampia porzione dei fondivalle delle aste principali risulta oramai in equilibrio con il livello di base rappresentato dal corso del F. Bormida.

Nell'area d'intervento, che si sviluppa lungo un crinale, e nel suo intorno significativo è presente un reticolo idrografico di tipo giovanile, caratterizzato da una notevole gerarchizzazione pur all'interno di un areale limitato.

Il drenaggio delle acque è riconducibile essenzialmente alle precipitazioni zenitali ed avviene di norma per infiltrazione nel sottosuolo o per ruscellamento superficiale diffuso e/o concentrato.

Il reticolo idrografico è rappresentato da numerose piccole incisioni contraddistinte da profilo di fondo generalmente ripido e percorse da deflussi a carattere non perenne. Si tratta di corsi d'acqua caratterizzati da regimi dei deflussi tipicamente torrentizi con riattivazioni improvvise, talora accompagnate da violenta attività erosiva, a causa delle pendenze mediamente elevate dei pendii e delle dimensioni relativamente piccole dei bacini imbriferi.

L'impianto eolico di progetto non interferisce con il reticolo idrografico locale. Per la sua collocazione sulle creste dei rilievi collinari principali, la superficie delle aree imbrifere scolanti da monte risulta molto limitata. La regimazione delle acque di ruscellamento superficiale, per gli scopi progettuali, comporta solo modesti interventi a carattere puntuale di raccolta e convogliamento delle acque di superficie.

Nel settore d'intervento, che si sviluppa in corrispondenza di dorsali collinari, l'assetto morfologico risulta complessivamente poco favorevole all'esistenza di un'importante circolazione idrica sotterranea. In considerazione dello spessore ridotto o molto ridotto della coltre di terreni di copertura, le eventuali acque di percolazione presenti in questo settore circolerebbero superiormente al contatto tra substrato roccioso e copertura e, più limitatamente, nell'ammasso roccioso la cui permeabilità, mediamente bassa, varia in funzione del grado di fratturazione.

Nel corso dei rilevamenti di campagna eseguiti, non è stata rilevata la presenza di sorgenti sui pendii in un intorno significativo delle aree d'intervento.

In base a quanto riportato negli elaborati relativi alle indagini geologiche degli strumenti urbanistici sia del Comune di Cairo Montenotte sia del Comune di Altare, non è altresì segnalata la presenza di sorgenti o di emergenze idrica captate o non captate.

Tenuto conto dell'assetto morfologico e della profondità ridotta degli scavi previsti in progetto, è presumibile che gli interventi in progetto comportino interferenze limitate o assenti con il circuito idrico e/o la zona di alimentazione e ricarica.

4. Pericolosità geologica dell'area di studio

4.1 Normativa di riferimento

Il bacino idrografico di pertinenza è rappresentato dal F. Bormida di Spigno afferente al bacino del Fiume Po (Fig. 6).

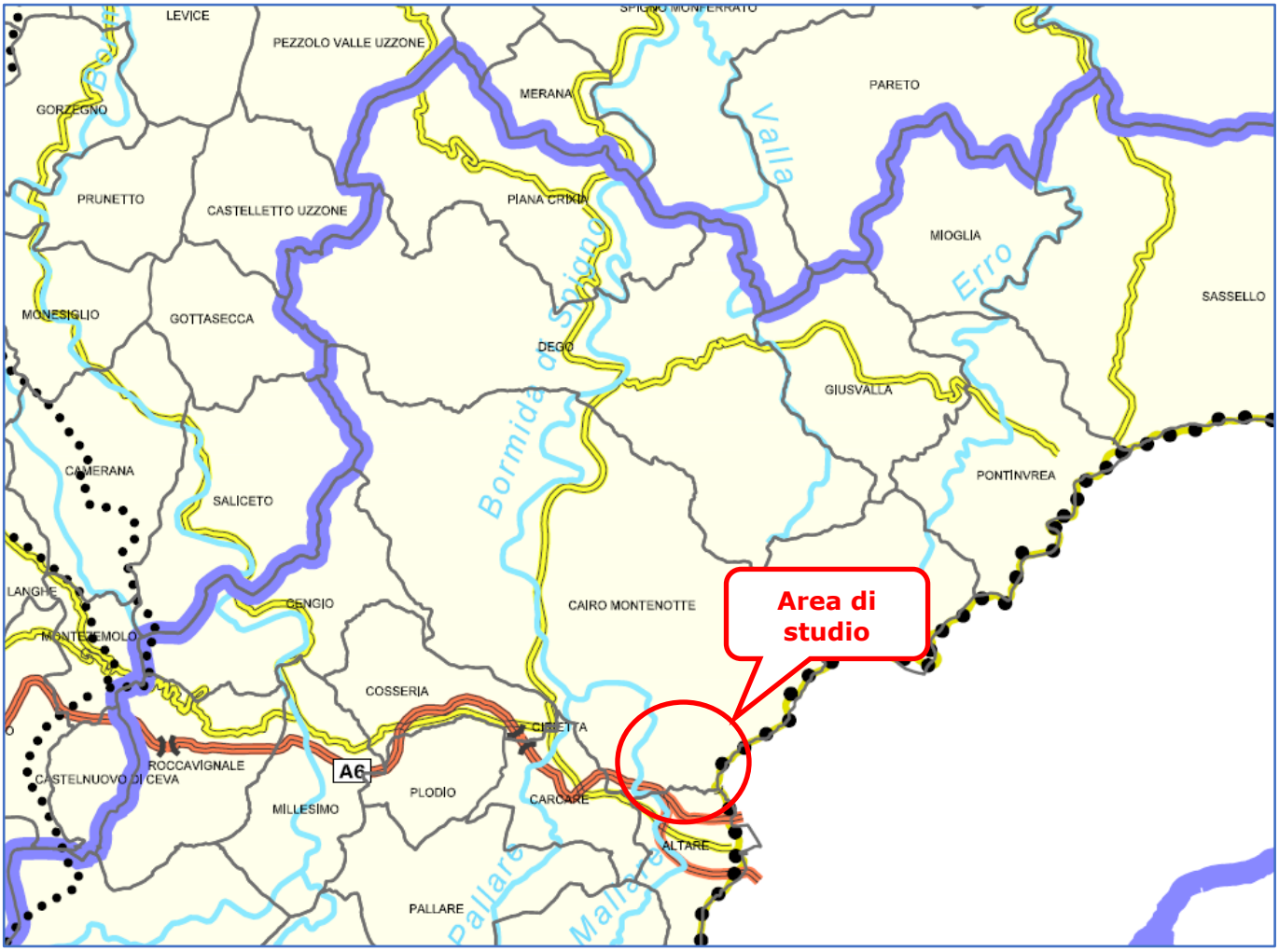


Fig. 6 – PAI del Fiume Po: stralcio della carta dell'ambito di applicazione del Piano

Legenda

- Limite regionale
- Limite dei comuni interessati
- Idrografia principale
- Limite del bacino del fiume Po
- Limite dei bacini idrografici principali
- Strade
- Autostrade
- Ambito di applicazione del Piano

Con riferimento al *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Interventi sulla rete idrografica e sui versanti,* redatto dall'Autorità di bacino del Fiume Po ai sensi della Legge n. 183/1989 ed emesso con Delibera del Comitato Istituzionale n. 1/1999 e s.m.i. integrazioni (vedi anche Regione Liguria, G.R. n. 802 del 05 agosto 2020 - L.R. 41/2014, art.33, c.6. Adozione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità geomorfologica da frana), è stata verificata la classificazione dell'area nei confronti delle condizioni di rischio idrogeologico.

I territori di Cairo Montenotte e di Altare, considerati nel loro insieme, sono inseriti tra i Comuni in classe 2 in termini di rischio idrogeologico totale, con tipologia principale di dissesto riferibile a fenomeni gravitativi (Progetto di Piano Stralcio PAI, Elenco dei comuni per classi di rischio).

L'esame del PAI – Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici a scala 1:25.000, e della recente *Carta della pericolosità geomorfologica da frana* allegata alla DGR 802/2020 della Regione Liguria, consente, tuttavia, di verificare che il settore di territorio in esame non risulta interessato da fenomeni di dissesto, in atto o potenziali, di natura gravitativa o riferibili alla dinamica del reticolo idrografico.

In particolare, l'area non ricade nelle aree classificate dal Piano per l'Assetto Idrogeologico come:

- *aree in frana attiva o quiescente (sia perimetrata, che non perimetrata);*
- *esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio;*
- *trasporto in massa sui conoidi;*
- *valanghe;*
- *a rischio idrogeologico molto elevato.*

Con riferimento al *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), è* stata verificata anche la delimitazione delle Fasce Fluviali. Nell'ambito nel sottobacino di competenza dell'area di studio, le Fasce Fluviali non sono state definite.

Pertanto l'area di progetto non risulta interessata da alcuna Fascia Fluviale (Fig. 7).

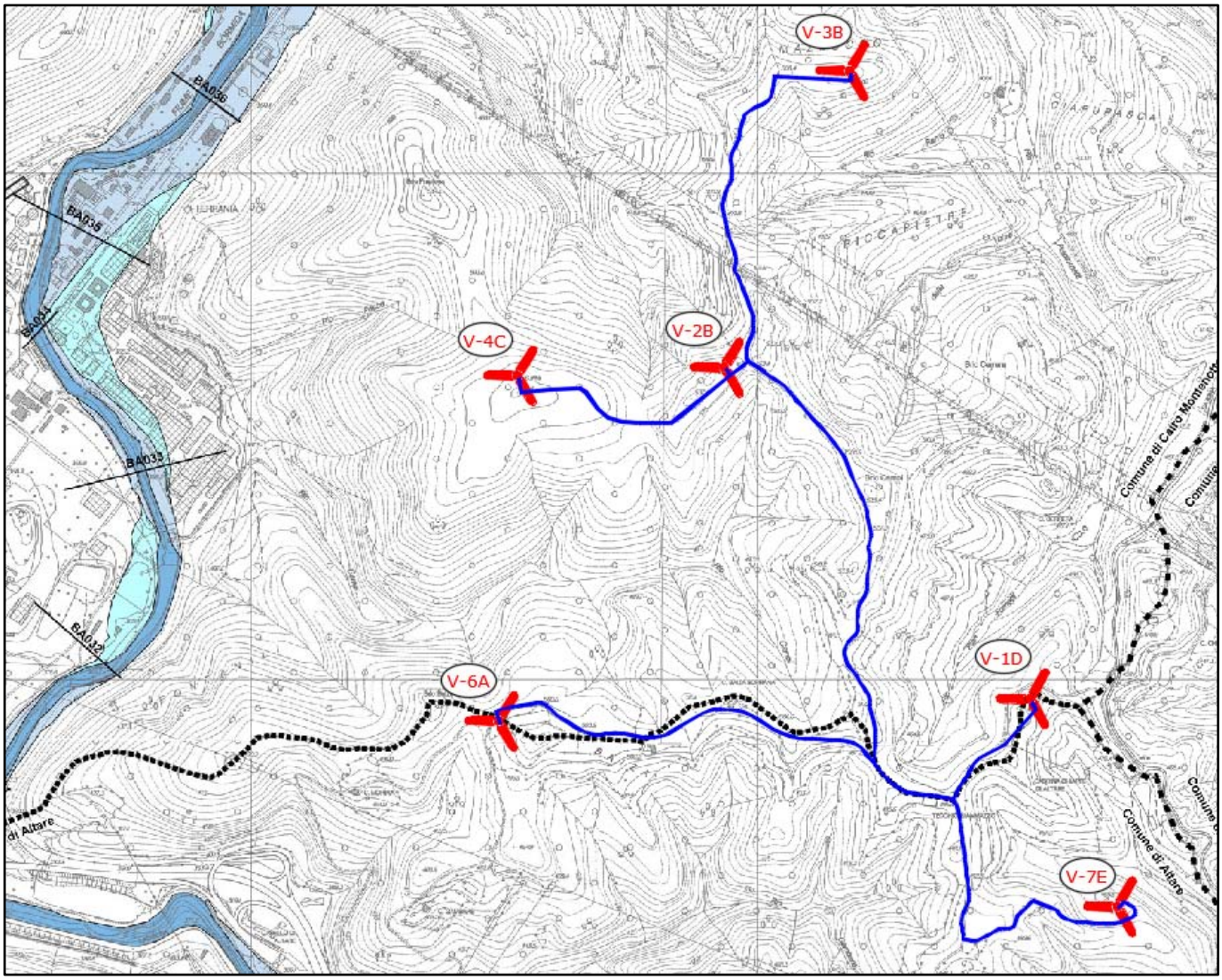


Fig. 7 – PAI del Fiume Po: stralcio della carta dell'ambito di applicazione del Piano

Legenda

- Pi 3 - AREE A PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA
- Pi 2 - AREE A PERICOLOSITA' ELEVATA
- Pi 1 - AREE A PERICOLOSITA' MEDIA
- Pi 3* - AREE INTERESSATE DALL'ALLUVIONE 2016
- Pi 3* - AREE 'EE' PAI E 'STORICAMENTE INONDATE' NON INDAGATE
- ER01 — Traccia delle sezioni idrauliche (tratti indagati)
- LIMITI COMUNALI

V– Aerogeneratore

Elettrodotto

5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica

5.1 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito

Dal punto di vista strettamente operativo questo studio nell'assegnare un peso alla componente geologica e geotecnica nella valutazione della fattibilità di opere ed interventi sul territorio trae i suoi fondamenti dai seguenti dispositivi di legge regionale e nazionali:

Riferimenti normativi della Regione Liguria

- Regione Liguria, Deliberazione 19 novembre 2010, n. 1362, "*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".*
- Regione Liguria, G.R. n. 216 del 17 marzo 2017 – O.P.C.M. 3519/2006, *Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*.

Riferimenti normativi nazionali

- Decreto Ministero LL.PP. 11 marzo 1988, "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce*, *la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*" con relativa Circolare n. 30483 del 24 settembre 1988, per quanto non sostituito dal D.M. 14/01/2008.
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - DM 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», con la relativa Circolare 21/02/2019 n. 7, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018".

Per la ricostruzione del modello geologico e geotecnico dell'area di studio, dunque, sono stati presi in considerazione i risultati di precedenti campagne di indagini geognostiche realizzate in aree limitrofe a quella in esame e su terreni appartenenti alle medesime formazioni geologiche.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo, invece, sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*). Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico e sismico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.

6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni

6.1 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Nel presente capitolo vengono esposti i dati litotecnici e geotecnici dei terreni che costituiscono il sottosuolo indagato ricavati dall'elaborazione delle indagini in sito, dalla bibliografia e da esperienze compiute su questi materiali. I dati scaturiti dal rilevamento geologico di campagna e dall'insieme delle indagini disponibili per l'area di studio, previo opportune elaborazioni ed interpretazioni, hanno consentito di conoscere il modello geologico del sito in esame e di caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico e dinamico i terreni della porzione di sottosuolo di interesse geotecnico come di seguito riportato.

Come già esposto nei paragrafi precedenti, il substrato dei siti esaminati geologicamente è riconducibile alla ***Formazione di Molare***, affiorante in più punti, costituita da conglomerati mal sezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri) in rozze bancate, a clasti poligenici a matrice arenacea grossolana nella parte bassa della successione, passante verso l'alto ad alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici.

Dall'analisi di tutti i dati a disposizione si può affermare che gli orizzonti litologici interessanti le opere di fondazione degli aerogeneratori di progetto, se si esclude un primo strato costituito da terreno di copertura detritico-colluviali, sono caratterizzati da terreni il cui comportamento geotecnico è prevalentemente litoide con buone caratteristiche geotecniche.

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni riscontrati nei siti esaminati, sono state definite dall'analisi ed interpretazioni delle indagini disponibili per l'area di studio e dalla consultazione della letteratura scientifica.

Per il livello attuale di progettazione sono state ritenute sufficienti le indagini speditive eseguite nei siti esaminati e l'analisi delle indagini eseguite in aree limitrofe a quelle di specifico interesse e sugli stessi terreni, rimandando l'effettuazione di un piano di ulteriori indagini in sito (sondaggi a carotaggio) e di laboratorio (analisi granulometriche, prove di taglio etc.) per una più precisa quantificazione dei parametri fisico-meccanici, alla successiva fase di progetto esecutivo.

La caratterizzazione fisico-meccanica media dei terreni nell'ambito del volume significativo, dove per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata (direttamente o indirettamente) dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, è di seguito riportata.

Terreni detritico-eluviali

I terreni detritico-eluviali di copertura sono costituiti da abbondante scheletro, formato da ghiaia e pietrisco con subordinati clasti a spigoli vivi di maggiori dimensioni, in matrice limoso-sabbiosa. Data l'abbondanza di frazione grossolana, questi materiali possono essere considerati terreni granulari, il cui comportamento meccanico è controllato principalmente dall'angolo di attrito interno, che aumenta con il grado di addensamento.

Per la presente fase progettuale la caratterizzazione geotecnica è stata effettuata prevalentemente mediante l'utilizzo delle correlazioni disponibili con il valore di NSPT ricavato mediante le prove SCPT o, per via indiretta, facendo riferimento a quanto riportato nella letteratura scientifica.

Ai terreni di copertura, quindi, possono essere associati i parametri fisico-meccanici

- Numero dei colpi N_{SPT} = 4
- Peso unità di volume = 1,60÷1,70 t/mc
- Angolo di attrito = 25°
- Coesione = 0,00 Kg/cmq
- Modulo elastico = 100 Kg/cmq

Terreni di alterazione del substrato

Su alcuni affioramenti sono stati effettuati alcuni rilievi con il Pocket Penetrometer per determinare speditivamente una sua caratterizzazione geotecnica "di massa": si sono rilevati valori di Resistenza a compressione semplice U.C.S. mediamente compresi tra 0.5 e 1.0 MPa, caratteristici di un terreno di media compattezza.

I parametri geotecnici che caratterizzano questo orizzonte sono di seguito riportati:

- Numero dei colpi N_{SPT} = 11
- Peso unità di volume = 1,80÷1,90 t/mc
- Angolo di attrito = 28°÷30°
- Coesione = 0,05÷1,00 Kg/cmq
- Modulo elastico = 200 Kg/cmq

Substrato roccioso

Il basamento litoide, costituito dal litotipo sedimentario di tipo conglomeratico relativo alla Formazione di Molare, è caratterizzato da requisiti geomeccanici variabili in funzione del grado di fatturazione e di alterazione. La tipologia rocciosa presente in zona, al di sotto della porzione superficiale formata da materiale più fratturato, si presenta probabilmente più compatta e con caratteristiche geomeccaniche assimilabili a quelle delle rocce lapidee, contraddistinte da elevati valori della coesione. È importante rimarcare come tale litotipo sia geneticamente caratterizzato da significative eteropie (variazioni laterali), dovute all'ambiente di sedimentazione di alta energia, ed evidenzia quindi un comportamento meccanico anisotropo, con valori di resistenza al taglio meno elevati nel caso di sforzi paralleli alle superfici di sedimentazione.

Le rocce conglomeratiche appartenenti alla ***Formazione di Molare***, più spesso alterate ed intrinsecamente meno compatte a causa dell'assenza di metamorfizzazione, possono ragionevolmente essere collocate nella ***Classe IV*** della *classificazione di Bieniawski* (1989), che fornisce una valutazione quantitativa dell'influenza che i vari fattori fisici, meccanici e geologico-strutturali esercitano sulla qualità della roccia.

Agli ammassi rocciosi ricadenti in questa classe sono attribuiti i seguenti valori indicativi dei parametri geomeccanici fondamentali:

- Peso unità di volume = 2,40÷2,50 t/mc
- Angolo di attrito = 35°÷40°

7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche

7.1 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Nei siti esaminati sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche superficiali del tipo ***M.A.S.W.*** (*Multichannel Analysis of Surface Waves* ovvero *Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti nell'area di studio e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17.01.2018).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W. eseguite nell'area esaminata.

Stendimento	Direzione	Latitudine	Longitudine
Mw 1	E-O	44°20'57.56'' N	8°19'44.59'' E
Mw 2	NE-SO	44°20'57.44'' N	8°20'29.03'' E
Mw 3	NO-SE	44°20'46.05'' N	8°20'30.89'' E
Mw 4	NE-SO	44°21'19.01'' N	8°19'59.58'' E
Mw 5	NE-SO	44°21'37.49'' N	8°20'4.46'' E

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 8) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_S$.

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92V_S$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Fig. 8 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_S tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde *P* (7%) ed *S* (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da $\sqrt{r}$ e non da *r* come per le onde di volume. In aggiunta, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_P e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_S, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione sismica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17.01.2018).

Infatti, mentre la velocità delle onde *P* misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde *S* è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde *P*, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_S, è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 9).

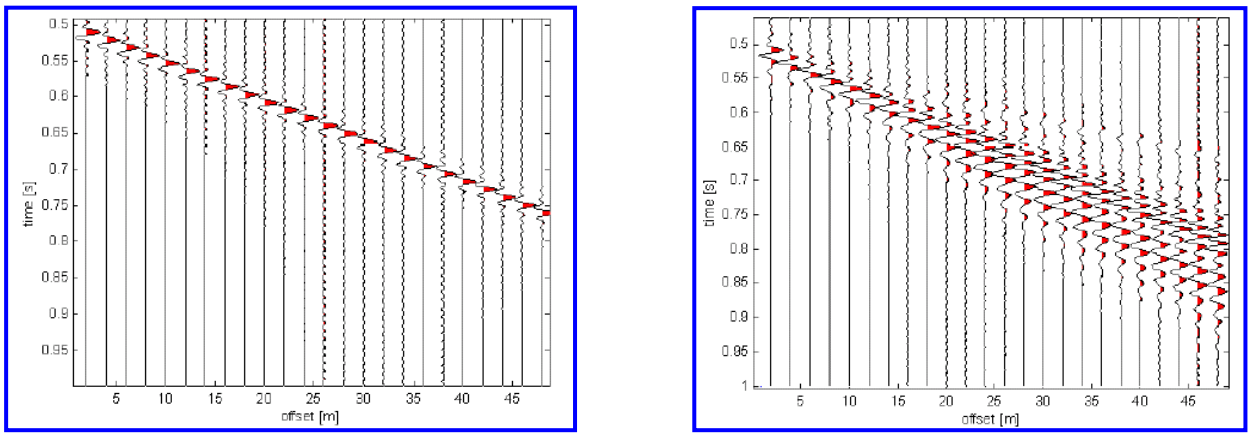


Fig. 9 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 10).

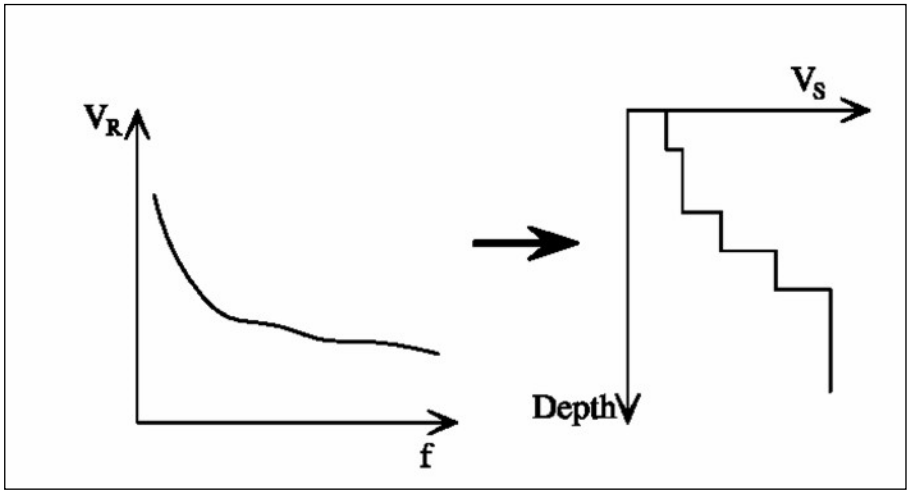


Fig. 10 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

Il metodo MASW (basato sull'analisi della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh) consente una dettagliata ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde *S* nel sottosuolo.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_S.

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede i seguenti passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni.
2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione).
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere un profilo verticale delle V_S nel punto medio di ogni stendimento geofonico).

Lo schema dello stendimento sismico è riprodotto nella seguente figura (Fig. 11).

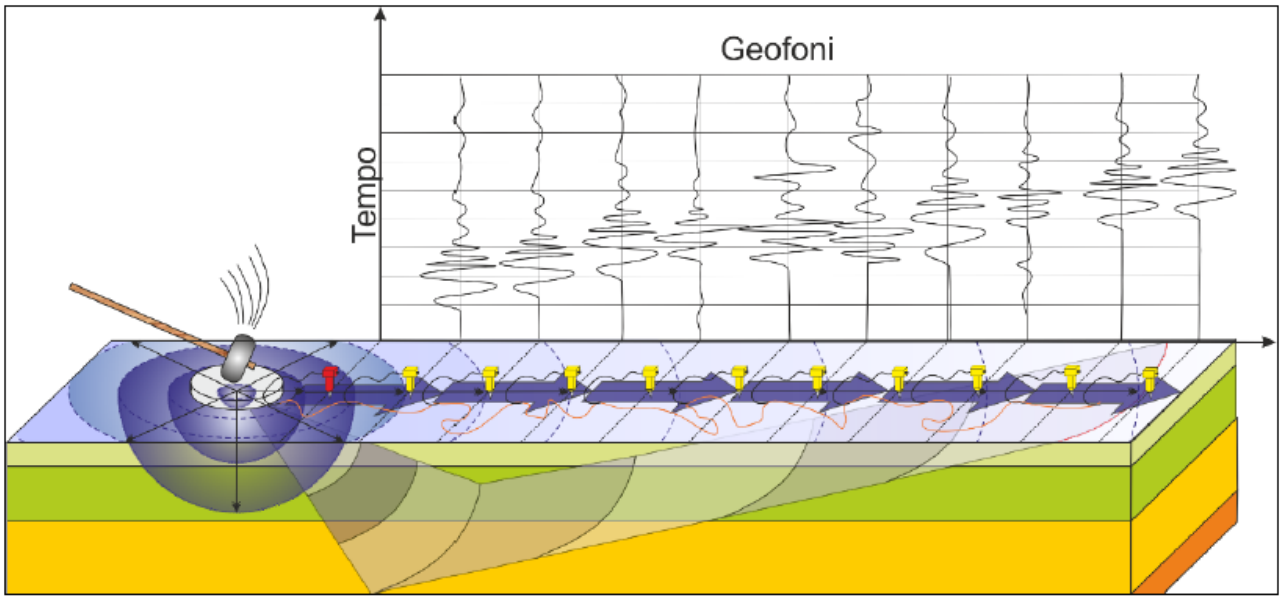


Fig. 11 – Schema dello stendimento sismico

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume (*P* ed *S*), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana. Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 12).

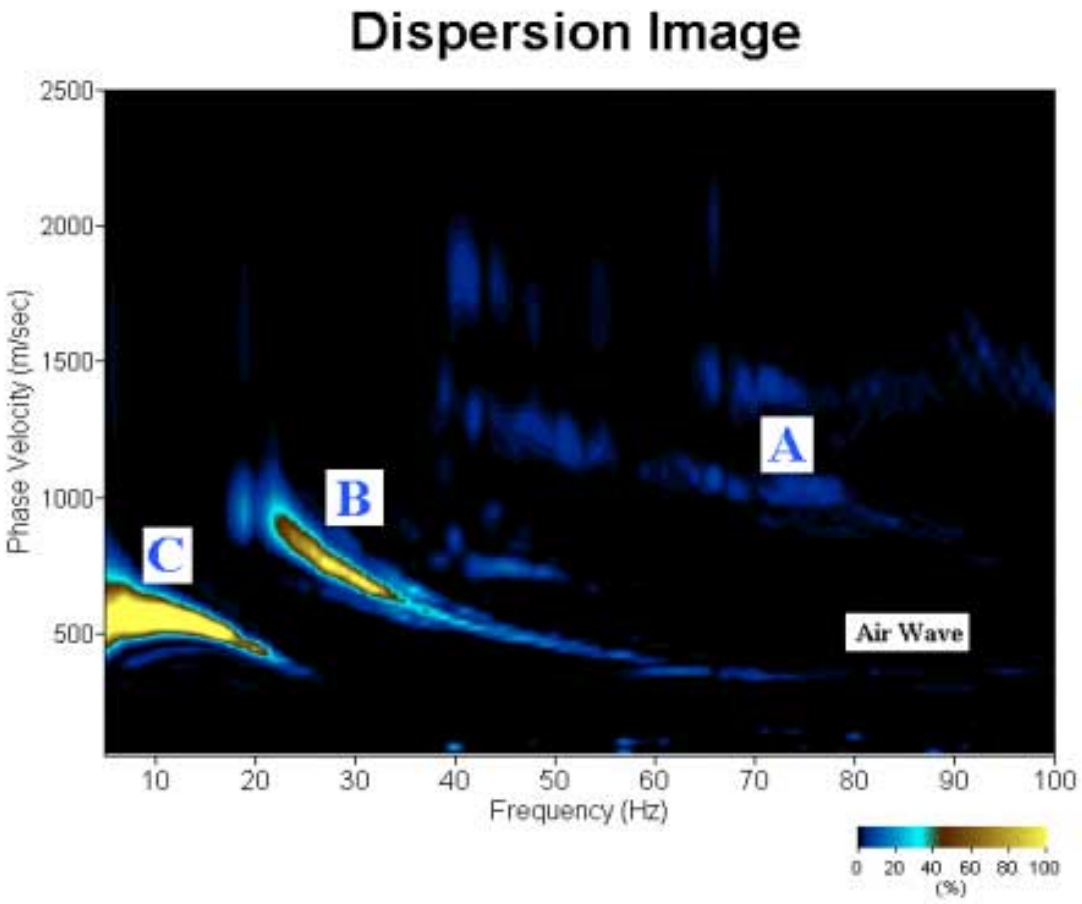


Fig. 12 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 9. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

Gli stendimenti delle prospezioni sismiche M.A.S.W. sono stati eseguiti con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

Tab. 1 –Caratteristiche delle fasi di acquisizione relative agli stendimenti eseguiti

Prospezioni sismiche	*Geofoni (n°)*	*Offset (m)*	*Spacing (m)*	*Lunghezza complessiva dello stendimento (m)*
M.A.S.W. Mw1	24	1,50	6,00	40,50
M.A.S.W. Mw2				
M.A.S.W. Mw3				
M.A.S.W. Mw4				
M.A.S.W. Mw5				

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 36 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali e non convenzionali. L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise). La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 *kg* che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14*Hz*, posto in prossimità della piastra. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5*Hz*) posizionati lungo il profilo di indagine con offset e spacing predefiniti (Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 31,00 metri dal piano campagna di riferimento.

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale T=2.048 *s*, sono state effettuate con passo di campionamento dt=0.5 *ms*.

La frequenza di campionamento è data da:

$$f_{campionamento}=1/dt=2000\ Hz$$

La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:

$$f_{Nyquist}=1/2dt=1000Hz.$$

La frequenza minima dei segnali è data da:

$$f_{min}=1/T=0.488\ Hz.$$

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma *MASW 2007* dell'ing. Vitantonio Roma che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di una sezione sismostratigrafica delle onde di taglio V_S.

Gli elaborati relativi alle prospezioni sismiche M.A.S.W. effettuate nel sito di specifico interesse sono di seguito riportati (Figg. 13-76).

Prospezione sismica M.A.S.W. Mw1

Dati sperimentali Mw1

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali 4096

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

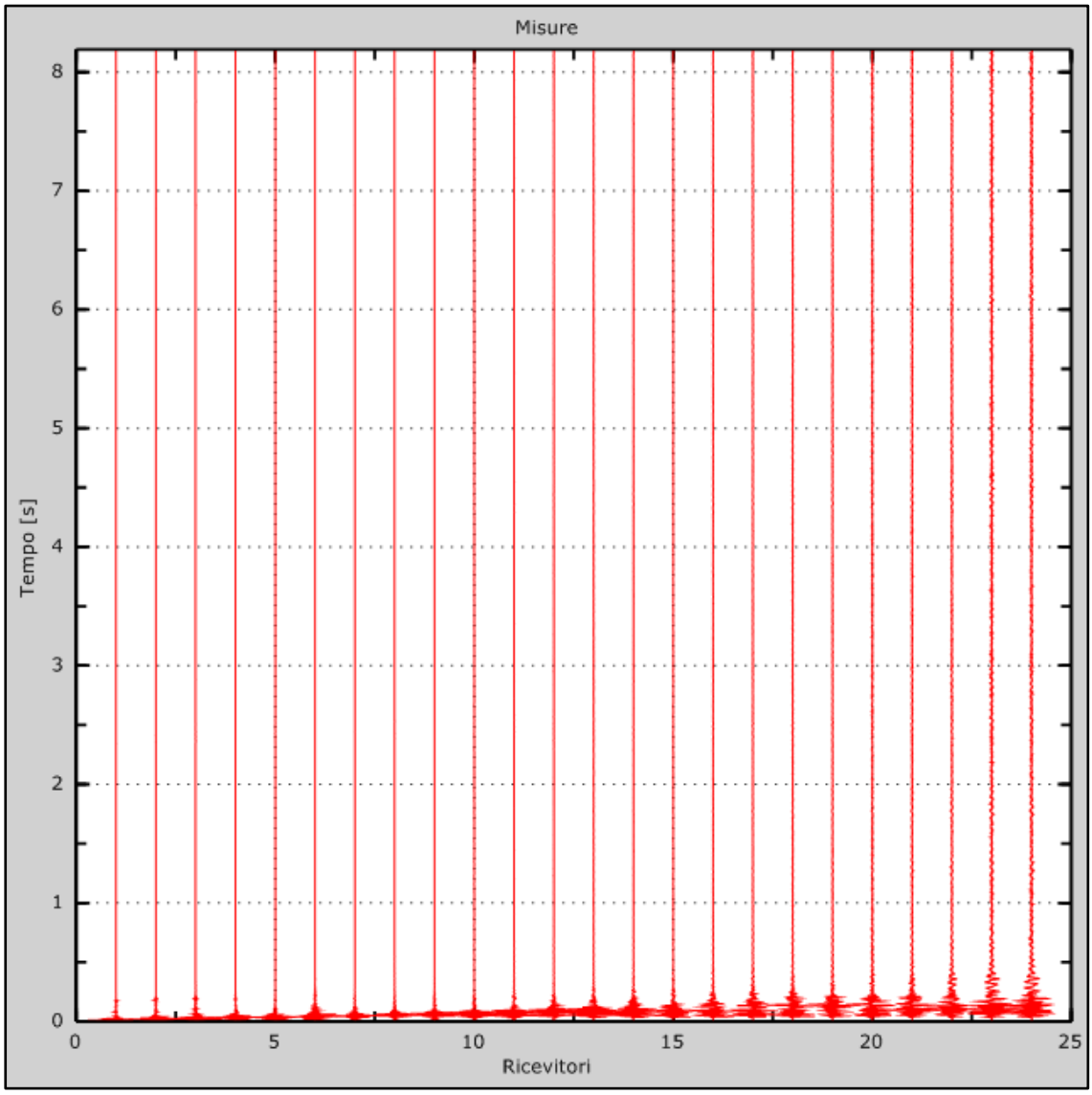


Fig. 13 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw1 (tracce sperimentali)

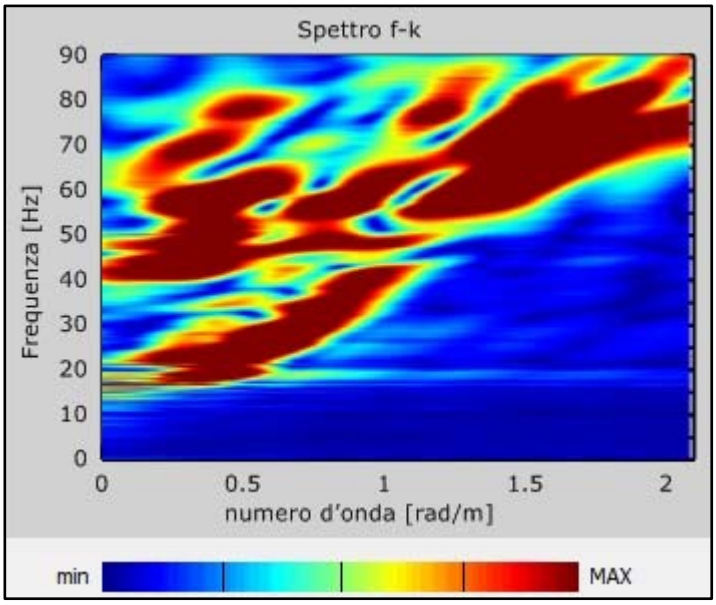


Fig. 14 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo Mw1

Risultati delle analisi Mw1

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

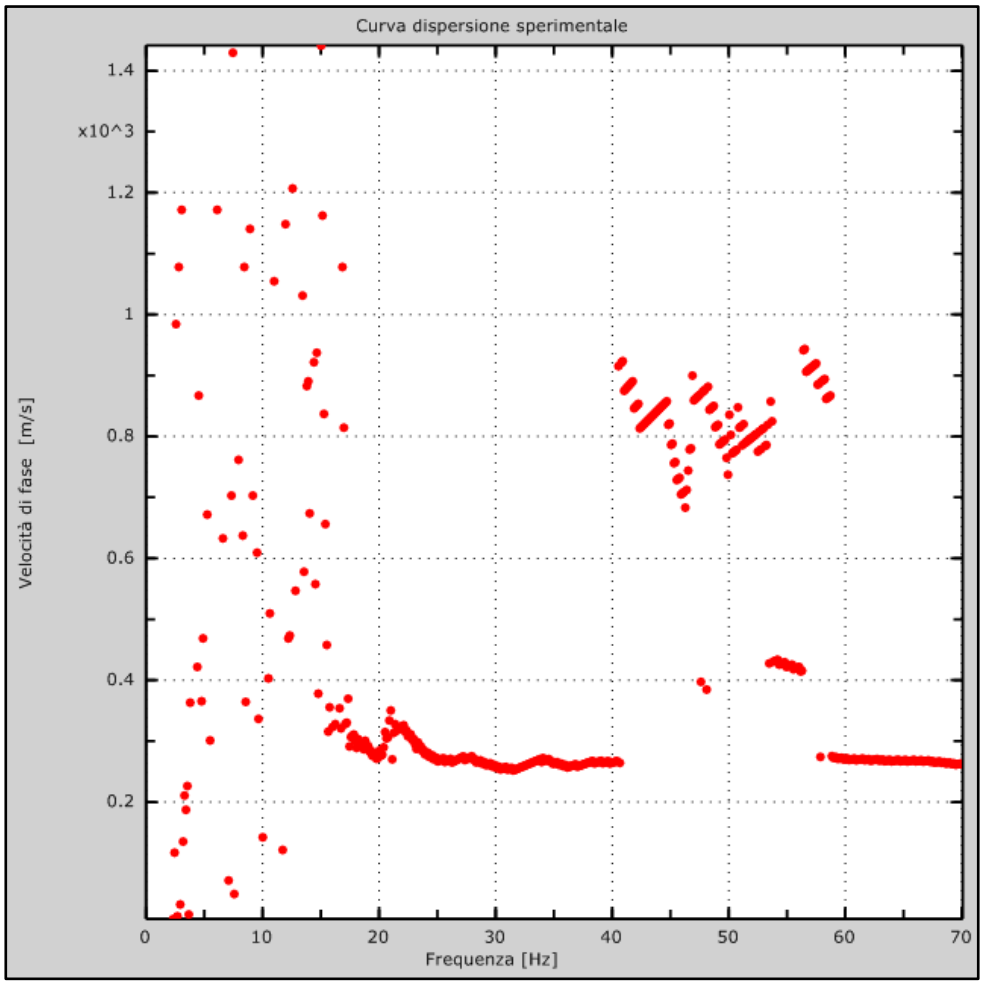


Fig. 15 – Curva di dispersione sperimentale Mw1

Curva di dispersione Mw1

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.45685	994.116	982.881	1005.35
2.45685	982.881	979.136	986.626
4.4817	866.789	855.555	878.024
7.29888	705.759	694.524	716.994
9.58784	589.667	582.177	597.157
12.317	469.83	462.341	477.32
14.782	383.698	376.208	391.188
17.4231	346.249	338.759	353.739
20.9446	316.29	305.055	327.524
24.29	290.075	282.586	297.565
28.1636	282.586	275.096	290.075
32.6535	267.606	260.116	275.096
38.552	263.861	256.371	271.351

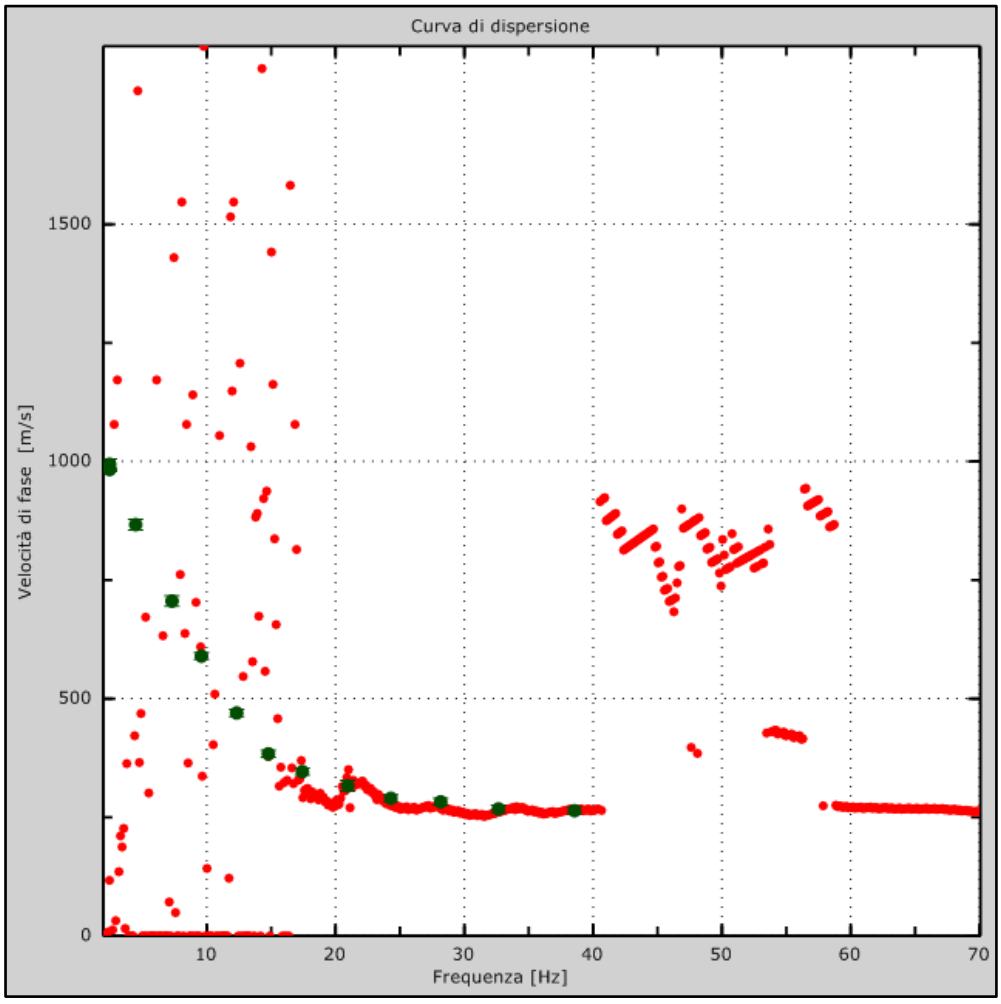


Fig. 16 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw1

Profilo in sito Mw1

Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella Mw1

Numero sismostrato	***Profondità (m)***	***Spessore (m)***	***V_S finale (m/s)***	***Falda nello strato***
S1	0,00 – 1,80	1,80	293	Non presente
S2	1,80 – 3,90	2,10	310	Non presente
S3	3,90 – 5,60	1,70	351	Non presente
S4	5,60 – 9,10	3,50	426	Non presente
S5	9,10 – 13,70	4,60	522	Non presente
S6	13,70 – 18,90	5,20	603	Non presente
S7	18,90 – 23,80	4,90	655	Non presente
S8	23,80 – 30,30	6,50	702	Non presente

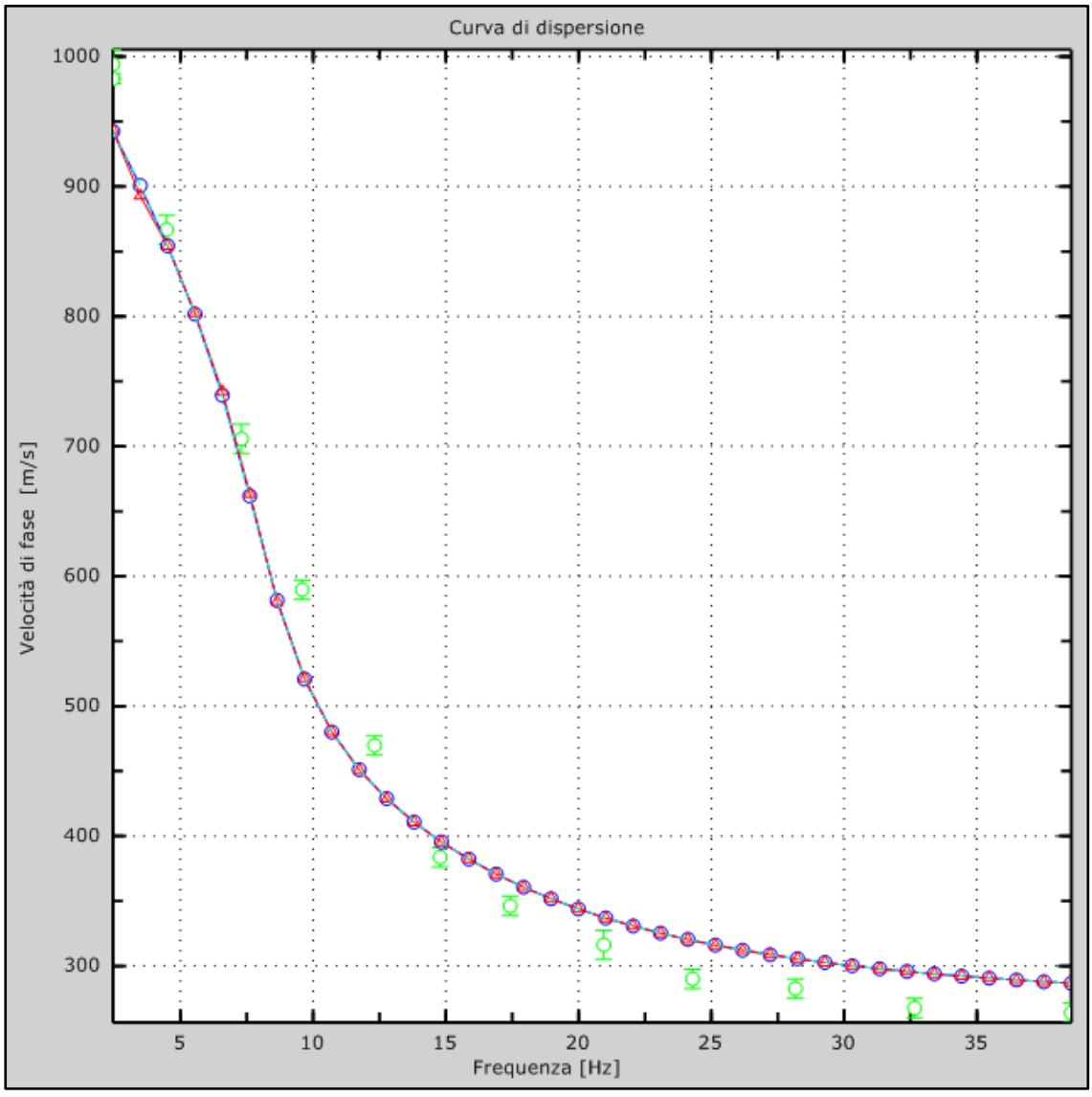


Fig. 17 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

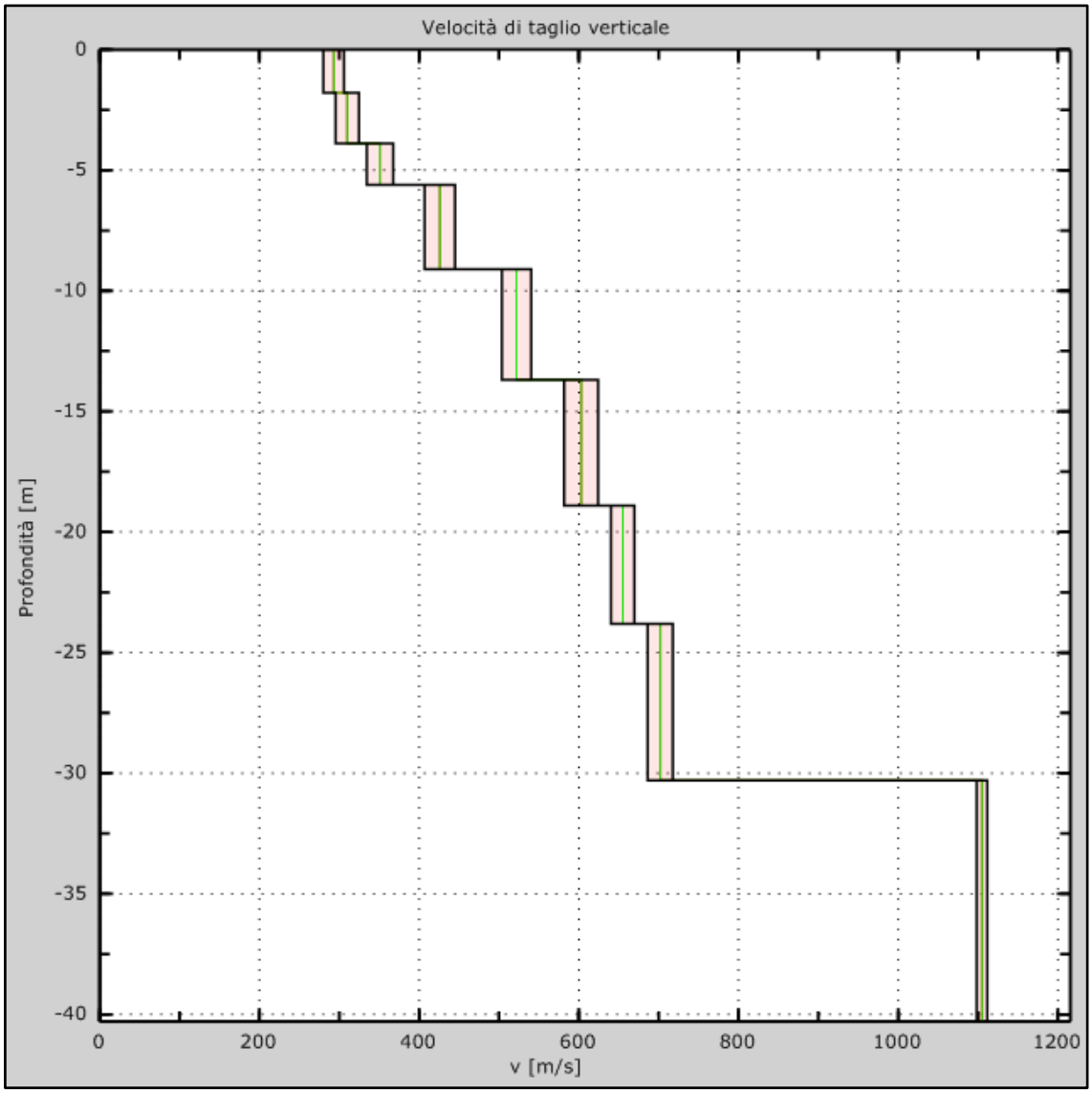


Fig. 18 – Profilo verticale delle V_S (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

Prospezione sismica M.A.S.W. Mw2

Dati sperimentali Mw2

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali 4096

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

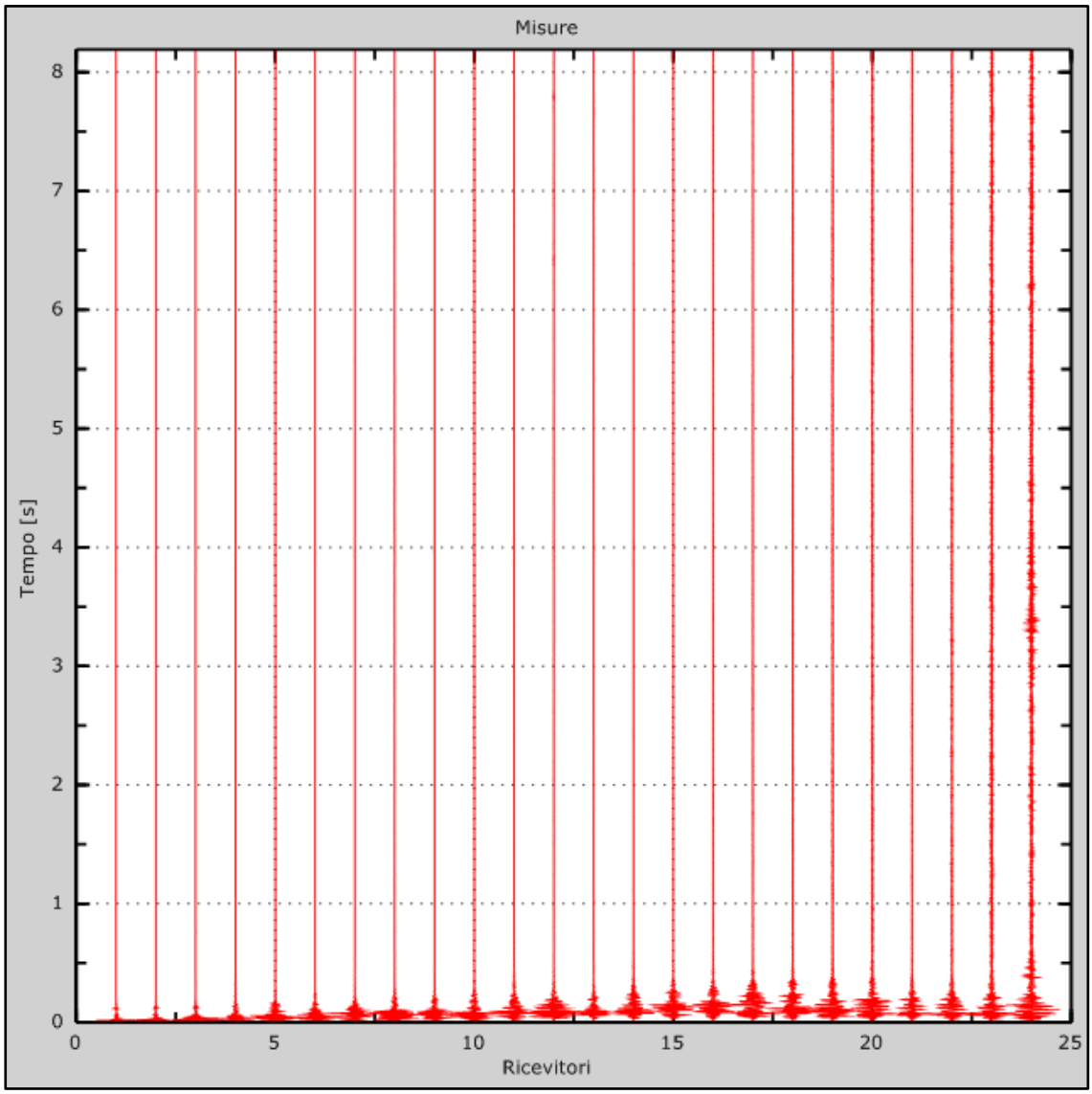


Fig. 19 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw2 (tracce sperimentali)

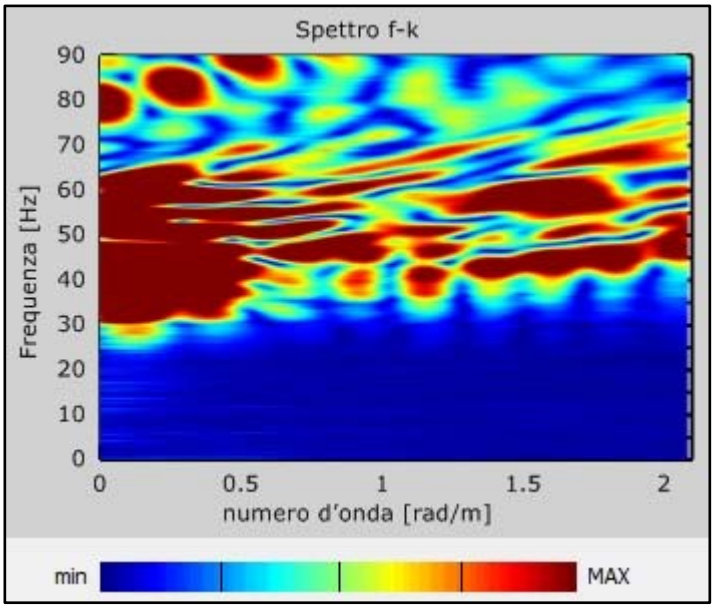


Fig. 20 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo Mw2

Risultati delle analisi Mw2

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

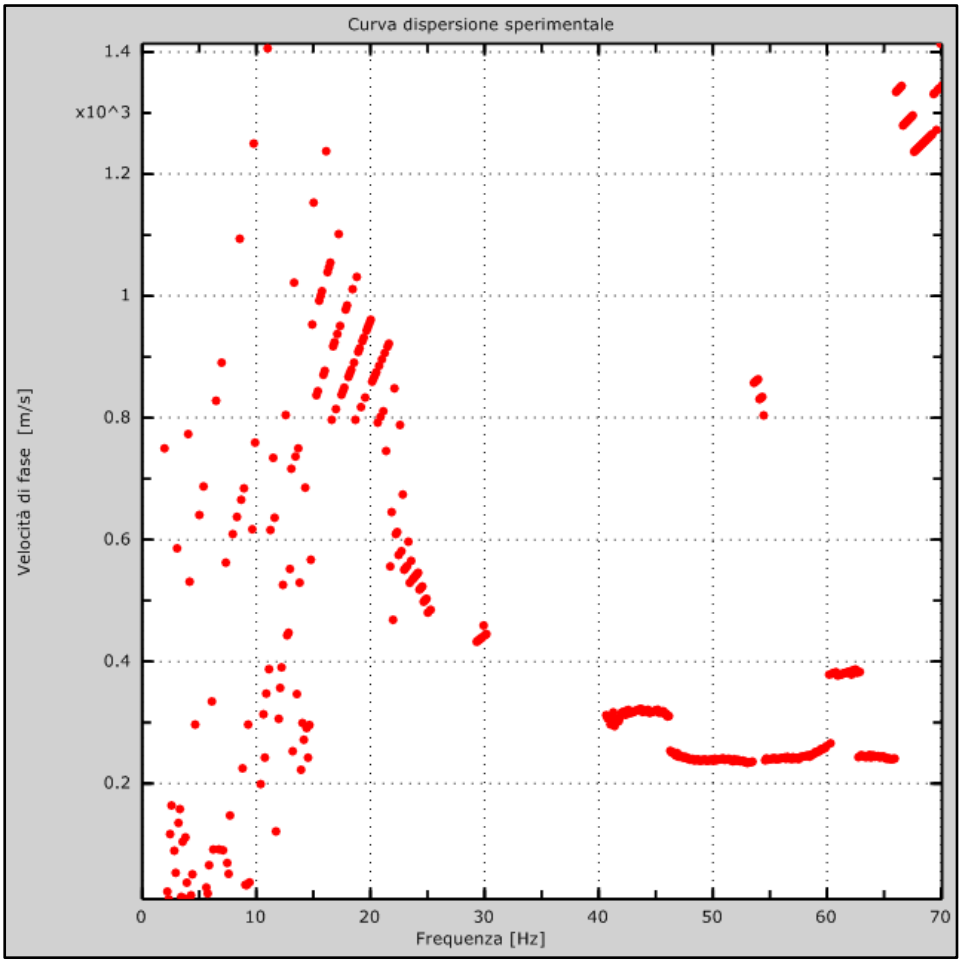


Fig. 21 – Curva di dispersione sperimentale Mw2

Curva di dispersione Mw2

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.809	1258.2	1246.31	1270.09
8.70747	1099.67	1091.74	1107.59
14.6059	917.352	901.499	933.205
18.5676	794.488	782.598	806.378
22.3532	631.991	624.064	639.918
29.7483	449.677	433.824	465.53
42.6017	310.96	291.143	330.777
47.9719	251.51	243.583	259.436
54.9268	235.656	223.766	247.546

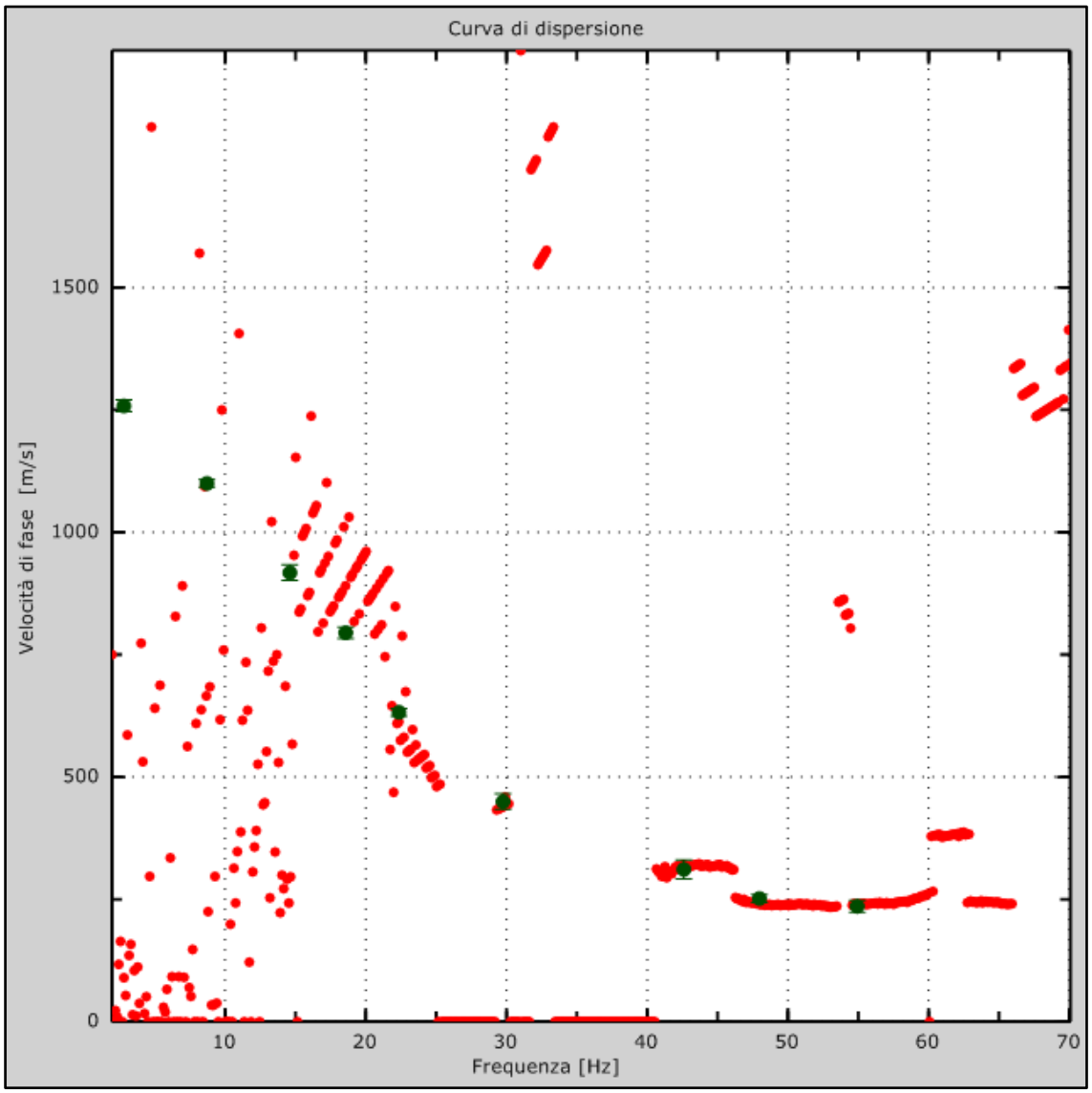


Fig. 22 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw2

Profilo in sito Mw2

Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella Mw2

Numero sismostrato	***Profondità (m)***	***Spessore (m)***	***V_S finale (m/s)***	***Falda nello strato***
S1	0,00 – 1,50	1,50	216	Non presente
S2	1,50 – 2,90	1,40	292	Non presente
S3	2,90 – 5,20	2,30	432	Non presente
S4	5,20 – 9,60	4,40	599	Non presente
S5	9,60 – 15,20	5,60	861	Non presente
S6	15,20 – 20,00	4,80	1035	Non presente
S7	20,00 – 24,20	4,20	1145	Non presente
S8	24,20 – 30,50	6,30	1240	Non presente

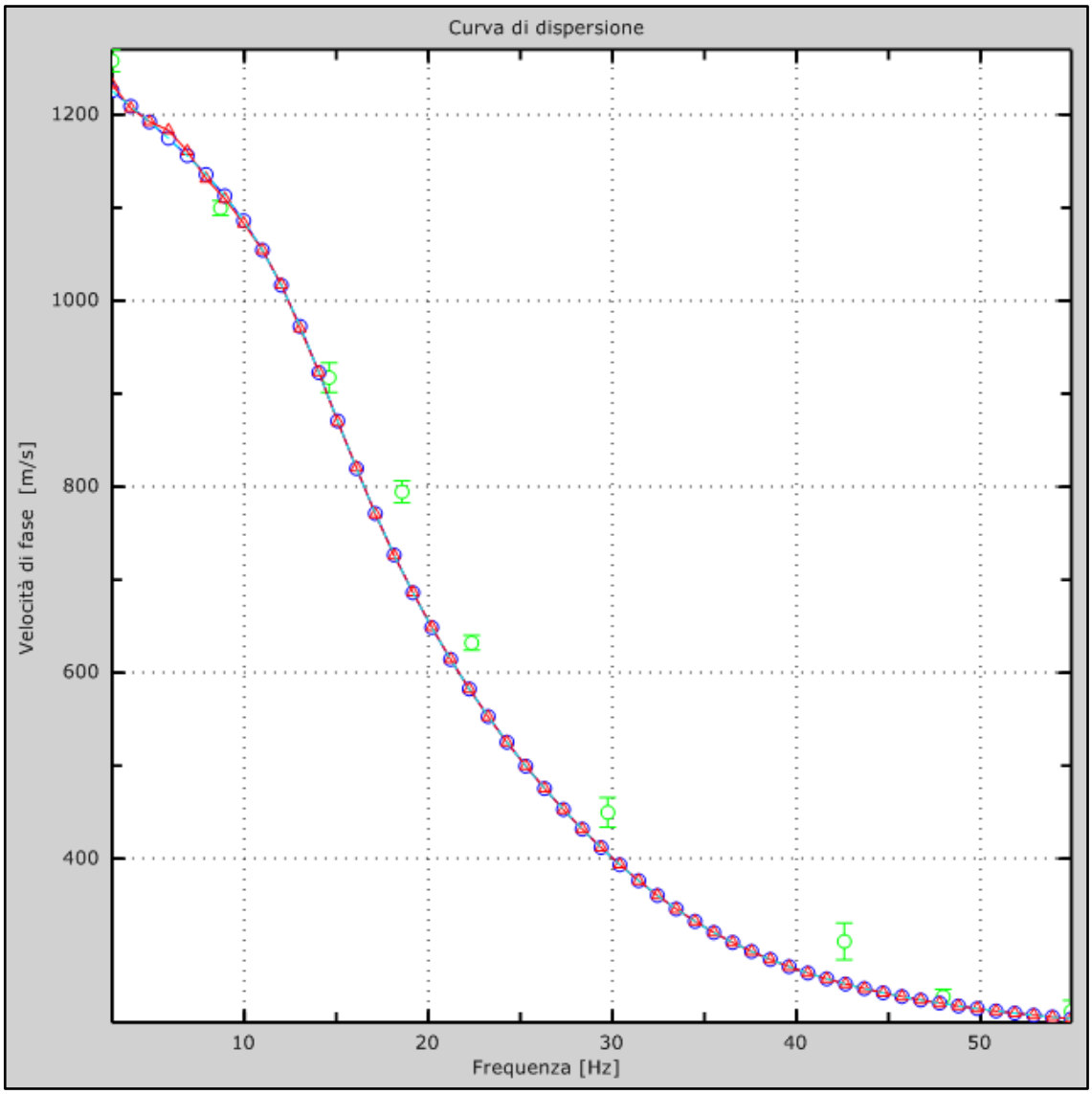


Fig. 23 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

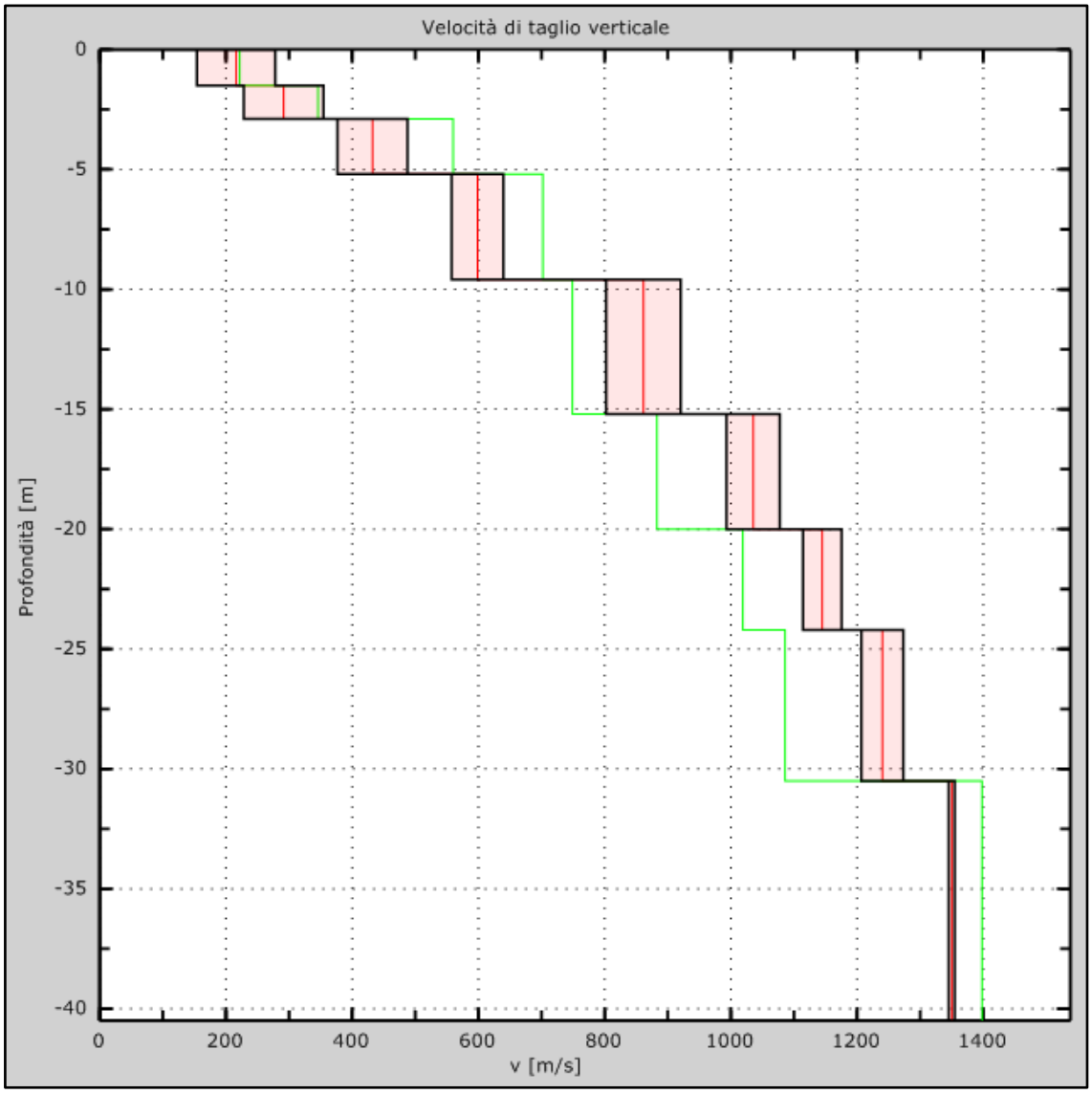


Fig. 24 – Profilo verticale delle V_S (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

Prospezione sismica M.A.S.W. Mw3

Dati sperimentali Mw3

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali 4096

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

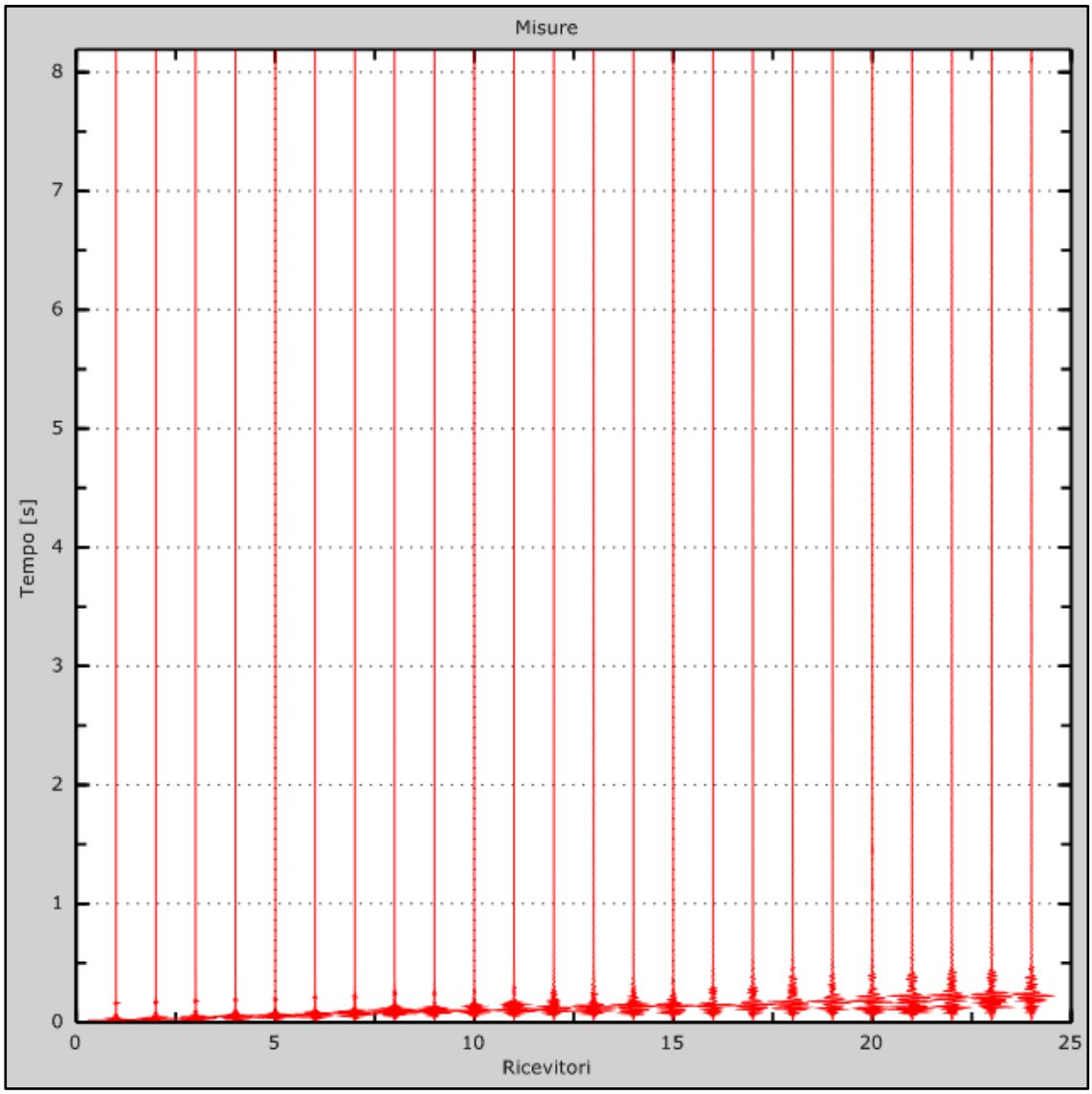


Fig. 25 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw3 (tracce sperimentali)

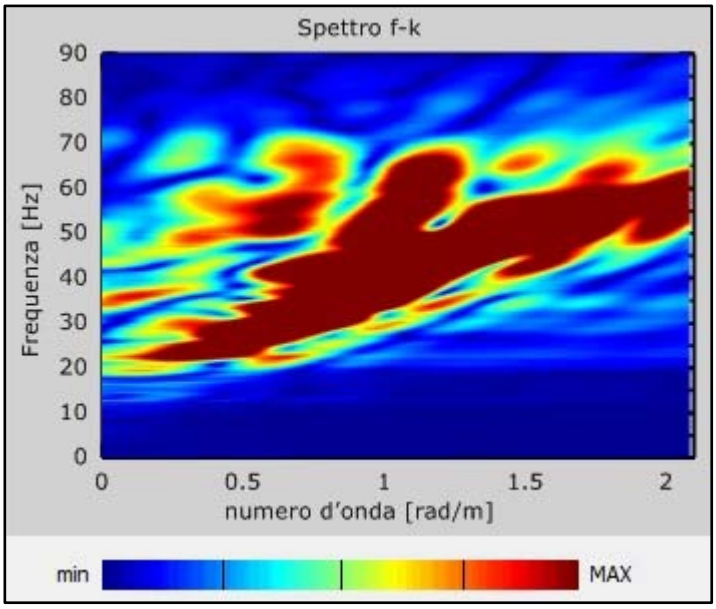


Fig. 26 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo Mw3

Risultati delle analisi Mw3

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

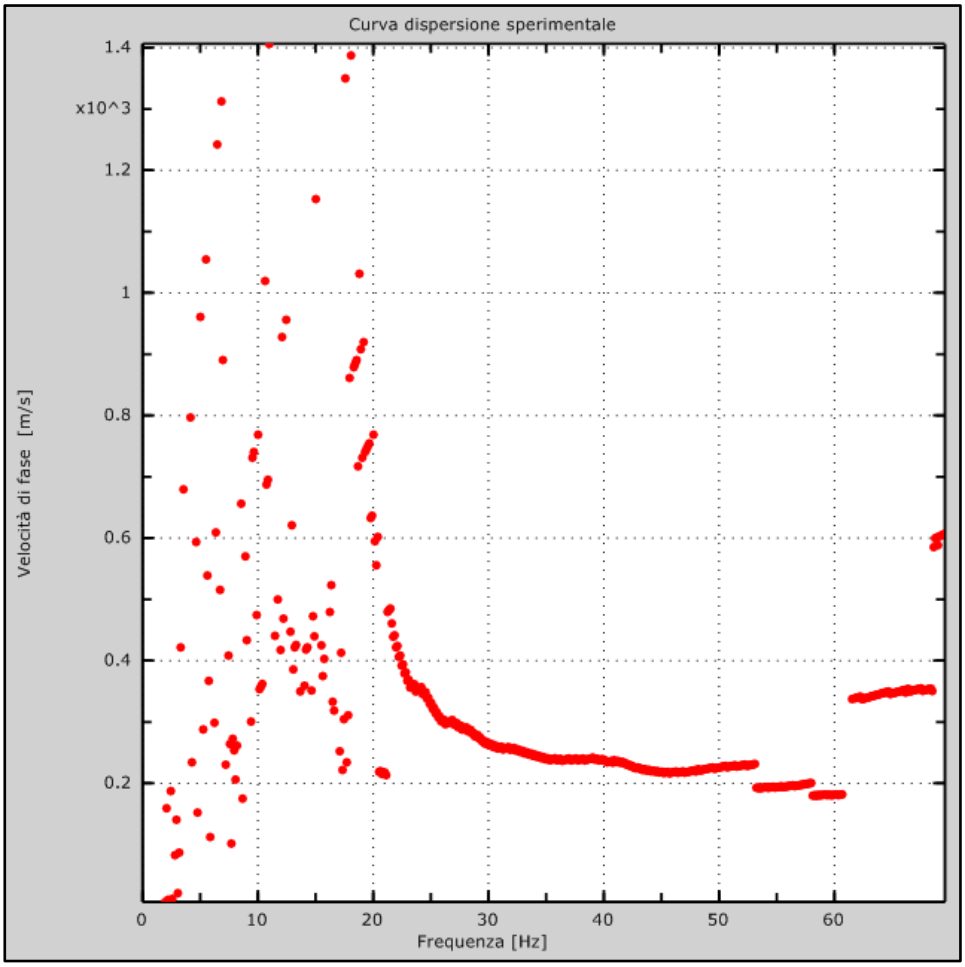


Fig. 27 – Curva di dispersione sperimentale Mw3

Curva di dispersione Mw3

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.28078	856.022	849.047	862.997
4.30563	796.735	789.76	803.71
8.44336	681.65	667.7	695.6
16.1906	500.303	493.329	507.278
22.1771	402.655	392.193	413.118
26.1388	308.494	298.032	318.957
31.2449	259.67	252.696	266.645
35.6468	238.746	224.796	252.696
42.6897	224.796	214.334	235.258
42.6897	214.334	210.846	217.821
52.8139	221.309	207.359	235.258
58.1842	207.359	200.384	214.334

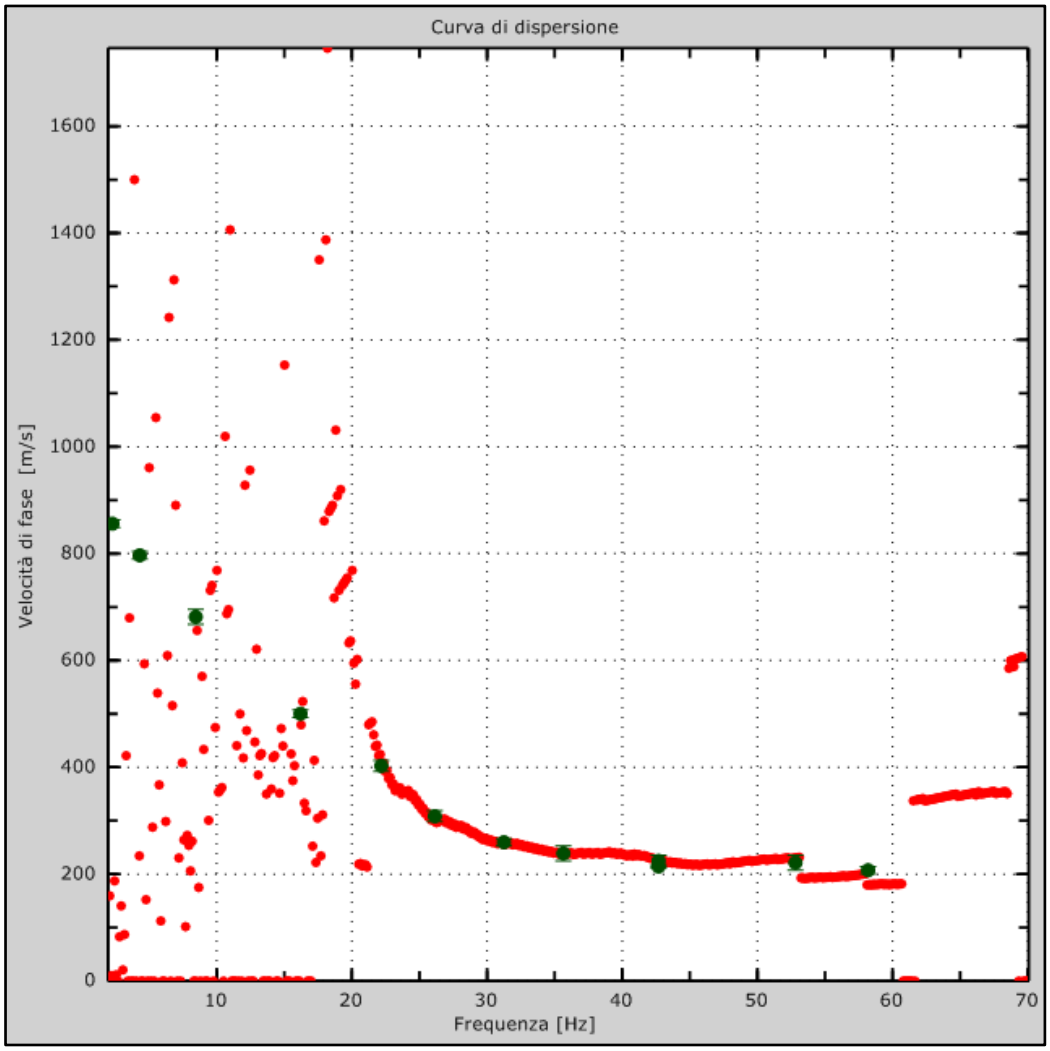


Fig. 28 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw3

Profilo in sito Mw3

Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella Mw3

Numero sismostrato	***Profondità (m)***	***Spessore (m)***	***V_S finale (m/s)***	***Falda nello strato***
S1	0,00 – 1,80	1,80	230	Non presente
S2	1,80 – 4,00	2,20	289	Non presente
S3	4,00 – 6,80	2,80	447	Non presente
S4	6,80 – 11,10	4,30	556	Non presente
S5	11,10 – 15,00	3,90	589	Non presente
S6	15,00 – 19,70	4,70	610	Non presente
S7	19,70 – 24,90	5,20	757	Non presente
S8	24,90 – 31,00	6,10	798	Non presente

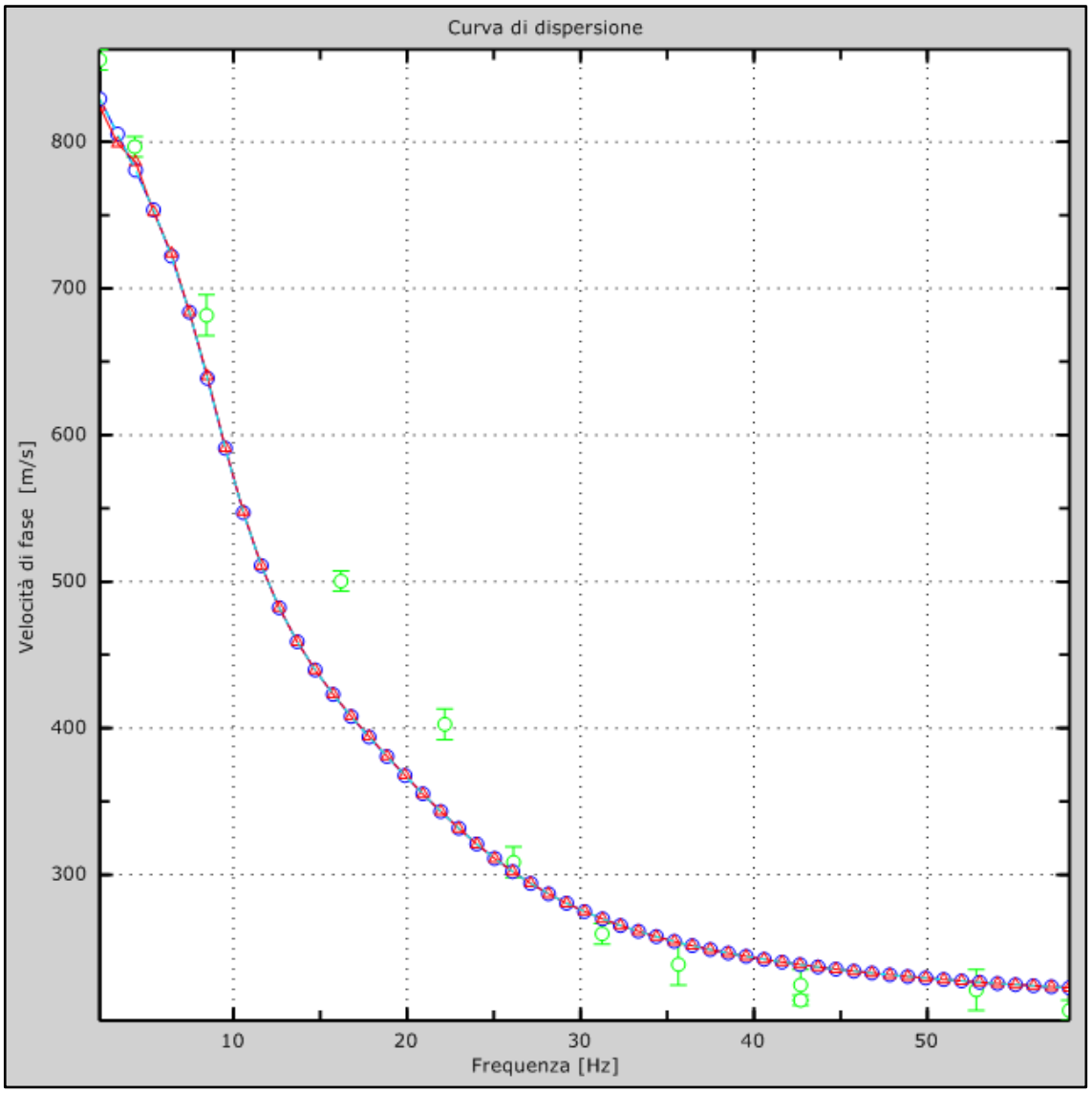


Fig. 29 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

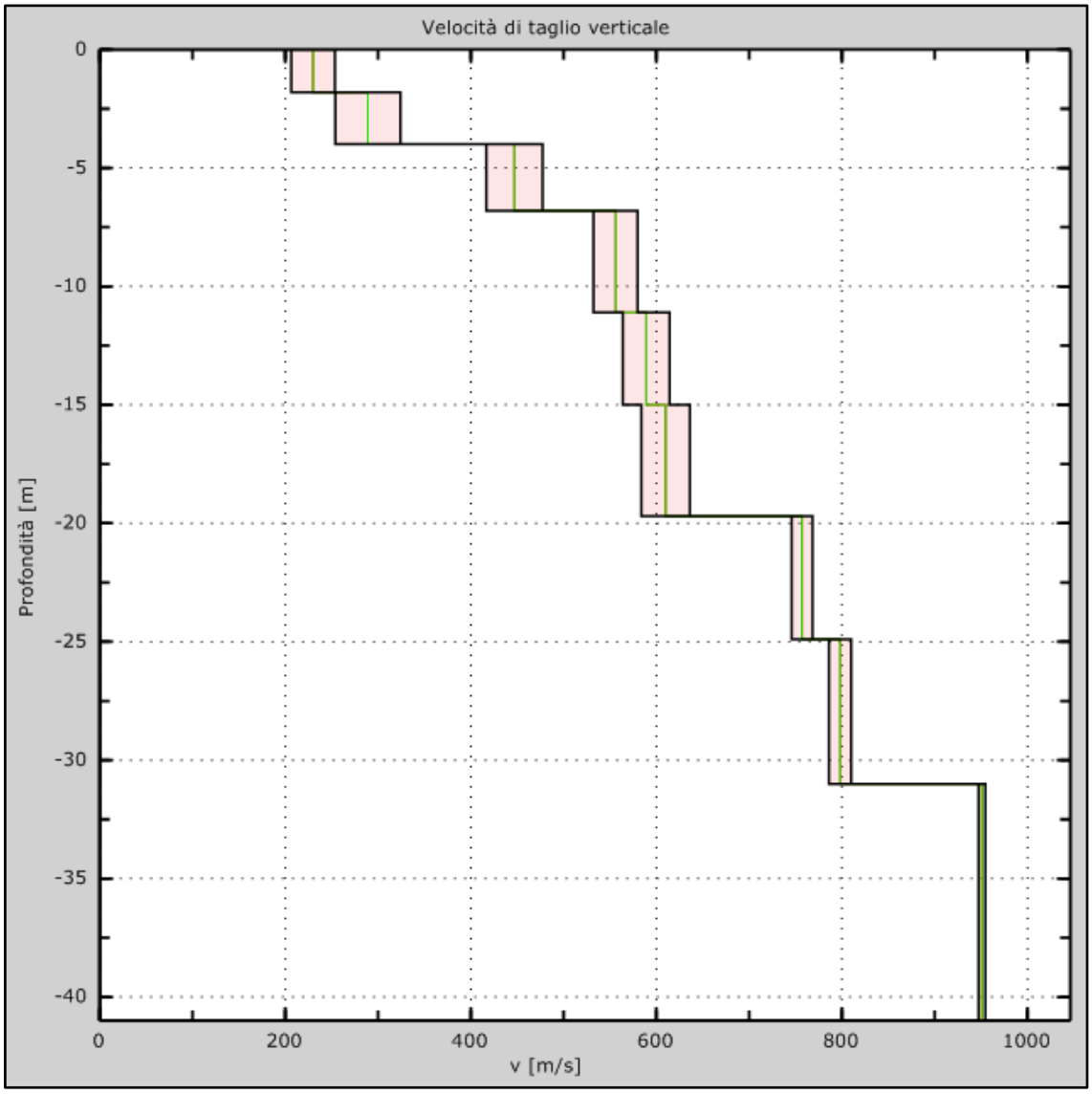


Fig. 30 – Profilo verticale delle V_S (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

Prospezione sismica M.A.S.W. Mw4

Dati sperimentali Mw4

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali 2048

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 4094 ms

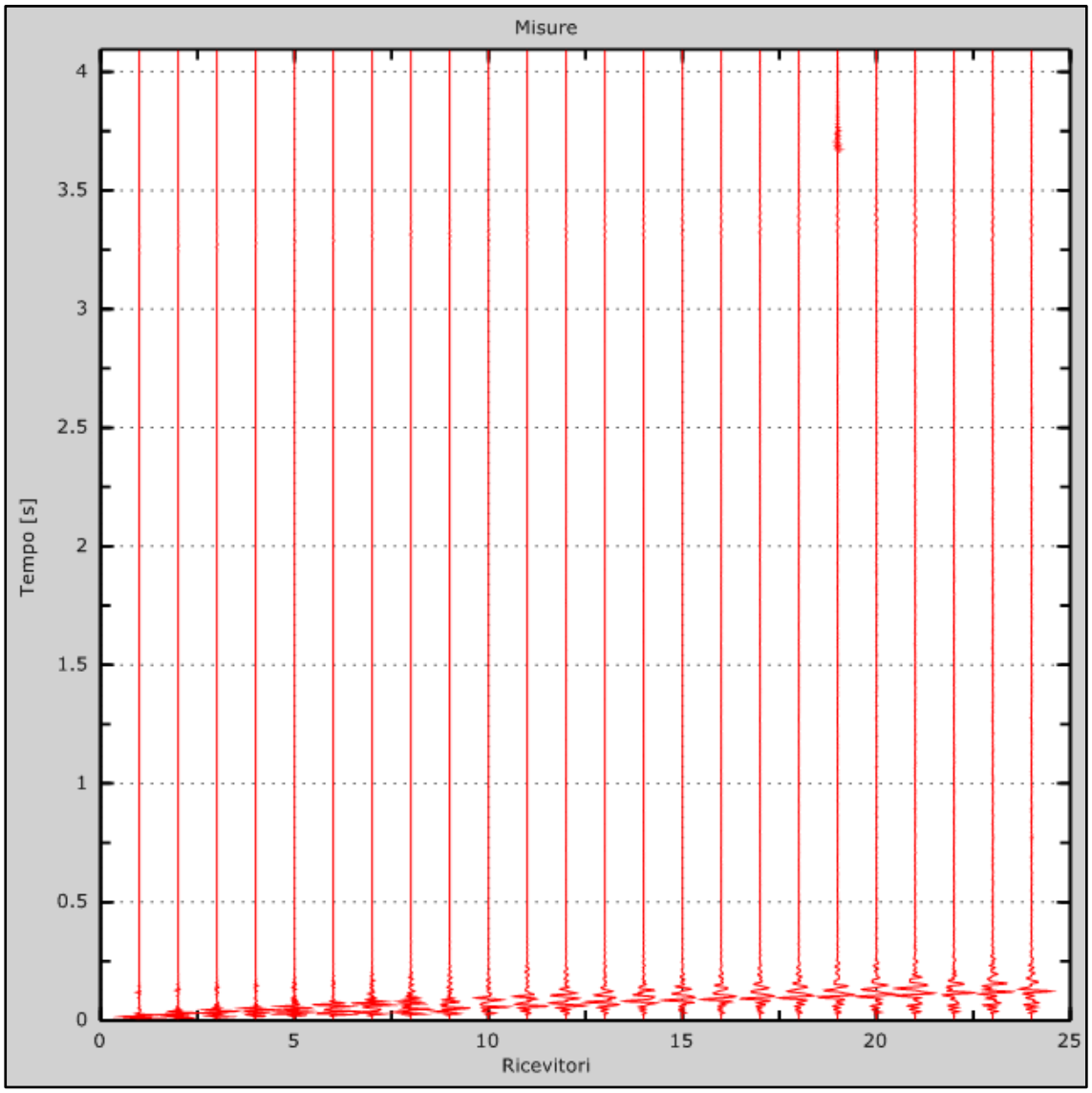


Fig. 31 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw4 (tracce sperimentali)

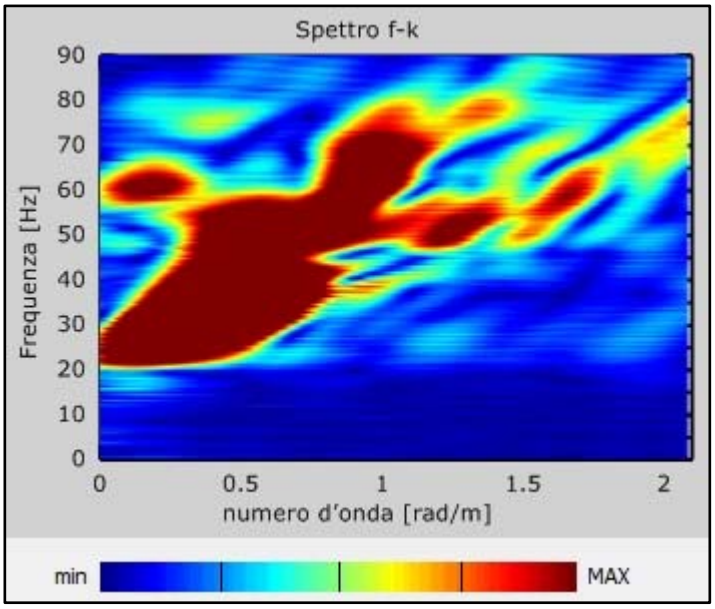


Fig. 32 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo Mw4

Risultati delle analisi Mw4

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

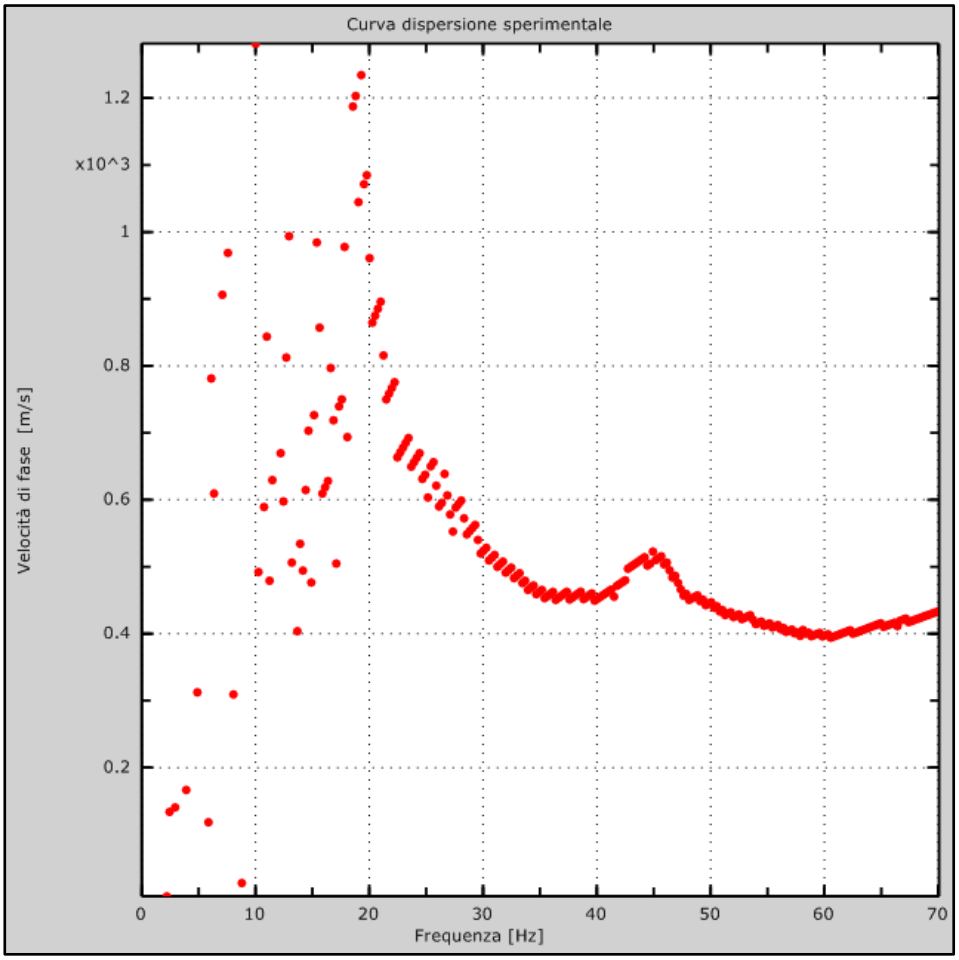


Fig. 33 – Curva di dispersione sperimentale Mw4

Curva di dispersione Mw4

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.54489	1023.27	1016.24	1030.29
7.29888	921.451	914.429	928.473
11.1725	854.745	847.723	861.767
16.1026	784.528	773.996	795.061
22.2651	679.203	672.181	686.225
26.1388	626.541	612.497	640.584
30.8928	535.259	528.237	542.28
42.8658	489.618	472.064	507.172
50.0848	454.509	443.977	465.042
59.2406	408.868	394.825	422.912

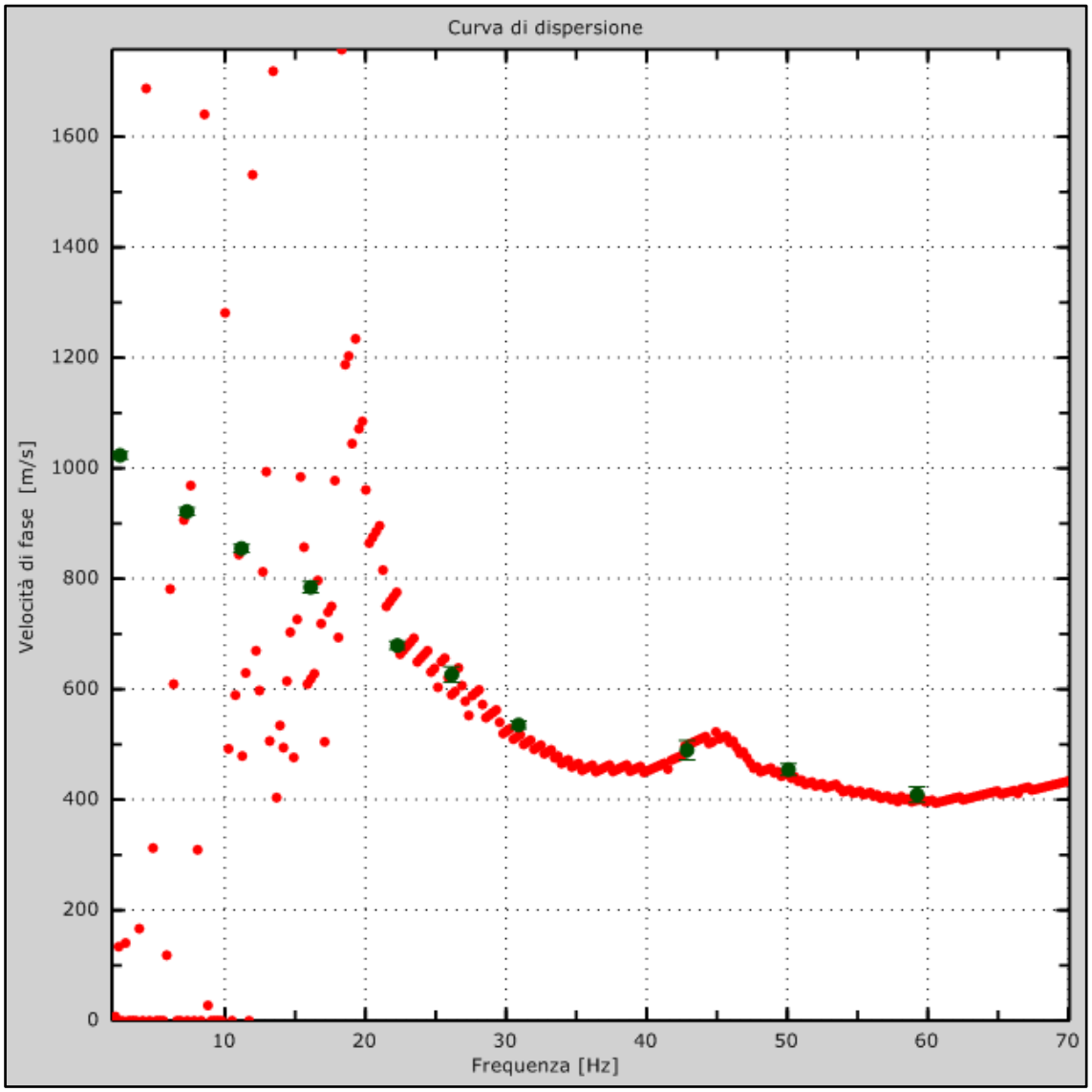


Fig. 34 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw4

Profilo in sito Mw4

Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella Mw4

Numero sismostrato	***Profondità (m)***	***Spessore (m)***	***V_S finale (m/s)***	***Falda nello strato***
S1	0,00 – 1,70	1,70	454	Non presente
S2	1,70 – 4,00	2,30	505	Non presente
S3	4,00 – 7,50	3,50	595	Non presente
S4	7,50 – 11,80	4,30	696	Non presente
S5	11,80 – 15,60	3,80	755	Non presente
S6	15,60 – 20,90	5,30	872	Non presente
S7	20,90 – 25,40	4,50	903	Non presente
S8	25,40 – 30,50	5,10	950	Non presente

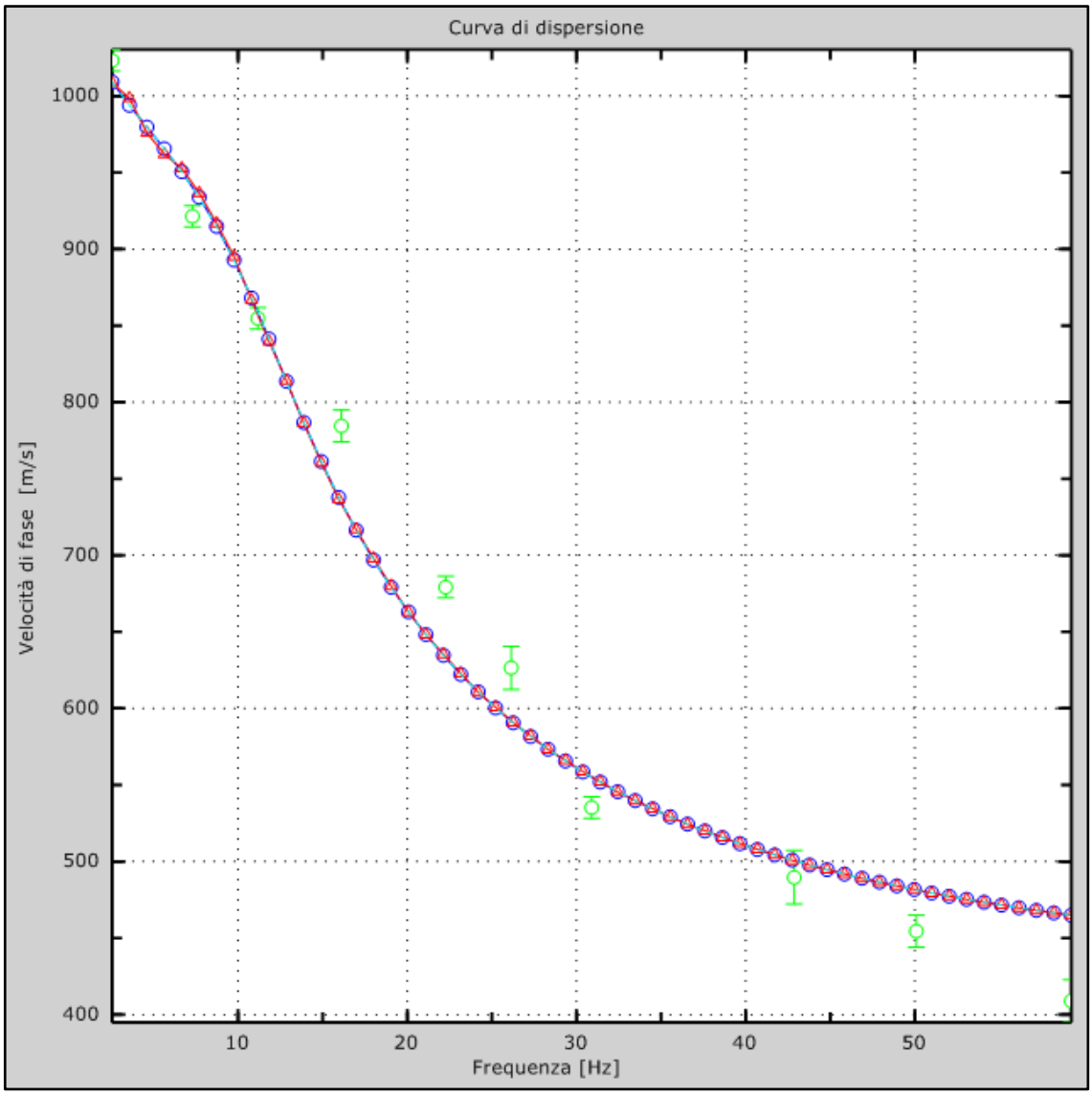


Fig. 35 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

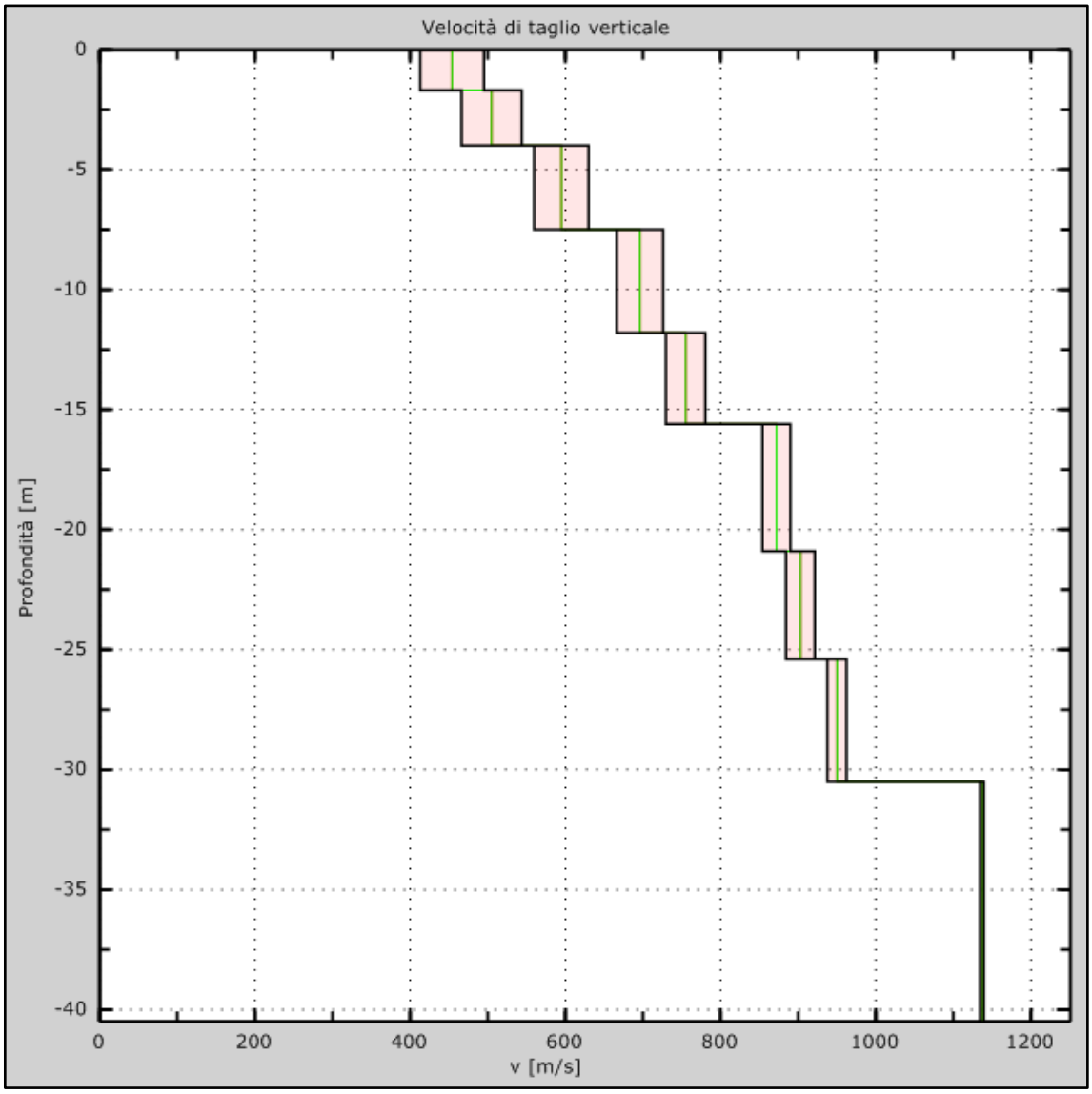


Fig. 36 – Profilo verticale delle V_S (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

Prospezione sismica M.A.S.W. Mw5

Dati sperimentali Mw5

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali 2048

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 4094 ms

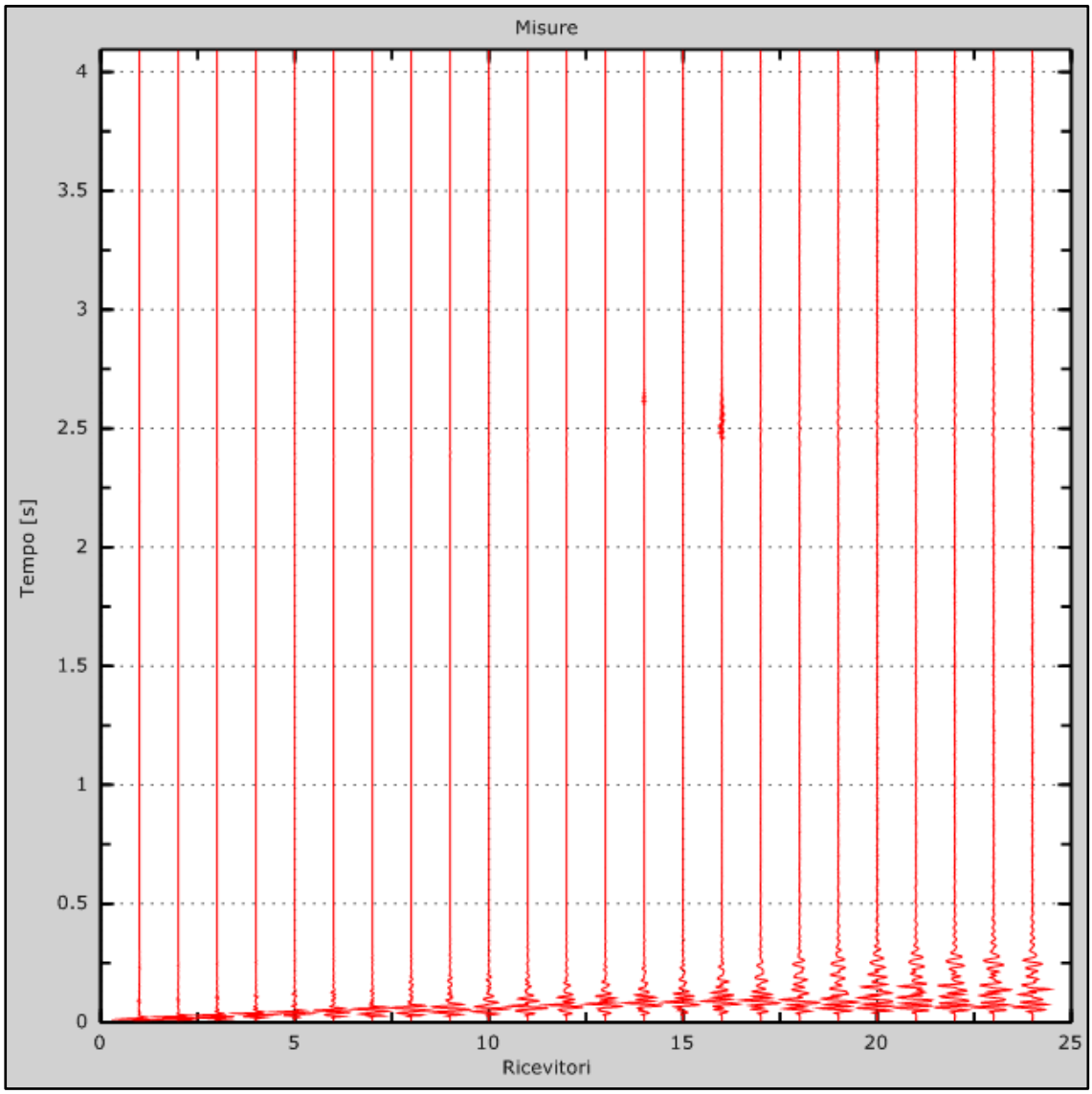


Fig. 37 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw5 (tracce sperimentali)

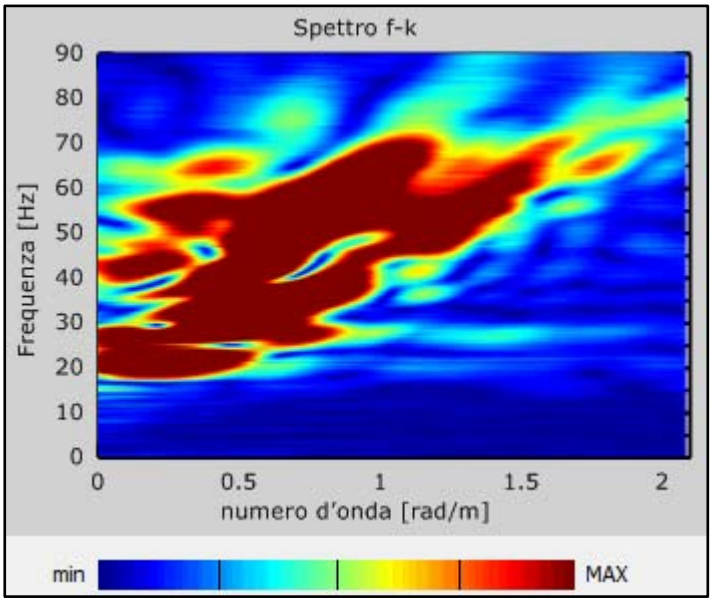


Fig. 38 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo Mw5

Risultati delle analisi Mw5

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

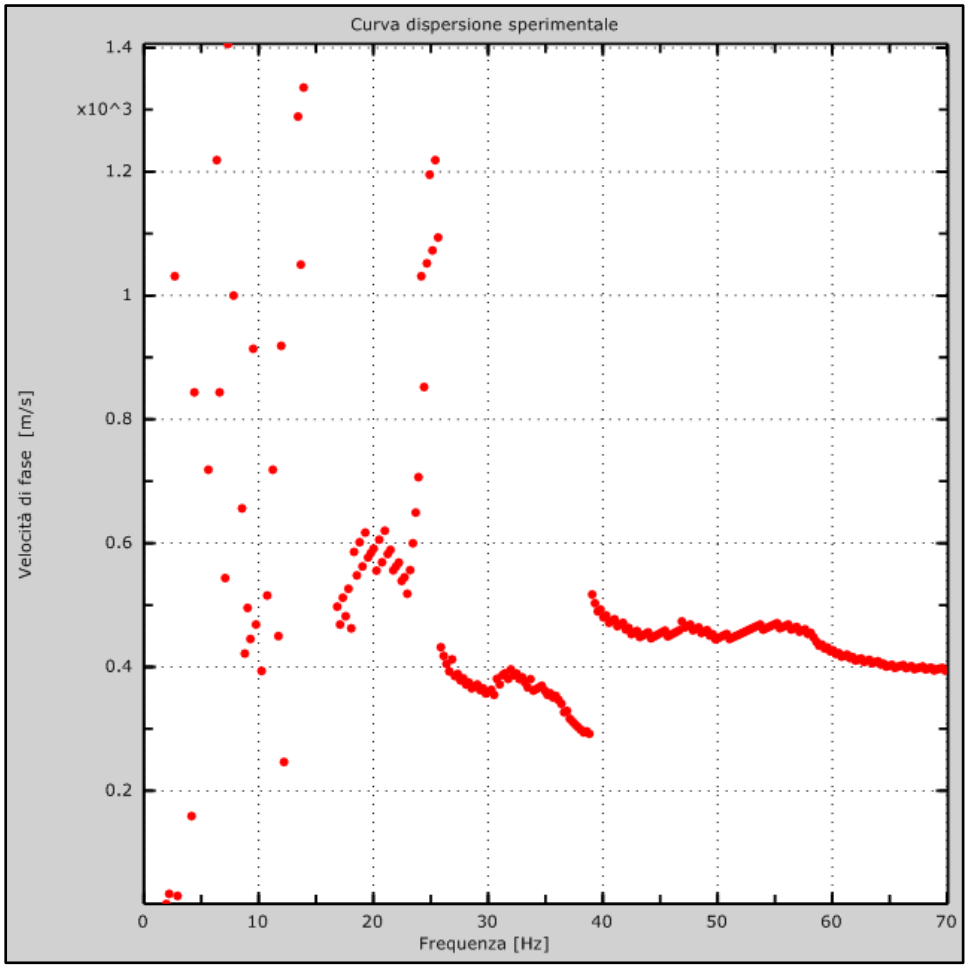


Fig. 39 – Curva di dispersione sperimentale Mw5

Curva di dispersione Mw5

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.54489	1044.95	1025.91	1063.99
7.8271	877.429	873.621	881.236
12.1409	759.402	751.787	767.017
18.7437	629.953	614.724	645.183
23.7618	580.458	569.036	591.88
39.1682	504.312	477.661	530.963
47.3557	470.046	447.202	492.89
53.8704	454.817	447.202	462.432
62.2339	416.744	405.322	428.166

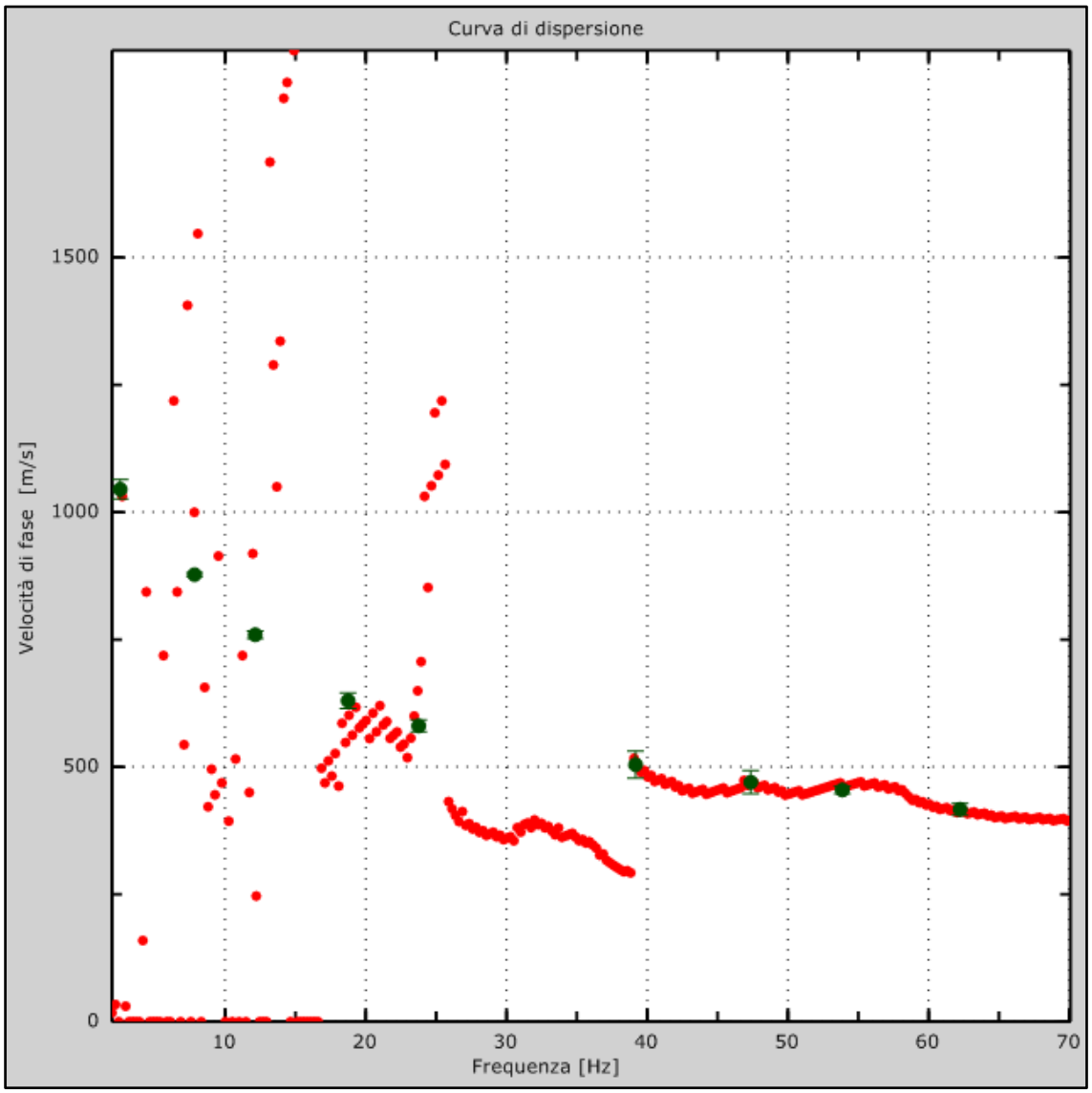


Fig. 40 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw5

Profilo in sito Mw5

Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella Mw5

Numero sismostrato	***Profondità (m)***	***Spessore (m)***	***V_S finale (m/s)***	***Falda nello strato***
S1	0,00 – 2,20	2,20	463	Non presente
S2	2,20 – 3,90	1,70	505	Non presente
S3	6,90 – 6,80	2,90	560	Non presente
S4	6,80 – 10,00	3,20	645	Non presente
S5	10,00 – 14,90	4,90	700	Non presente
S6	14,90 – 20,60	5,70	734	Non presente
S7	20,60 – 26,80	6,20	844	Non presente
S8	26,80 – 32,40	5,60	896	Non presente

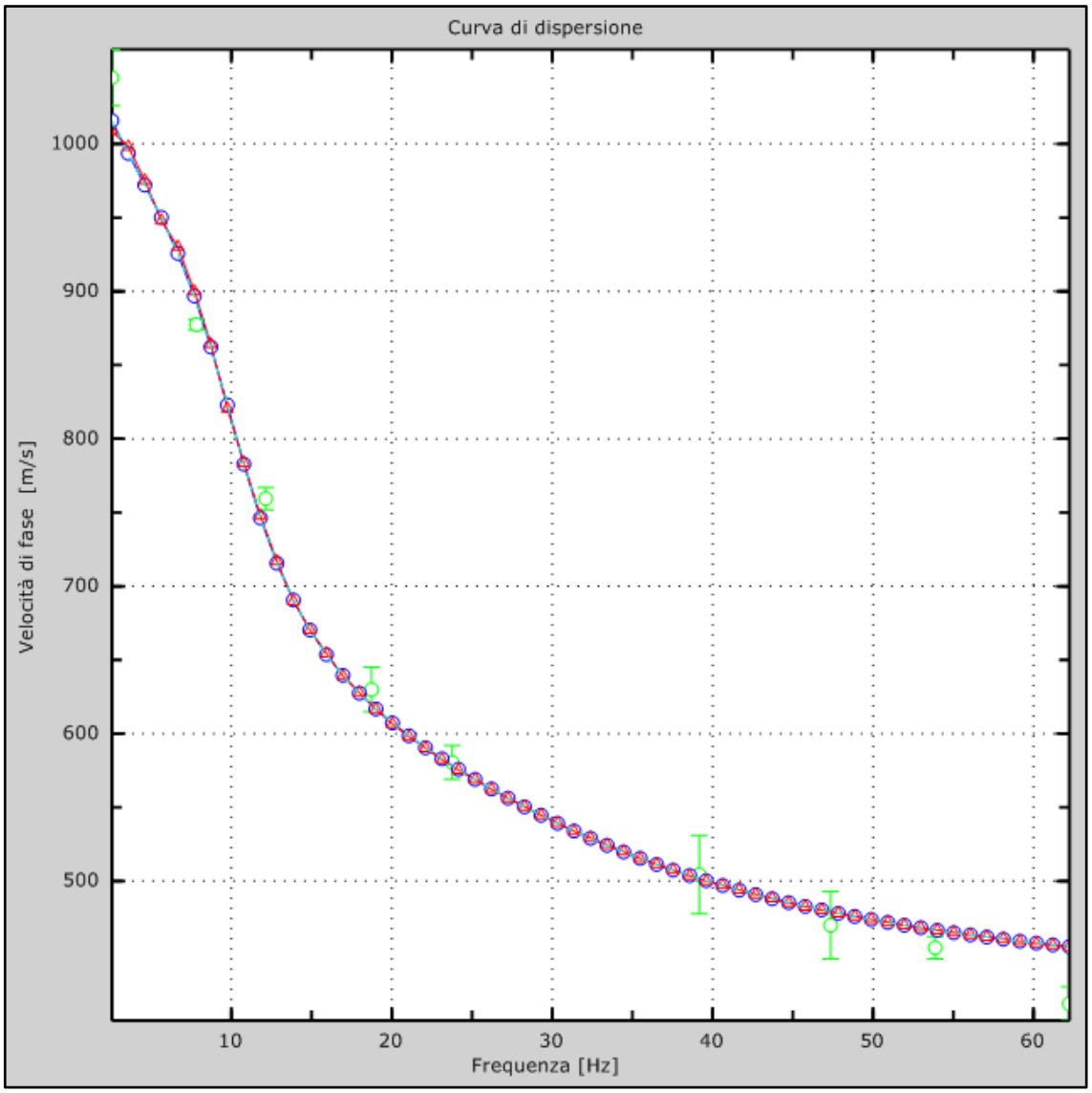


Fig. 41 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

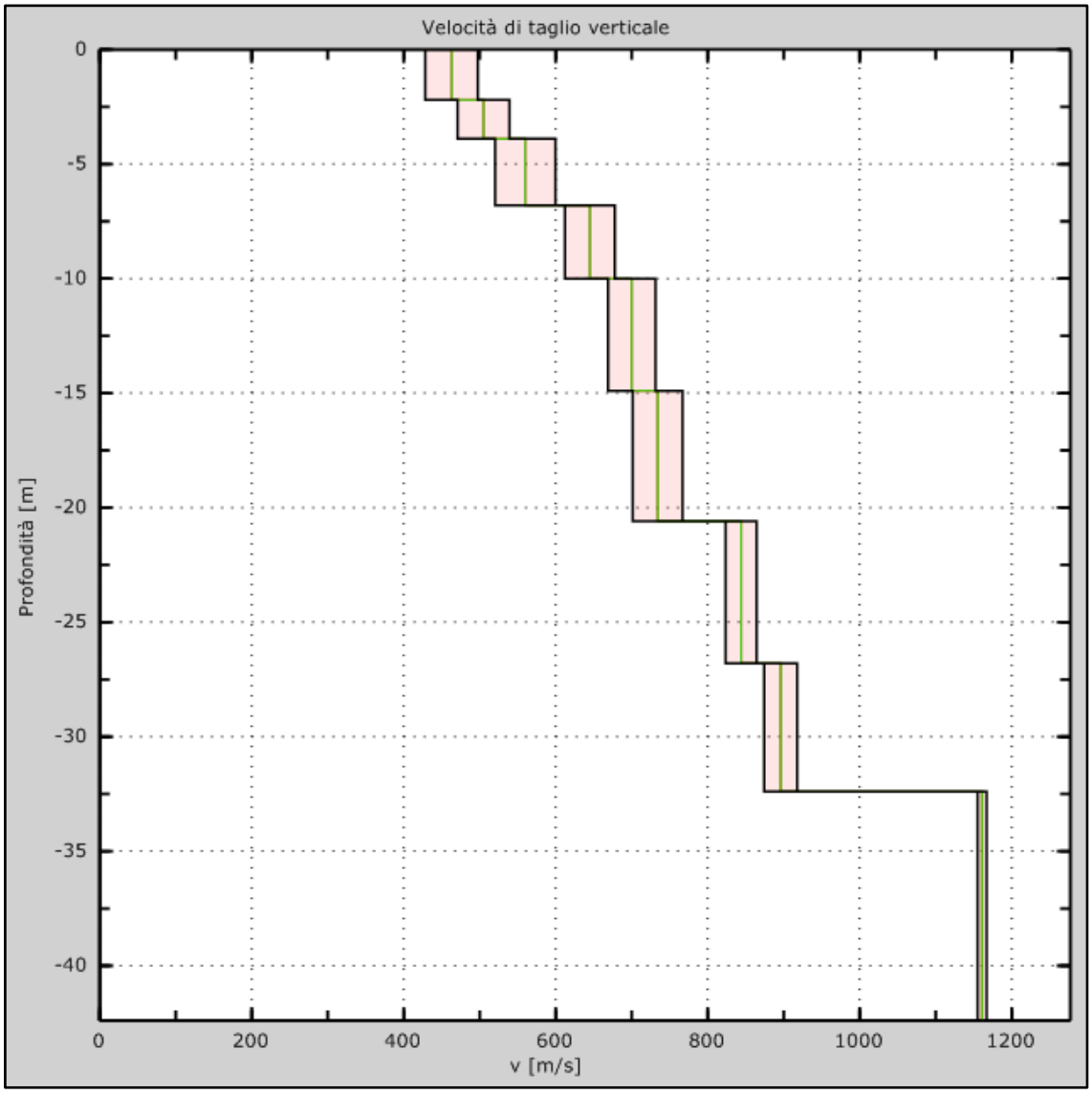


Fig. 42 – Profilo verticale delle V_S (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

8. Sismicità del territorio

8.1 Classificazione sismica

Nell'ambito dell'intero territorio nazionale la classificazione sismica attribuisce i parametri di riferimento relativamente all'azione sismica da prendere in considerazione nella progettazione delle opere. La precedente classificazione emessa dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in vigore sino al marzo 2003, prevedeva la suddivisione del territorio in 3 "Categorie" con diverso grado di sismicità, oltre ad un'altra categoria cosiddetta non classificata per la mancanza di elementi conoscitivi sufficienti. L'unità territoriale minima era costituita dall'intero territorio comunale, a cui quindi veniva attribuita un'unica Categoria.

Nel 2003 un aggiornamento generale della normativa è stato operato con l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*." L'Ordinanza contiene anche un significativo aggiornamento della classificazione sismica del territorio, basata sull'introduzione di 4 "Zone" caratterizzate da diversi valori di accelerazione massima attesa al suolo.

Basata su questo nuovo approccio, l'attuale classificazione sismica del territorio deriva dai successivi disposti normativi emanati a livello nazionale e regionale (*cfr*. Cap. 14.1), mentre le procedure per la definizione del ruolo dell'azione sismica sono inquadrate nelle nuove «Norme tecniche per le costruzioni» (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», con la relativa Circolare 21/02/2019 n.

7, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"). A seguito della definitiva entrata in vigore delle NTC (D.M. 14/01/2008), la Regione Liguria provvedeva all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio e al recepimento delle procedure di elaborazione prescritte con le nuove NTC, con l'emanazione della Delibera Giunta Regionale n. 1362 del 19/011/2010 (*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*); tale aggiornamento è stato opportunamente integrato nel 2017 (G.R. n. 216 del 17 marzo 2017 – O.P.C.M. 3519/2006. *Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*).

L'intervento ricade in parte nel territorio comunale di ***Cairo Montenotte*** inserito, sulla base dei "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone*", in entrambi gli aggiornamenti della classificazione del territorio regionale nella ***Zona 4*** (aree con pericolosità sismica molto bassa) e in parte nel territorio comunale di ***Altare*** che, diversamente, ricade nella ***Zona 3*** (aree con pericolosità sismica bassa) (Fig. 43).

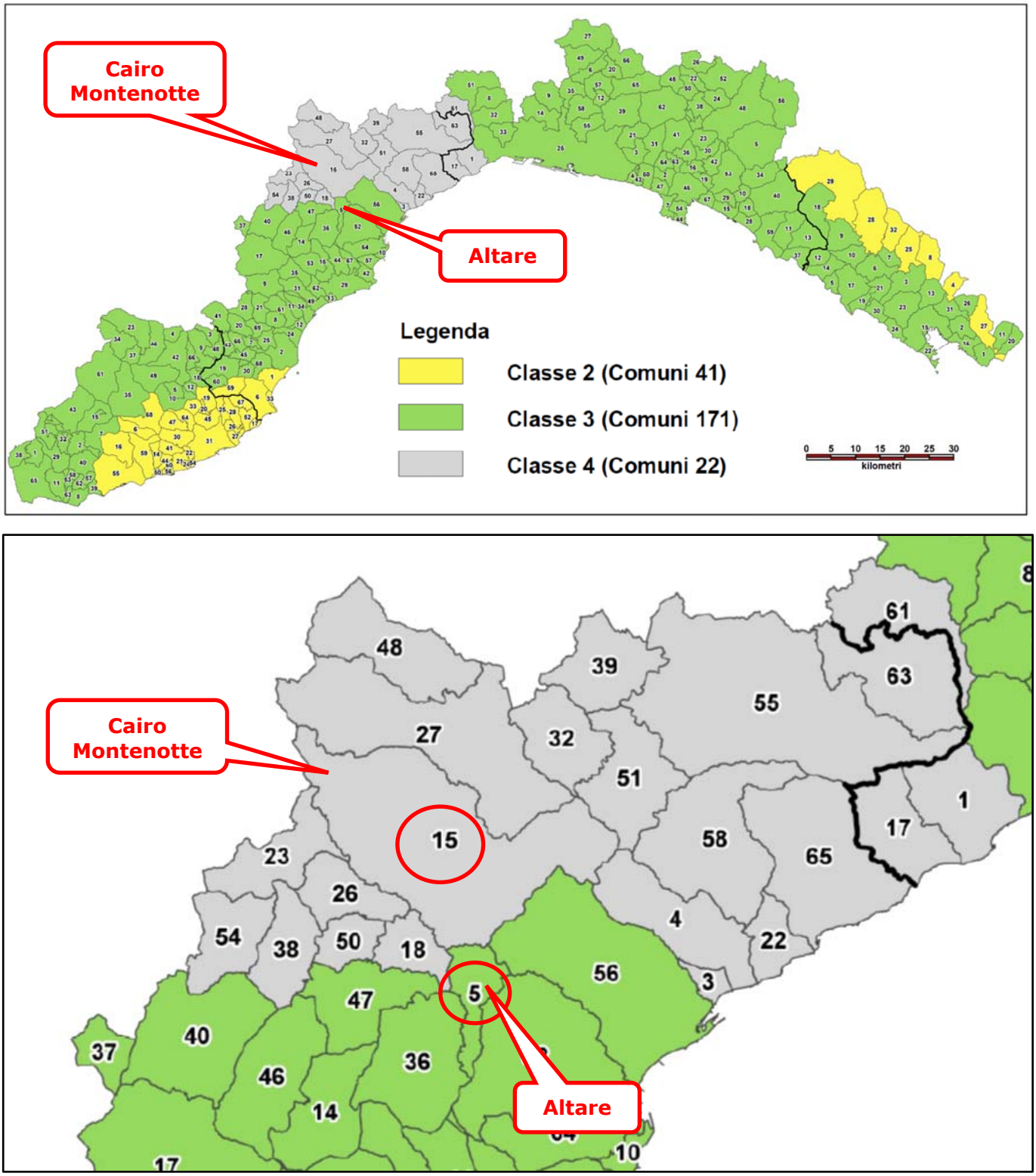


Fig. 43 – Mappa della classificazione sismica della Regione Liguria

ZONA 4 Pga = 0,05 g			
n° progress.	nr. ID del Comune su mappa	Provincia	Comune
6	15	SAVONA	CAIRO MONTENOTTE

ZONA 3 Pga = 0,15 g			
n° progress.	nr. ID del Comune su mappa	Provincia	Comune
128	5	SAVONA	ALTARE

L'entrata in vigore delle nuove NTC comporta anche una sostanziale innovazione nelle modalità della stima della pericolosità sismica, definita non più mediante un criterio "zona dipendente", ma attraverso un approccio "sito dipendente". Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende quindi necessario valutare a livello puntuale, in funzione della precisa localizzazione del sito, la possibile sollecitazione sismica unitamente agli effetti della risposta sismica locale per mezzo di specifiche analisi sull'assetto del volume di sottosuolo significativo e la caratterizzazione sismica dei terreni presenti.

8.2 Normativa di riferimento

La progettazione geologica e geotecnica delle opere è stata eseguita secondo i nuovi criteri in materia di Classificazione sismica del territorio, Norme tecniche per le costruzioni, Realizzazione di opere in aree sismiche, espressi con la recente normativa incentrata sui principali riferimenti di seguito indicati:

- O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e Documenti allegati, con le s.m.i.;
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - DM 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, con la relativa Circolare 21/02/2019 n. 7, C.S.LL.PP. - *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"*
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 16 maggio 2003, n. 530, "*Individuazione formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dei comuni della Regione Liguria*", in ottemperanza al disposto di cui all'O.P.C.M. n. 3274/2003;
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 24 ottobre 2008, n. 1308, "*O.P.C.M. n. 3519/2006 Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*";
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 19 novembre 2010, n. 1362, "*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".*
- Regione Liguria, G.R. n. 216 del 17 marzo 2017 – O.P.C.M. 3519/2006, *Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*.

La significativa revisione nelle procedure conseguente all'adeguamento delle Normative allo stato dell'arte tecnico-scientifico ha comportato, tra l'altro un sostanziale mutamento dello sviluppo progettuale nei confronti della sismicità.

Dall'approccio di tipo esclusivamente "zonale", basato sulla suddivisione del territorio in categorie con diverso grado di sismicità, definite in modo pressoché empirico (classificazione antecedente al 2003), si è passati ad una metodologia sito-specifica che, partendo dal valore di accelerazione massima al suolo definita su base probabilistica tiene in debita considerazione l'assetto litologico-stratigrafico, i possibili effetti di amplificazione dovuti alla natura del sottosuolo, agli effetti di sito, alla tipologia e funzione delle opere da realizzare.

8.3 Inquadramento sismo-tettonico

Svolgendo un'analisi a vasta scala, nell'ambito dell'Italia Nord-occidentale è possibile riconoscere una serie di grandi aree tettonicamente e sismicamente attive, dalle caratteristiche sufficientemente distintive. Una loro zonazione di massima può essere condotta sulla base della distribuzione dell'attività sismica, dei fuochi sismici e dei lineamenti geostrutturali.

Procedendo da Ovest verso Est, si riconoscono (Eva *et alii*, 1992) i seguenti domini tettonico-strutturali:

- il Vallese – Valle del Rodano;
- la fascia del Brianzonese Occidentale;
- la fascia del Canavese;
- la zona pennidica (comprendente il Pinerolese e il massiccio del Dora-Maira);
- le Alpi Marittime francesi (fascia di dislocazioni che interessano la parte meridionale dell'Argentera sino al Mar Ligure);
- il Mar Ligure Occidentale;
- la Liguria Occidentale;
- la fascia del Monferrato e l'Astigiano Meridionale;
- la fascia dell'Appennino Nord-Occidentale (zona di contatto fra l'Appennino emerso e la Pianura Padana);
- l'Appennino interno (zona Garfagnana – Lunigiana);
- l'Appennino esterno (zona del Parmense – Reggiano).

Ai fini della valutazione della pericolosità sismica del territorio di Cairo Montenotte e di Altare, nessuna di queste zone presenta un potenziale sismico particolarmente significativo; la sismicità del settore ligure-piemontese è infatti caratterizzata da eventi di *magnitudo* moderata e non particolarmente frequenti. L'area in esame, in particolare, si localizza in prossimità del limite tra i domini strutturali delle Alpi Liguri e dell'Appennino settentrionale (Fig. 44).

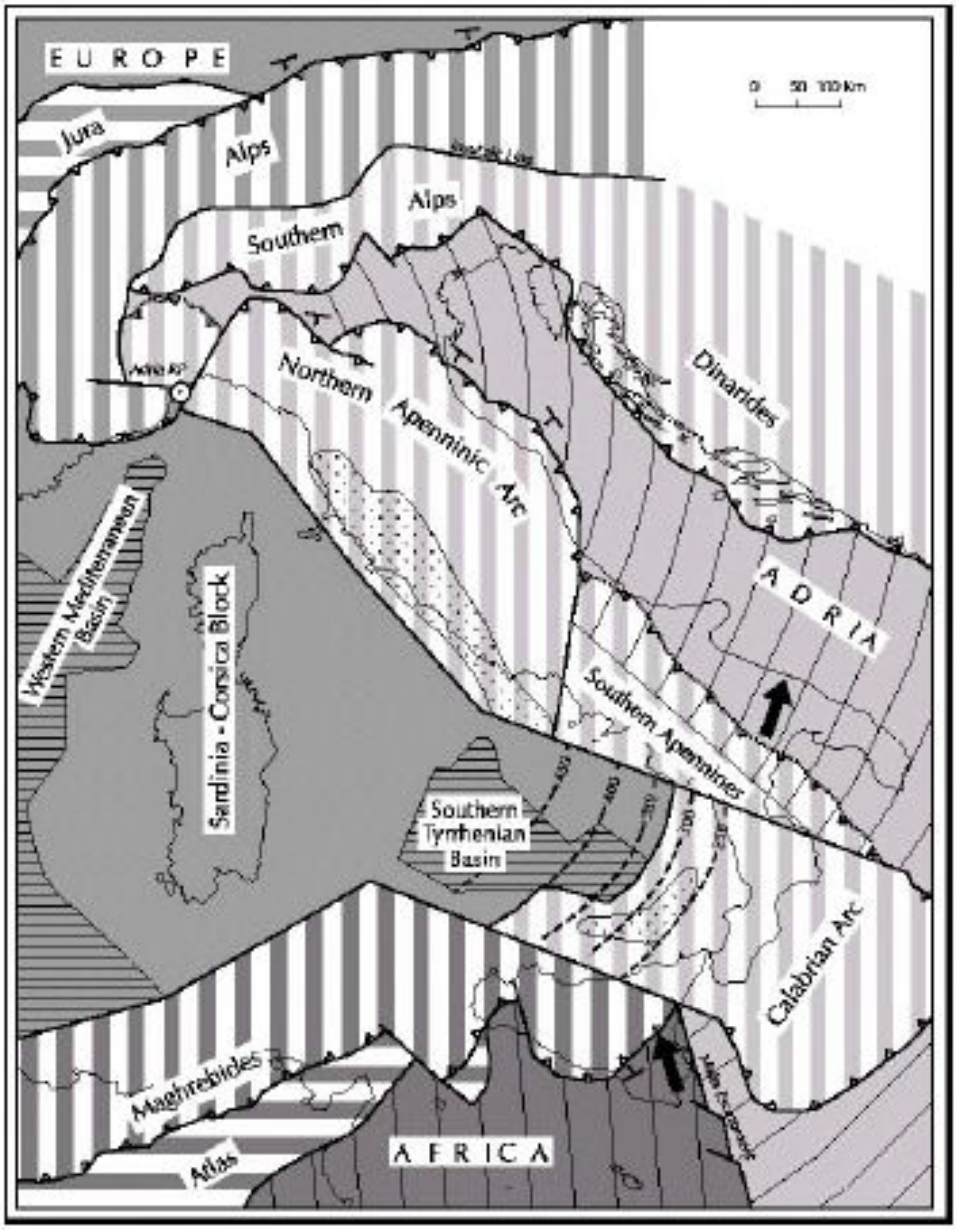


Fig. 44 – Inquadramento tettonico-strutturale del territorio italiano ai fini della Zonazione sismogenetica della Penisola italiana tratto dalla Zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone & Stucchi, 2000).

La sua storia evolutiva recente, responsabile dell'assetto tettonico, della distribuzione spaziale e delle caratteristiche delle zone sismogenetiche, è connessa all'apertura del bacino tirrenico ed alle fasi di strutturazione del settore settentrionale della catena appenninica.

Tali processi hanno portato, dapprima alla formazione del Bacino Terziario Piemontese (nel corso dell'Oligo-Miocene), quindi all'emersione ed al basculamento verso nord dell'intera area nel corso del Pliocene-Quaternario. A quest'ultima fase di sollevamento ha corrisposto anche il progressivo avanzamento verso nord della deformazione Appenninica, oggi riconoscibile nelle strutture frontali dell'arco del Monferrato parzialmente sepolte sotto la Pianura Padana.

Alla fase di tettonica compressiva dovuta all'avanzata della catena appenninica è seguita una fase distensiva, caratterizzata dallo sviluppo di faglie normali che attualmente, insieme alle

strutture di trasferimento legate all'interazione tra i due domini strutturali Alpini ed Appenninici, costituiscono le zone di accumulo della deformazione tettonica.

Sulla base dei dati di sismicità storica e recente le zone di maggiore attività sismica sembrerebbero trovarsi in corrispondenza della terminazione dell'arco alpino, dove si individua un allineamento delle zone epicentrali, disposto con andamento NO-SE, che si estende dalla costa sino al limite meridionale del Massiccio dell'Argentera (Alpi Marittime, Cuneo).

Nei settori a mare, la sismicità appare concentrarsi nella parte centrale del Mar Ligure ed in prossimità della scarpata continentale.

L'arco delle Alpi Occidentali, nella sua terminazione meridionale (Alpi Marittime e Mar Ligure), è caratterizzato da un'attività sismica ben documentata. Le strutture potenzialmente in grado di generare eventi di *magnitudo* moderata sono limitate, per quanto riguarda specificatamente l'area di interesse, alla linea Saorge-Taggia e al complesso di faglie sottomarine presenti all'interno del Mar Ligure.

L'attività delle Alpi Marittime tende ad aumentare spostandosi da Genova verso Ovest, raggiungendo i suoi massimi valori nelle zone dell'Imperiese e del Nizzardo. Di particolare rilevanza appare la linea Saorge-Taggia che si è dimostrata costantemente attiva ed è costituita da un complesso fascio di faglie a trascorrenza destra, con orientazione NO-SE; si estende dal Mar Ligure sino ad intersecare, verso Nord, la faglia Breil-Sospel-Monaco, con trascorrenza sinistra, considerata lo svincolo orientale dell'arco di Nizza.

La sismicità storica dell'area tende a concentrarsi nella parte meridionale della linea Saorge-Taggia in prossimità del Mar Ligure. I valori di intensità sono ridotti nella parte centrale e tendono ad aumentare nella parte più a Sud, gli ipocentri sono generalmente molto superficiali (Giammarino *et alii*, 2010).

Il Mar Ligure appare nettamente diviso in due settori, quello orientale quasi completamente asismico, e la porzione occidentale in cui si localizzano i principali terremoti che hanno interessato

l'Italia Nord-Occidentale. Le caratteristiche morfologiche e morfotettoniche del bacino e del suo margine continentale sono state studiate tramite rilievi sismici eseguiti durante campagne oceanografiche italiane e francesi. I profili sismici mettono in evidenza che il sistema di faglie più significativo è quello legato al piede del margine continentale; in questa zona, gli ipocentri dei terremoti raggiungono i 15 ÷ 20 km di profondità (Eva *et alii,* 1999).

8.4 Sismicità attuale e storica di Cairo Montenotte e Altare

La sismicità attuale della Liguria mostra, sulla base dei dati rilevati nel periodo 1981-2006 della rete sismica regionale (Eva *et alii*, 1992, Barani *et alii*, 2007; pagina *web http://www.dipteris.unige.it/geofisica/*; INGV - Catalogo sismico strumentale), magnitudo comprese tra 1,5 e 5,0 Ml. Le localizzazioni indicano una maggiore superficialità degli eventi in terra (mediamente h < 7 km), mentre mostrano degli approfondimenti sino a 15 ÷ 20 km in prossimità del margine continentale (Cattaneo *et alii*, 1999).

La sismicità storica di questa area è pressoché coerente con i dati strumentali. I cataloghi storici (Postpischl, 1985; Boschi *et alii*, 2000; CPTI15-v3, Rovida *et alii*, 2021), mostrano che i principali eventi risentiti sulla costa ligure sono legati a terremoti marini, spesso di incerta localizzazione, mentre gli eventi localizzati a terra sono molto limitati e distribuiti lungo la fascia costiera.

Per la verifica completa della sismicità attesa è stato esaminato un ampio settore dell'Italia nord-occidentale, in modo da poter rilevare gli eventi connessi a tutte le strutture geologiche potenzialmente sismogenetiche. Il territorio coperto dall'analisi comprende l'intero Piemonte centro-meridionale a partire dalla Provincia di Torino, l'Arco alpino occidentale, la costa ligure, l'Appennino ligure-emiliano e il confine piemontese-lombardo.

Per la verifica completa della sismicità attesa è stato esaminato un ampio settore dell'Italia nordoccidentale, in modo da poter rilevare gli eventi connessi a tutte le strutture geologiche potenzialmente sismogenetiche. Il territorio coperto dall'analisi comprende l'intero Piemonte centro-meridionale a partire dalla Provincia di Torino, l'Arco alpino occidentale, la costa ligure, l'Appennino ligure-emiliano e il confine piemontese-lombardo.

Il quadro ottenuto è illustrato nella tabella seguente, che riassume i dati relativi ai terremoti storici di maggiore rilevanza in relazione alle principali strutture potenzialmente sismogenetiche.

Data	**Epicentro**	**Intensità epicentrale** (scala MCS)	**Mw**	**Distanza dall'area di progetto** (km)	**Risentimento documentato a Cairo M.** (I MCS)
22/10/1541	Valle Scrivia	VIII	5,26	65	
20/07/1564	Alpi Marittime	VIII - IX	5,80	90	
15/02/1644	Alpi Marittime	VIII - IX	5,74	90	
02/04/1808	Valle del Pellice	VIII	5,64	95	
23/02/1818	Liguria occidentale	VII - VIII	5,32	55	
08/01/1819	Liguria occidentale	VII - VIII	4,86	40	
09/10/1828	Valle dello Staffora	VII - VIII	5,72	70	
26/05/1831	Liguria occidentale	VIII	5,56	70	
29/12/1854	Liguria occidentale	VII - VIII	5,72	85	
23/02/1887	Liguria occidentale	IX	6,27	55	VI
26/10/1914	Tavernette	VII	5,24	105	

Principali terremoti storici e strumentali (intensità epicentrale > VII MCS) rilevati nell'area compresa tra il Piemonte centro-meridionale, la Liguria, il margine ligure-emiliano (Fonte: CPTI15; Rovida et al., 2021). Tutti gli eventi individuati, verificatisi nel corso degli ultimi 5 secoli e rappresentativi delle magnitudo attese, si localizzano a distanze comprese tra 40 e 105 km. La stessa area epicentrale del maggiore evento noto (Febbraio 1887) è posta a 55 km di distanza.

Note:

- Intensità espresse secondo la scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg).
- Mw = *magnitudo* relativa ai terremoti storici stimata attraverso correlazioni intensità/*magnitudo* elaborate per il territorio italiano.

Il **Database Macrosismico Italiano** permette di visionare la storia sismica delle località italiane. La versione ***DBMI15*** è stato realizzato nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.

La versione 2015 del Database Macrosismico Italiano (DBMI15), è consultabile liberamente all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15. L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15*.

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 v4.0, è stata rilasciata nel 2022 e aggiorna e sostituisce le precedenti. DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

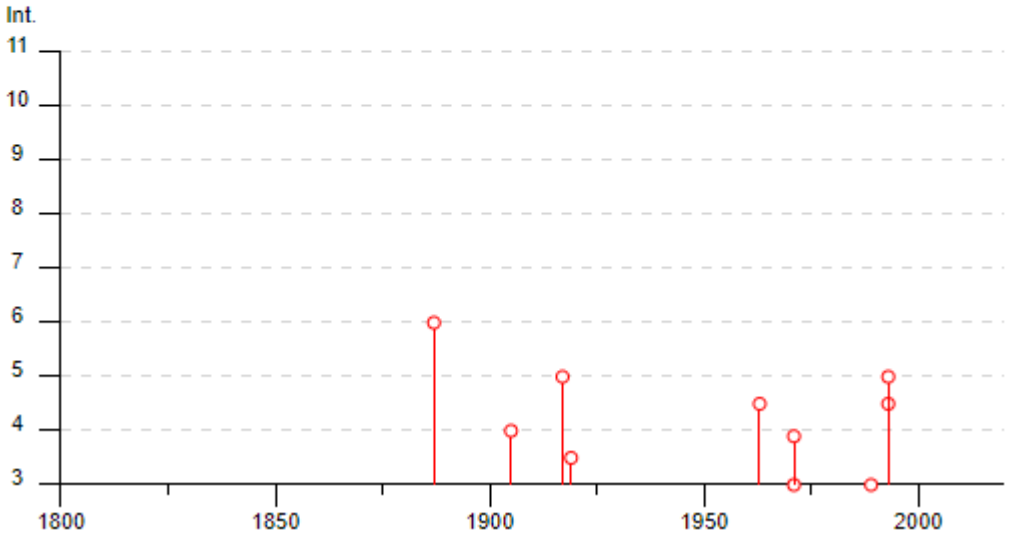
I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI).

L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. DBMI15 contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti.

Le storie sismiche dei Comuni di ***Cairo Montenotte*** e di ***Altare*** in Provincia di Savona sono riportate nelle pagine che seguono (Figg. 45-46).

Cairo Montenotte

PlaceID	IT_32517
Coordinate (lat, lon)	44.399, 8.275
Comune (ISTAT 2015)	Cairo Montenotte
Provincia	Savona
Regione	Liguria
Numero di eventi riportati	17

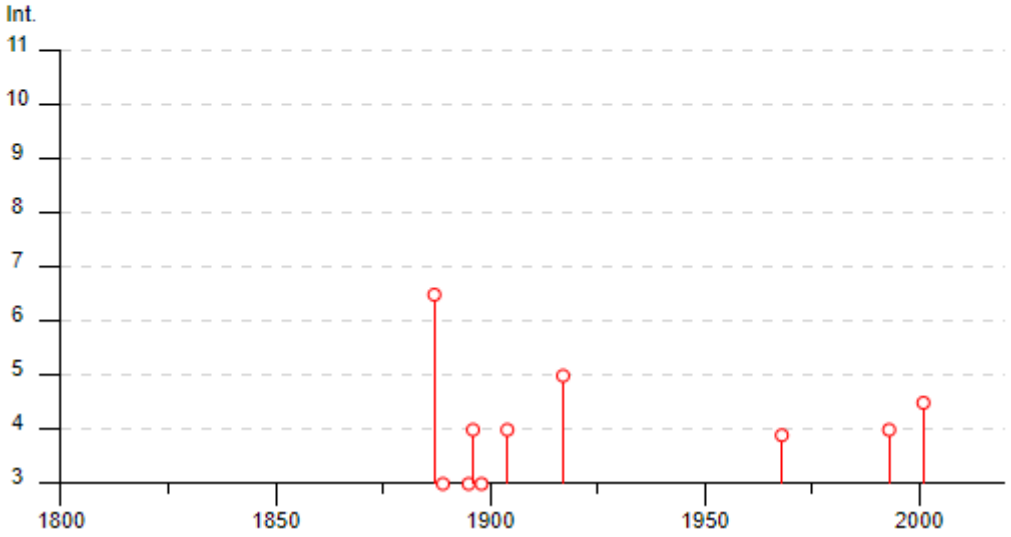


Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
2	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	1905	05	30	04	55		Cuneese	121	5-6	4.65
NF	1909	05	27	06	10		Liguria occidentale	51	5-6	4.34
NF	1913	03	27	02	25	4	Val Trebbia	58	4-5	4.24
NF	1913	12	07	01	28		Valle Scrivia	56	5	4.57
5	1917	01	07	03	39		Savonese	32	5	4.35
3-4	1919	11	28	21	38		Alpi Marittime	24	5-6	4.92
4-5	1963	07	19	05	46	0	Mar Ligure	412		5.95
3	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
F	1971	09	25	10	34	0	Mar Ligure	31	5-6	4.33
2-3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
3	1989	12	26	19	59	5	Mar Ligure	290		4.46
4-5	1993	07	17	05	46	0	Liguria occidentale	4	5	3.88
5	1993	07	17	10	34	5	Liguria occidentale	336	5	4.34
2	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94

Fig. 45 – Storia sismica del Comune di Cairo Montenotte (SV)

Altare

PlaceID	IT_32463
Coordinate (lat, lon)	44.336, 8.339
Comune (ISTAT 2015)	Altare
Provincia	Savona
Regione	Liguria
Numero di eventi riportati	14



Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1889	03	08	02	57	0	Bolognese	38	5	4.53
3	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
4	1896	10	16				Liguria occidentale	55	6	4.91
NF	1897	07	06	20	44		Mar Ligure	62	5	4.22
3	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	1904	01	16	16	28	3	Campo Ligure	16	4	4.01
5	1917	01	07	03	39		Savonese	32	5	4.35
2	1917	05	01	08	30		Liguria occidentale	9	4	3.75
F	1968	04	18	19	38	1	Liguria occidentale	51	7-8	4.93
2-3	1989	12	26	19	59	5	Mar Ligure	290		4.46
4	1993	07	17	10	34	5	Liguria occidentale	336	5	4.34
NF	1996	11	25	19	47	2	Liguria occidentale	18		4.01
4-5	2001	02	06	22	28	4	Mar Ligure	47	4-5	4.17

Fig. 46 – Storia sismica del Comune di Altare (SV)

dove:

Int. = Intensità al sito (scala MCS); *NMDP* = Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; *Io* = Intensità massima (scala MCS); *Mw* = Magnitudo momento

Il principale evento è rappresentato dal sisma del 23 Febbraio 1887, che può essere ritenuto rappresentativo del massimo evento attendibile per l'area (Mw = 6,27; Catalogo parametrico CPTI15; Rovida *et alii*, 2021). La sua localizzazione, per quanto affetta da margini di incertezza data la limitata rete di registrazione strumentale dell'epoca, è da collocare nei pressi di Bussana (Sanremo) ad una distanza di 55 km da Cairo Montenotte. Il sisma, con ipocentro in mare, ebbe un'intensità massima valutata nel X grado della scala MCS osservata a Diano Castello, e causò la distruzione di interi paesi nell'area epicentrale. Risentimenti al suolo significativi furono registrati sul litorale sino all'altezza di Vado. Come si rilevò già subito dopo l'evento, nonostante la *magnitudo* significativa raggiunta dal sisma, gli effetti sull'ambiente e sul tessuto urbanistico si concentrarono lungo una fascia relativamente estesa nella lunghezza, ma di ampiezza ridotta, localizzata in corrispondenza della costa. Nelle zone interne, al contrario, già a distanze limitate non si rilevarono distruzioni significative o effetti rilevanti sul territorio.

Un altro evento storico di notevole importanza risulta essere il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 (Mw = 5,80), associato al tratto terminale della linea Saorge-Taggia, ma posto a distanza ancora maggiore dall'area di Cairo Montenotte (oltre 100 km).

Facendo riferimento ai terremoti di magnitudo medio-alta, di maggiore rilevanza per gli effetti ambientali e le opere antropiche, e per i quali è possibile disporre di analisi di migliore affidabilità anche per gli eventi storici, l'indagine consente di individuare per gli ultimi 5 secoli, una serie di eventi significativi (con Mw 4,9 ÷ 6,3).

In tutti i casi si tratta di sismi localizzati ai margini dell'areale vasto considerato, riferibili a strutture geologiche diverse dal settore di Cairo Montenotte e Altare, con aree epicentrali poste a distanze considerevoli (40 ÷ 100 km) e per i quali non si hanno notizie di risentimenti diretti e significativi nell'area di interesse. La correlazione spaziale tra le principali strutture potenzialmente sismogenetiche e la localizzazione dei terremoti storici più significativi è illustrata nella Fig. 47.

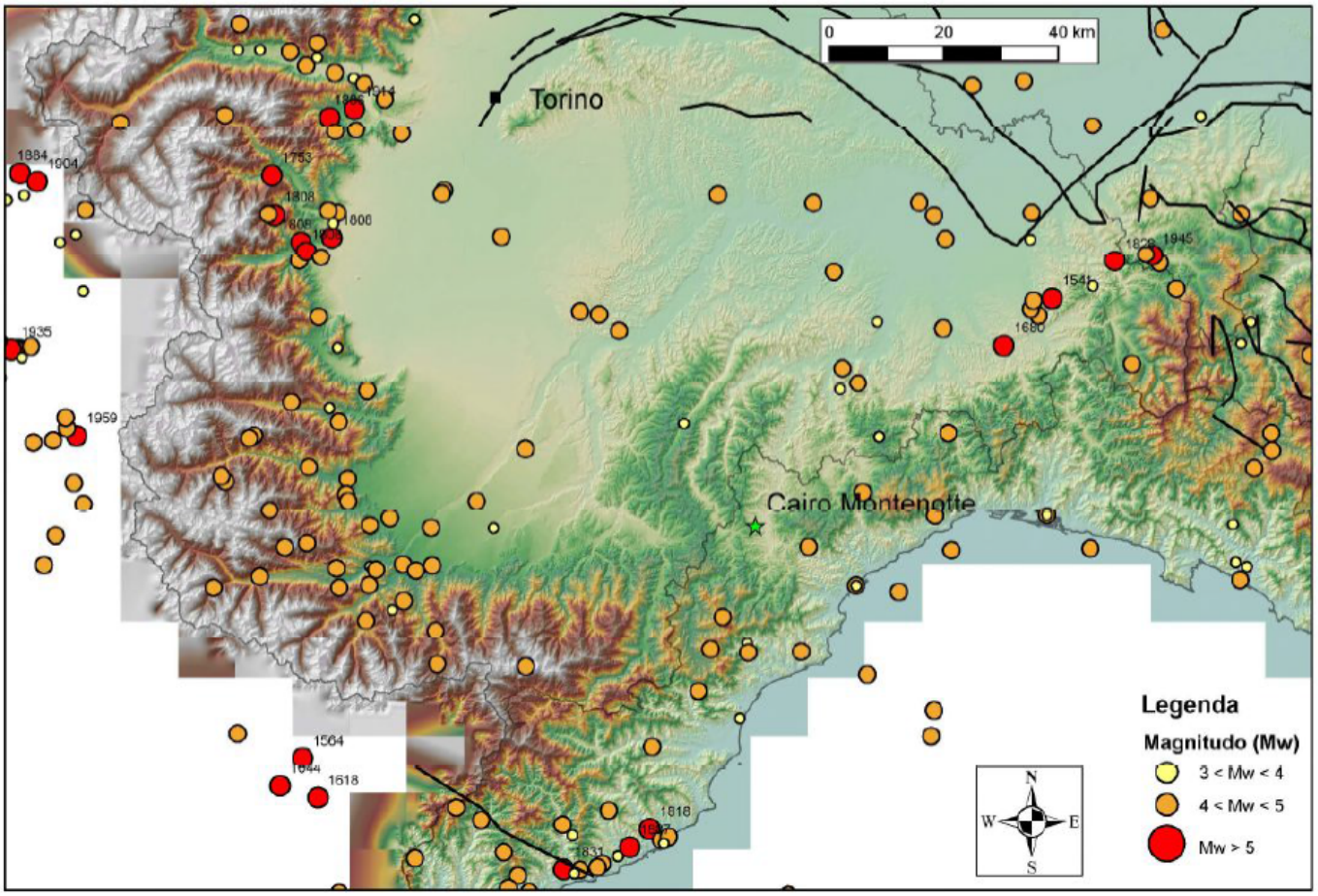


Fig. 47 – Sismicità storica relativa all'intervallo temporale 1500 – 1950 e localizzazione delle strutture potenzialmente sismogenetiche (linee nere) nell'areale vasto esaminato (Fonti: Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15; ITHACA, 2019, Catalogo delle faglie capaci). Nell'intorno di Cairo Montenotte non è presente alcuna struttura sismogenetica e/o faglia attiva. I terremoti di maggiore rilevanza si localizzano sempre a distanze nell'ordine di 40 ÷ 100 km almeno, in domini strutturali diversi da quello in esame. Per gli eventi maggiori associati alla terminazione delle Alpi Marittime e al margine costiero occidentale, inoltre, la collocazione e l'assetto strutturale delle strutture sismogenetiche comporta una distribuzione del risentimento sismico che non coinvolge significativamente la Valle Bormida.

8.5 Zonazione sismogenetica

Per la definizione in termini ingegneristici della pericolosità sismica di un territorio, gli elementi relativi alla sismicità e al suo assetto geologico-strutturale riconosciuti, devono essere inseriti in un modello interpretativo che consenta di definire le zone sismotettoniche e le relative aree sismogenetiche. Per zona sismotettonica si intende un settore del territorio in cui, sia lo stile deformativo recente della crosta che la sismicità, presentino caratteri di omogeneità spaziale e temporale. Le aree sismogenetiche individuano i domini spaziali in cui la presenza di strutture tettoniche con evidenza di attività recente fa ritenere possibile il verificarsi di eventi sismici rilevanti in ambiti temporali di interesse per gli insediamenti e le attività antropiche.

Uno dei modelli sismotettonici di riferimento per la penisola italiana è quello elaborato dal GNDT (Gruppo Nazionale Difesa terremoti) e noto come Zonazione sismogenetica ZS4 (http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html). Secondo questa classificazione, il territorio ligure per la maggior parte risulta compreso in 4 zone (Fig. 48):

- *Zona 22: area di svincolo, della zona di interazione tra piastra adriatica ed europea; meccanismi di rottura attesi di tipo transpressivo o strike-slip;*
- *Zona 23: Liguria occidentale. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip e trans pressione;*
- *Zona 24: Mar Ligure. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip.*
- *Zona 25: area di svincolo legata al margine interno della piastra padano-adriatica-ionica in subduzione sotto la catena appenninica. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.*

Cairo Montenotte e Altare si localizzano al margine tra la Zona 25 e il settore privo di strutture sismogenetiche corrispondente all'area collinare del Piemonte meridionale. Con riferimento al suo territorio, le zone sismogenetiche di maggiore rilevanza sono riferibili alla terminazione delle Alpi Marittime (Zona 22) e al Settore occidentale del Mar Ligure (Zona 24).

L'attività delle strutture tettoniche presenti è in grado di determinare il rilascio di eventi sismici con *magnitudo* rilevante, come verificato anche storicamente. Per l'intorno significativo del sito, quale evento massimo atteso di riferimento può essere assunto il terremoto del 23/02/1887 (Intensità massima MCS = X, magnitudo stimata Mw = 6,27), la cui zona epicentrale si localizza a 55 km da Cairo. Questo terremoto, come pure gli eventi analoghi verificatisi nel Settore occidentale del Mar Ligure, evidenzia una configurazione fortemente asimmetrica del campo di maggiore risentimento che coinvolge fondamentalmente la fascia litoranea, attenuandosi invece rapidamente verso l'interno, tanto che a Cairo fu rilevata un'intensità macrosismica MCS = VI.

Per l'area di interesse si rileva, in generale, che disposizione, limitata profondità delle zone ipocentrali (generalmente <10 km per le aree emerse) e configurazione delle strutture sismogenetiche, determinano una rapida attenuazione delle sollecitazioni dinamiche connesse anche agli eventi attesi con maggiore magnitudo, che si localizzano comunque sempre a distanze maggiori ai 50 km, come verificato storicamente.

I territori di Cairo Montenotte e Altare, di conseguenza, sono caratterizzati da parametri di pericolosità sismica ridotti, che ne giustificano l'inserimento rispettivamente nella Zona 4 e nella Zona 3 (aree a bassa sismicità), ovvero tra le zone a più bassa pericolosità sismica del territorio nazionale.

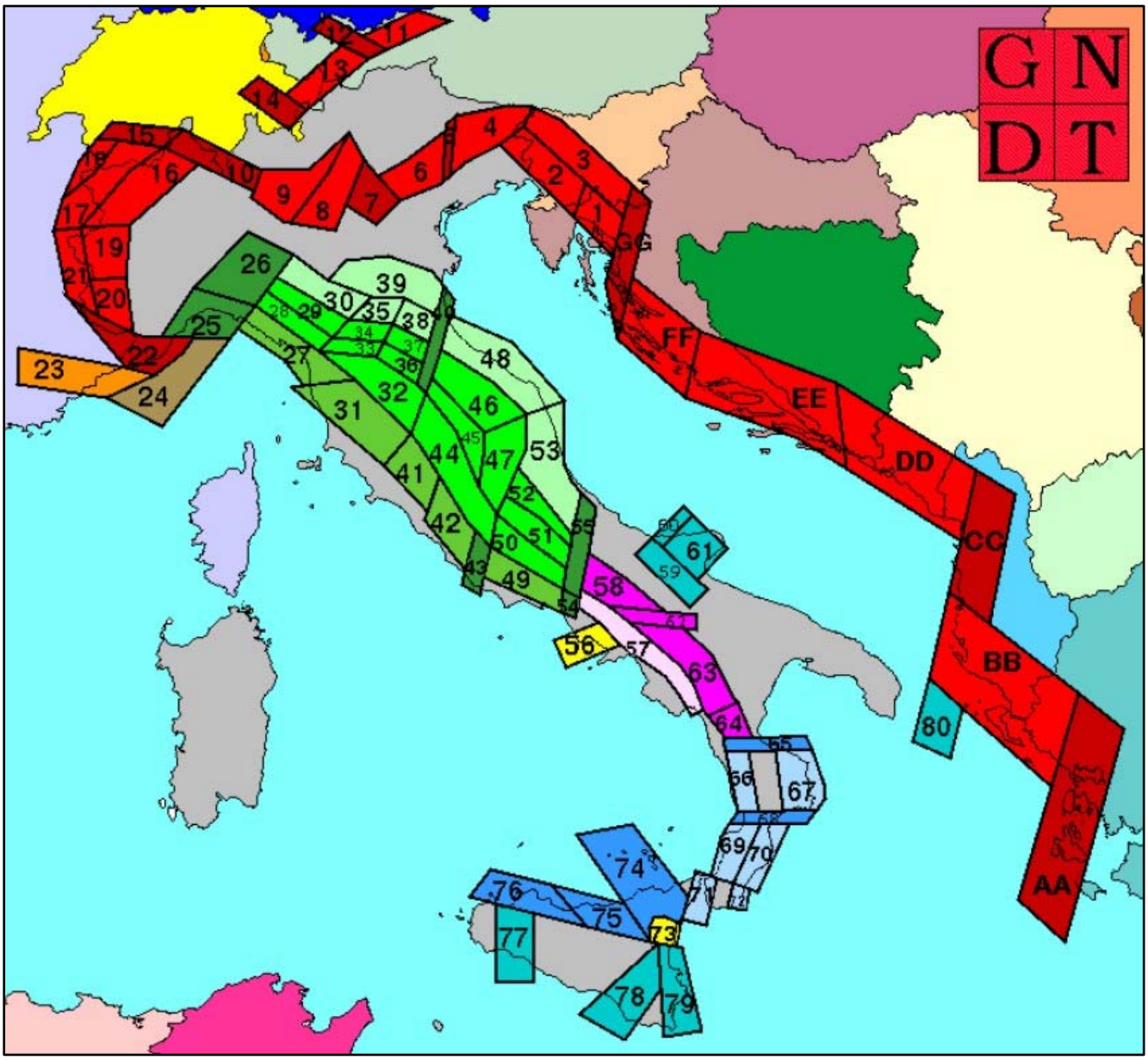


Fig. 48 – Zonazione sismogenetica ZS4 del territorio nazionale ed aree limitrofe ai fini della definizione della pericolosità sismica. (Fonte: http://emidius.mi.ingv.it/ GNDT/ZONE/ zone_sismo.html. Il territorio ligure ricade in gran parte nelle Zone 22, 23, 24 e 25.

8.6 Pericolosità sismica

Con l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 è cambiato il livello energetico attribuito alle classi sismiche, per cui la "**Pericolosità Sismica**", espressa come intensità sismica in termini di accelerazione al suolo (*ag/g*), mette in luce nuovi valori di riferimento, notevolmente superiori rispetto a quelli precedentemente vigenti.

Di seguito è evidenziata la variazione di intensità sismica in termini di *ag/g*, a parità di classe sismica a scala nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2001; 2004). La Regione Campania ha anticipato l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 con la classificazione del territorio attuata dalla DGRC 5447/02 (Tab. 3).

Variazione di intensità sismica in termini di ag/g

Classificazione Sismica (O.P.C.M. 3274/03)	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ag/g	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) ag/g	Classificazione Sismica (D.M. 19/01/96)	Coefficiente Sismico (S)
1	>0,25	0,35	1	0,1
2	0,15 – 0,25	0,25	2	0,09
3	0,05 – 0,15	0,15	3	0,06
4	<0,05	0,05	4	0

Lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese su base probabilistica è la pericolosità sismica. Le carte di pericolosità si basano quindi sui parametri di scuotimento maggiormente significativi ai fini ingegneristici, quali le intensità macrosismiche ed il picco di accelerazione massima attese ottenute sulla base della storia sismica documentata per il sito.

A livello di inquadramento, i dati di riferimento sono costituiti dalle elaborazioni delle Mappe di intensità macrosismica e di accelerazione massima di picco attese, elaborate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che i territori comunali di ***Cairo Montenotte*** (Fig. 49) e di ***Altare*** (Fig.50) rientrano nelle celle contraddistinte da valori di *ag* di riferimento compresi tra **0.050 e 0.075**, (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *ag*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

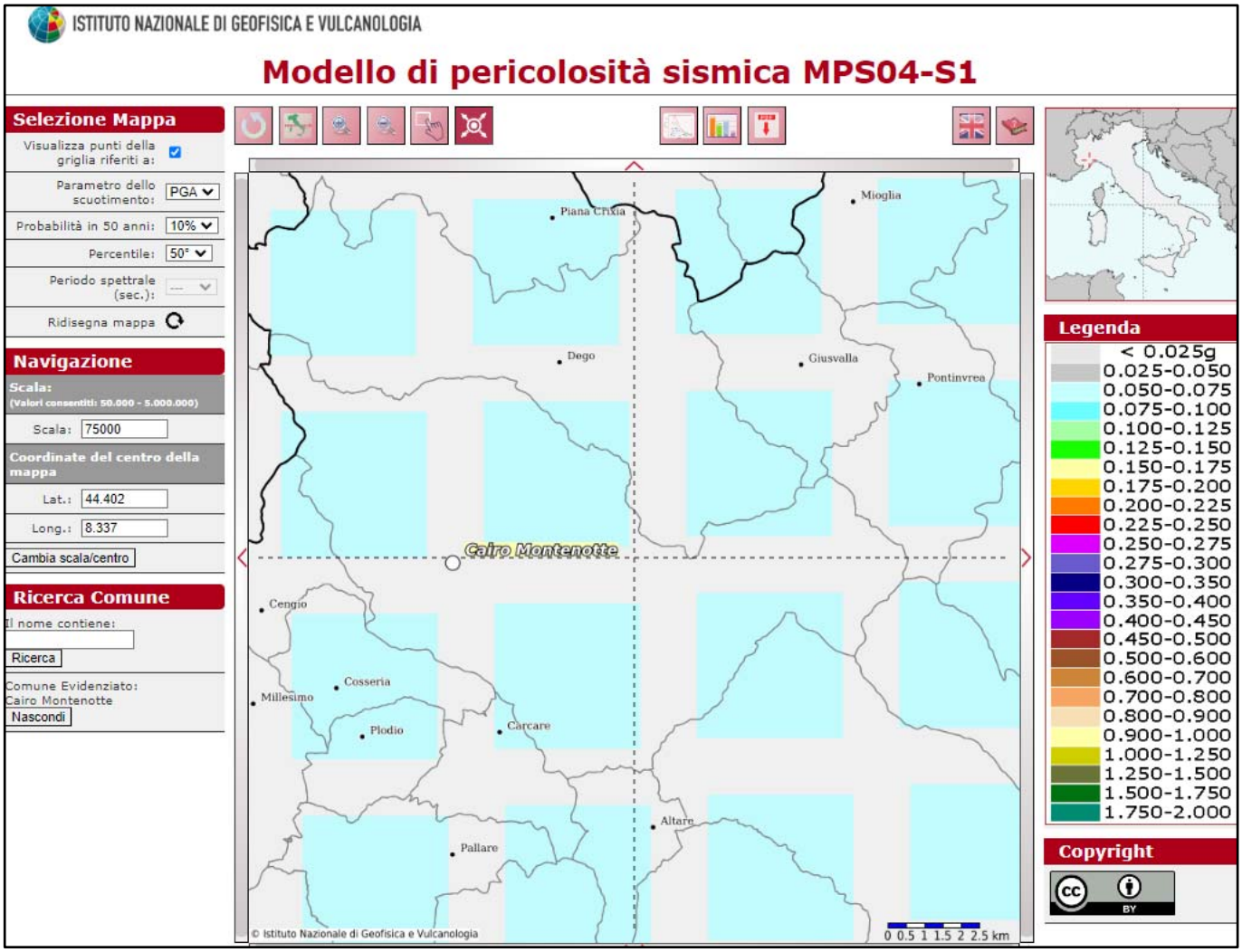


Fig. 49 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le N.T.C./2018. Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a(g); probabilità in 50 anni 10%; percentile 50. – Comune di Cairo Montenotte

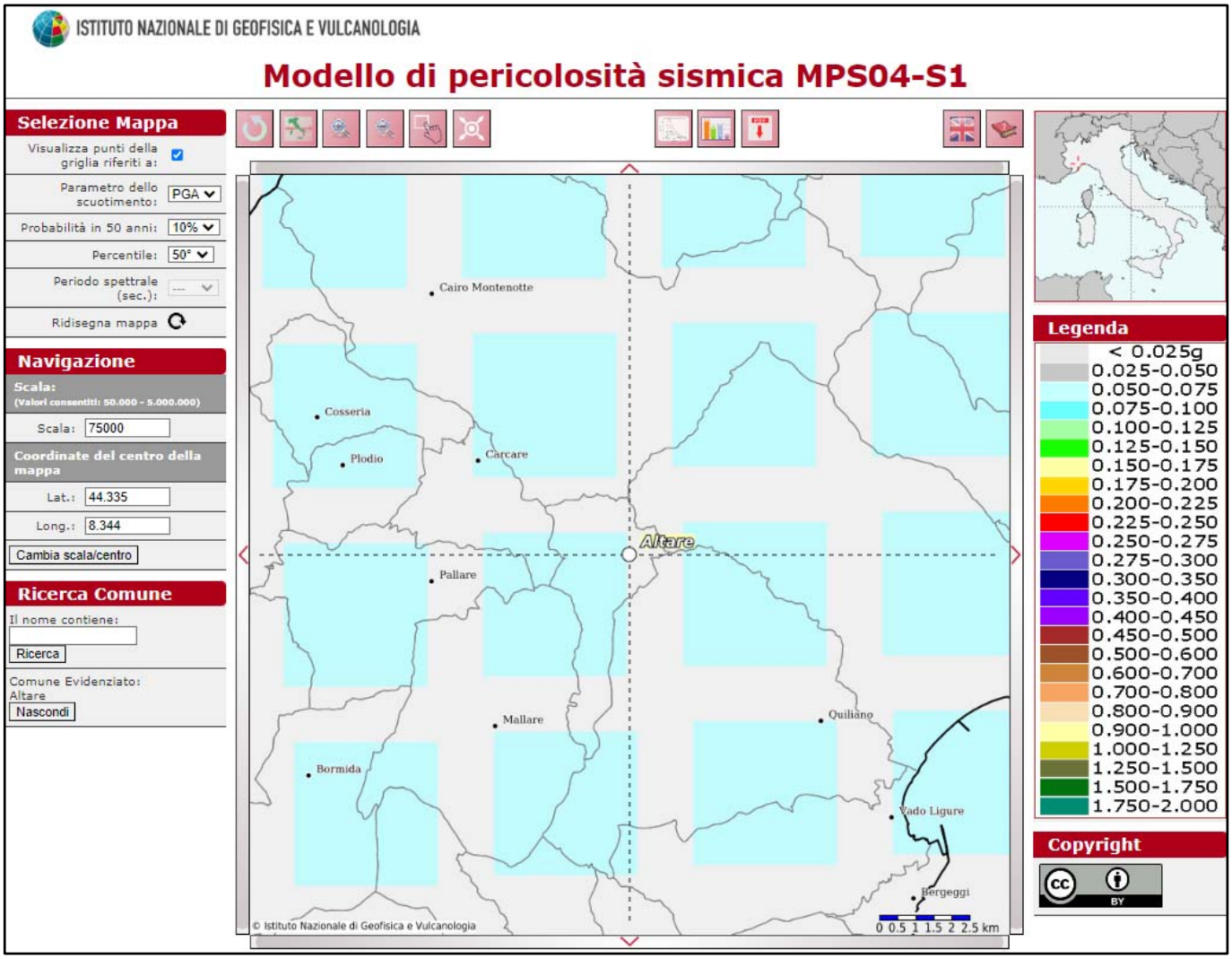


Fig. 50 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le N.T.C./2018. Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a(g); probabilità in 50 anni 10%; percentile 50. – Comune di Altare

9. Risposta sismica locale

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie.

Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti normi tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*.

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono, dunque, a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della *risposta sismica locale*, cioè l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno (coefficienti S_S e C_C);
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza (coefficiente S_T).

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati. In tal caso si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC.

9.1 Categoria di sottosuolo

Il D.M. 17 gennaio 2018, al *Capitolo 3.2.2* (*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*), prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde *S* nella copertura che dello spessore della stessa.

Esso propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli (*A, B, C, D, E* - Tabella 3.2.II), per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare, da individuare in relazione ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$).

Per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs, che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2 (Fig. 51).

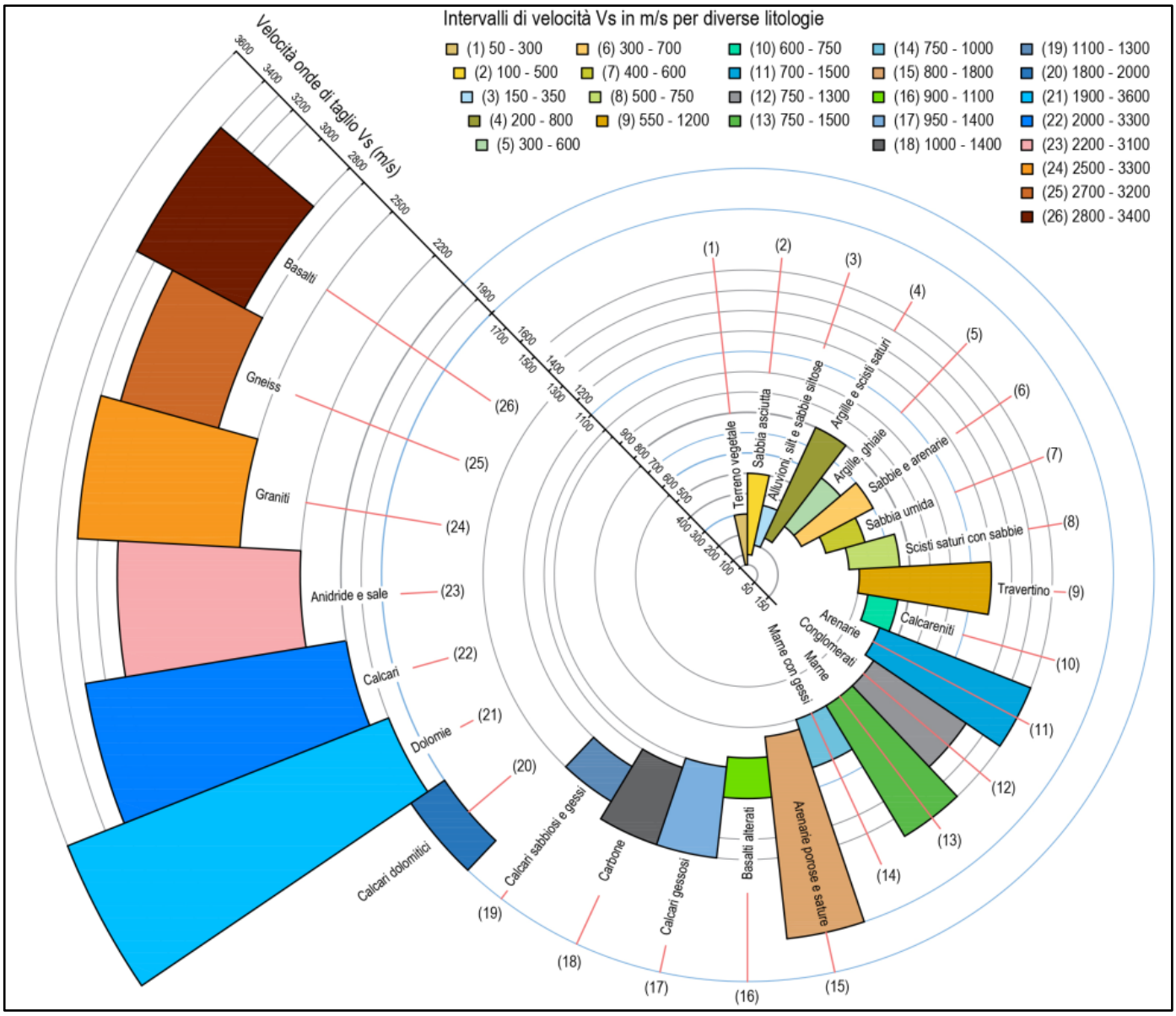


Fig. 51 – Intervalli tipici di velocità delle Vs per le diverse litologie

Tabella 3.2.II delle NTC – Categorie di sottosuolo

Classe	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \left(m/s\right)$$

con:

hi: spessore in metri dell'i-esimo strato di terreno;

$V_{S,i}$: velocità dell'onda di taglio media 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 V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità *H* del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (Fig. 52).

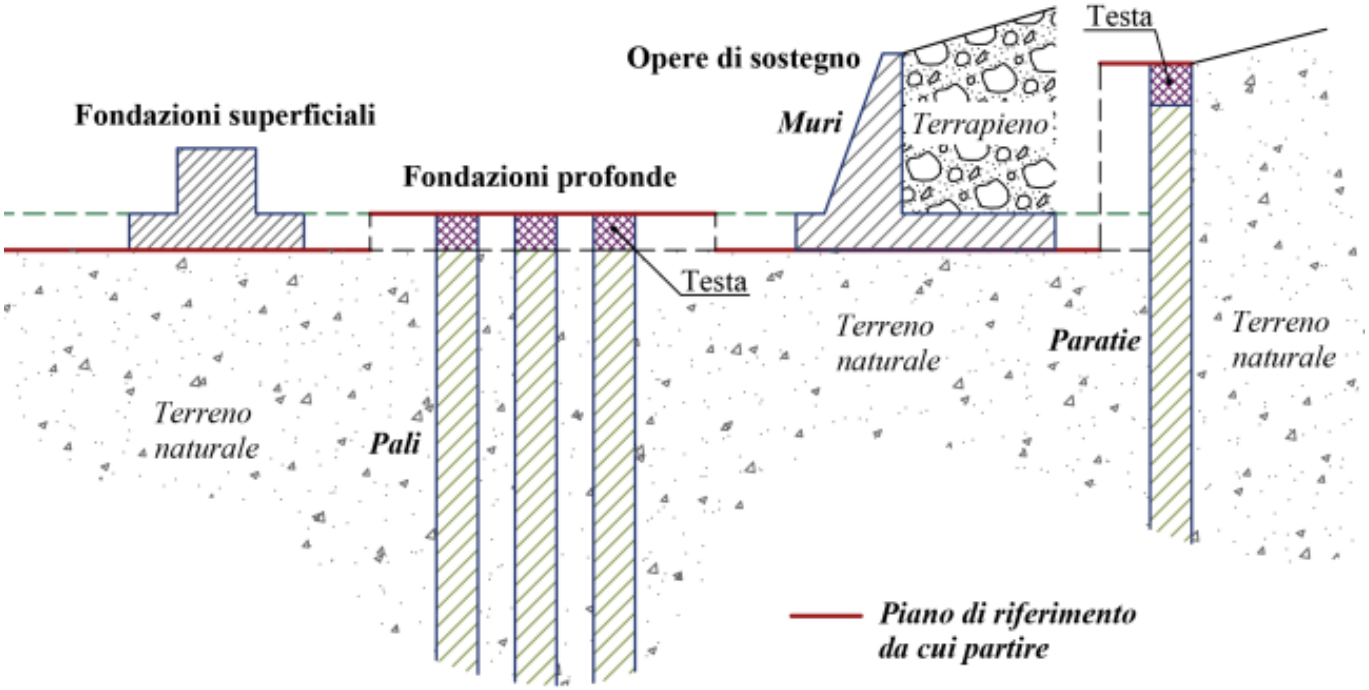


Fig. 52 – Piano di riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Di seguito sono riportate, secondo le indicazioni predisposte dalla normativa vigente, le operazioni di calcolo effettuate sulla base delle elaborazioni delle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite nelle aree esaminate e precisamente:

- *M.A.S.W. Mw1 (sito aerogeneratore V-6A)*: Comune di Altare (Fig. 53);
- *M.A.S.W. Mw2 (sito aerogeneratore V-D1)*: Comune di Altare (Fig. 54);
- *M.A.S.W. Mw3 (sito aerogeneratore V-7E)*: Comune di Altare (Fig. 55);
- *M.A.S.W. Mw4 (siti aerogeneratori V-2B e V-4C)*: Comune di Cairo Montenotte (Fig. 56);
- *M.A.S.W. Mw5 (sito aerogeneratore V-3B)*: Comune di Cairo Montenotte (Fig. 57).

La profondità del piano di fondazione per la determinazione della categoria di suolo è stata considerata corrispondente a quella del piano campagna attuale, ossia 0,00 m dal p.c.

Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw1

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V_S = velocità onde di taglio, H_{calc} e hi_{calc} sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	**H** (m)	**hi** (m)	**Vs** (m/s)	**H_{calc}** (m)	**hi_{calc}** (m)	**hi_{cal}/Vs** (s)
1	1,80	1,80	293,00	1,80	1,80	0,006143
2	3,90	2,10	310,00	3,90	2,10	0,006774
3	5,60	1,70	351,00	5,60	1,70	0,004843
4	9,10	3,50	426,00	9,10	3,50	0,008216
5	13,70	4,60	522,00	13,70	4,60	0,008812
6	18,90	5,20	603,00	18,90	5,20	0,008624
7	23,80	4,90	655,00	23,80	4,90	0,007481
8	30,00	6,20	702,00	30,00	6,20	0,008832

Vs,eq = **502,30** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

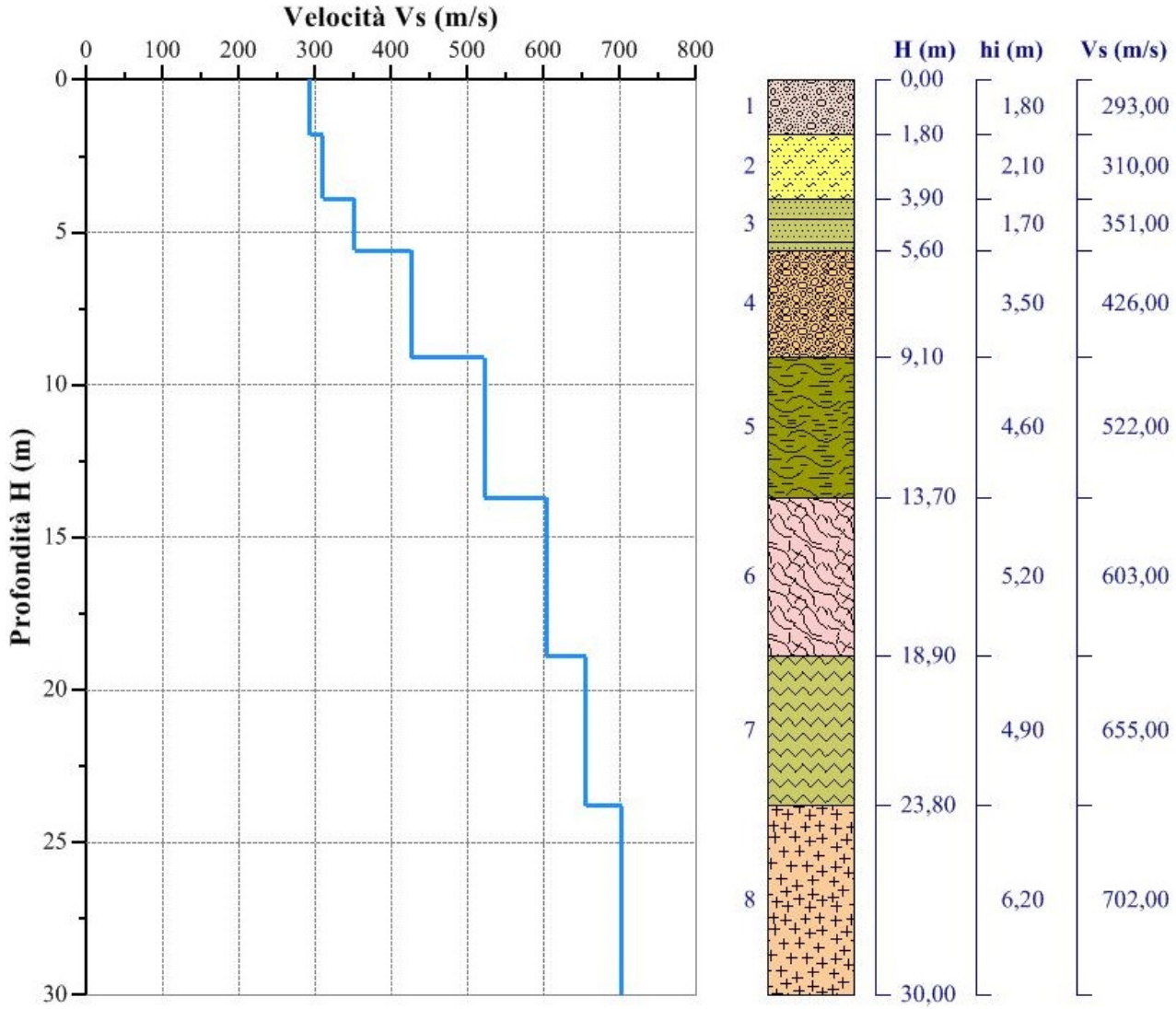


Fig. 53 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw1

Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw2

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V_S = velocità onde di taglio, H_{calc} e hi_{calc} sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	**H** (m)	**hi** (m)	**Vs** (m/s)	**H_{calc}** (m)	**hi_{calc}** (m)	**hi_{cal}/Vs** (s)
1	1,50	1,50	216,00	1,50	1,50	0,006944
2	2,90	1,40	292,00	2,90	1,40	0,004795
3	5,20	2,30	432,00	5,20	2,30	0,005324
4	9,60	4,40	599,00	9,60	4,40	0,007346
5	15,20	5,60	861,00	15,20	5,60	---
6	20,00	4,80	1.035,00	20,00	4,80	---
7	24,20	4,20	1.145,00	24,20	4,20	---
8	30,00	5,80	1.240,00	30,00	5,80	---

Vs,eq = **393,30** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

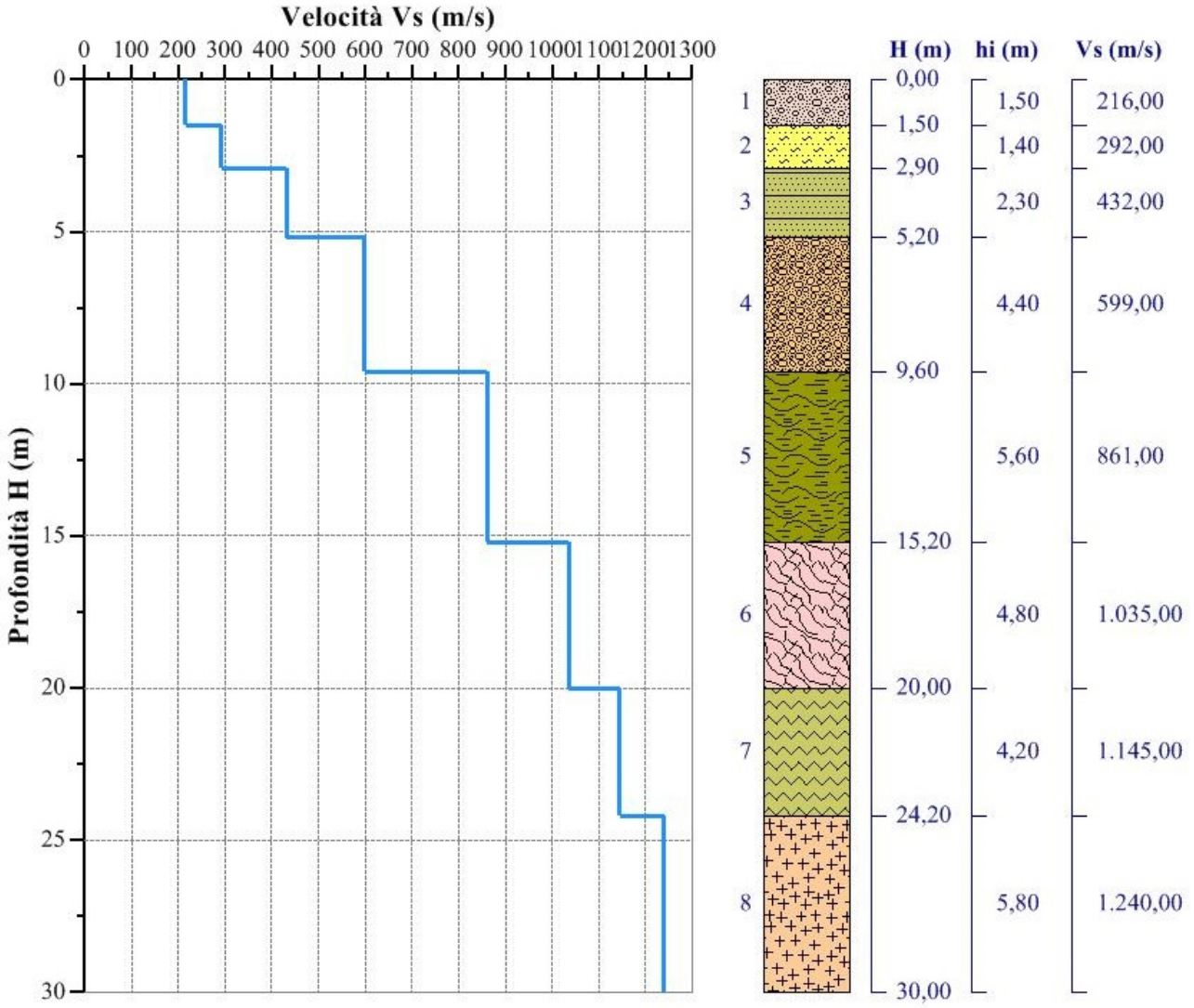


Fig. 54 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw2

Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw3

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V_S = velocità onde di taglio, H_{calc} e hi_{calc} sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	**H** (m)	**hi** (m)	**Vs** (m/s)	**H_{calc}** (m)	**hi_{calc}** (m)	**hi_{cal}/Vs** (s)
1	1,80	1,80	230,00	1,80	1,80	0,007826
2	4,00	2,20	289,00	4,00	2,20	0,007612
3	6,80	2,80	447,00	6,80	2,80	0,006264
4	11,10	4,30	556,00	11,10	4,30	0,007734
5	15,00	3,90	589,00	15,00	3,90	0,006621
6	19,70	4,70	610,00	19,70	4,70	0,007705
7	24,90	5,20	757,00	24,90	5,20	0,006869
8	30,00	5,10	798,00	30,00	5,10	0,006391

Vs,eq = **526,10** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

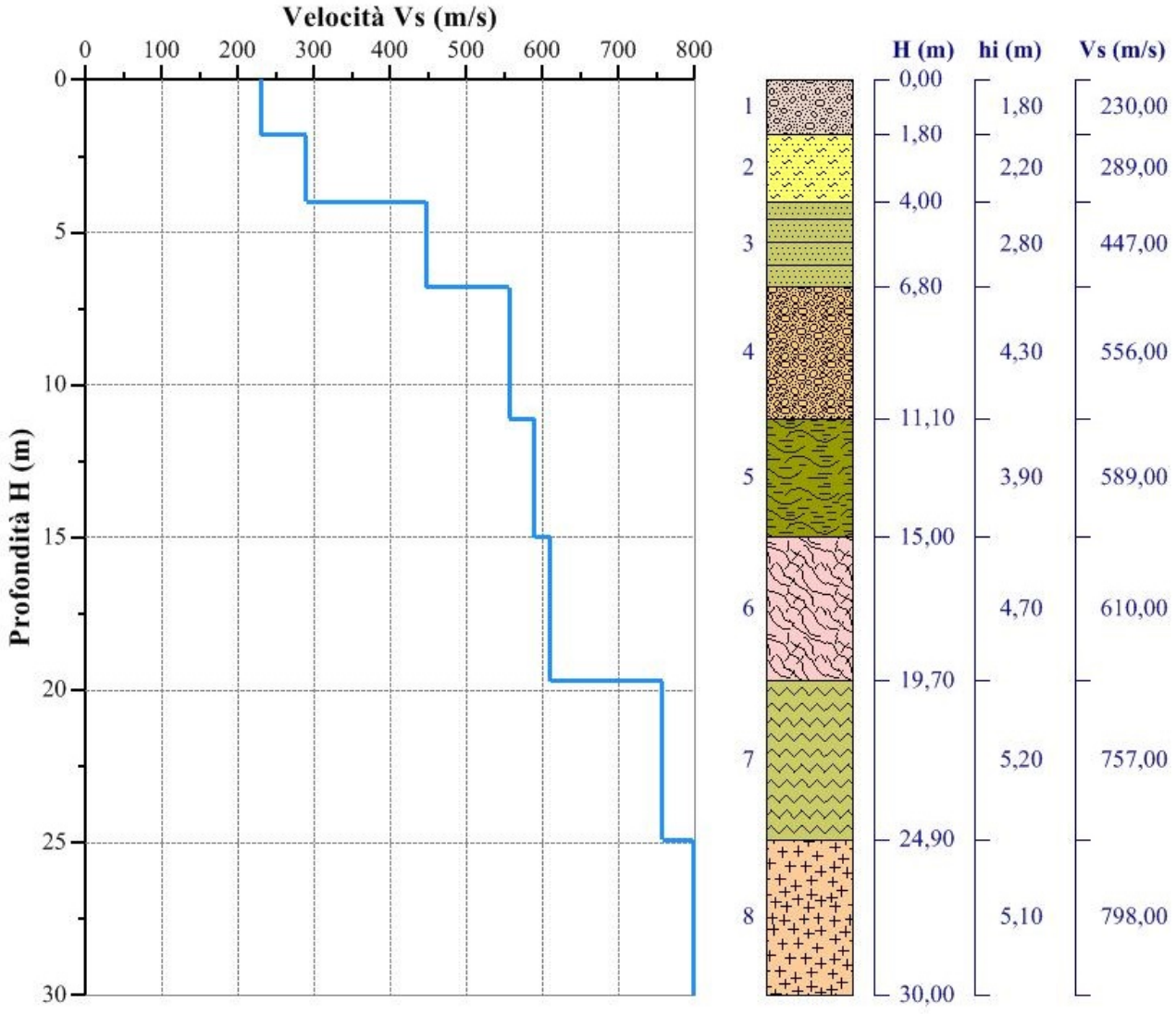


Fig. 55 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw3

Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw4

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V_S = velocità onde di taglio, H_{calc} e hi_{calc} sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	**H** (m)	**hi** (m)	**Vs** (m/s)	**H_{calc}** (m)	**hi_{calc}** (m)	**hi_{cal}/Vs** (s)
1	1,70	1,70	454,00	1,70	1,70	0,003744
2	4,00	2,30	505,00	4,00	2,30	0,004554
3	7,50	3,50	595,00	7,50	3,50	0,005882
4	11,80	4,30	696,00	11,80	4,30	0,006178
5	15,60	3,80	755,00	15,60	3,80	0,005033
6	20,90	5,30	872,00	20,90	5,30	---
7	25,40	4,50	903,00	25,40	4,50	---
8	30,00	4,60	950,00	30,00	4,60	---

Vs,eq = **614,35** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

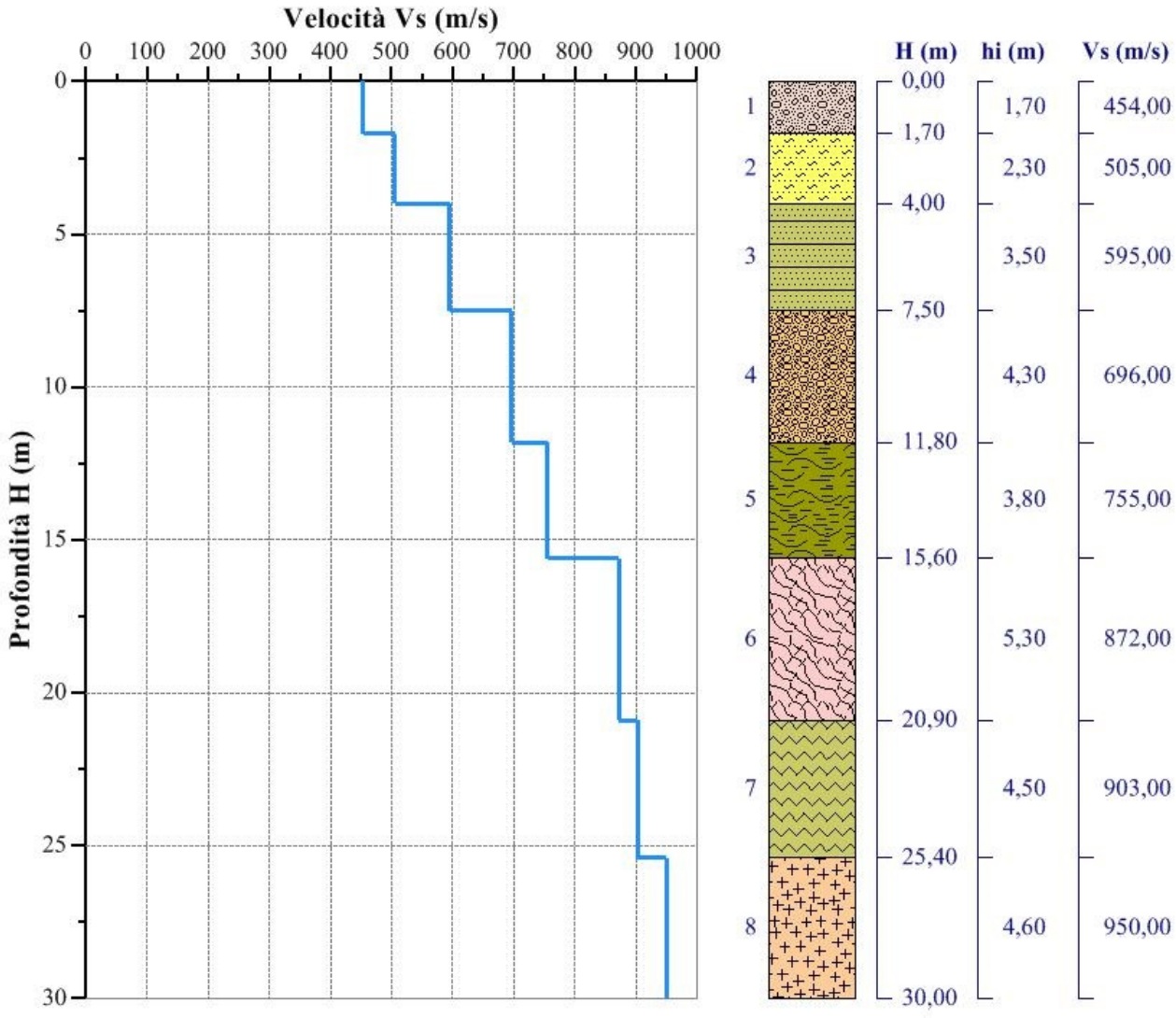


Fig. 56 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw4

Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw5

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, V_S = velocità onde di taglio, H_{calc} e hi_{calc} sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	**H** (m)	**hi** (m)	**Vs** (m/s)	**H_{calc}** (m)	**hi_{calc}** (m)	**hi_{cal}/Vs** (s)
1	2,20	2,20	463,00	2,20	2,20	0,004752
2	3,90	1,70	505,00	3,90	1,70	0,003366
3	6,80	2,90	560,00	6,80	2,90	0,005179
4	10,00	3,20	645,00	10,00	3,20	0,004961
5	14,90	4,90	700,00	14,90	4,90	0,007000
6	20,60	5,70	734,00	20,60	5,70	0,007766
7	26,80	6,20	844,00	26,80	6,20	---
8	30,00	3,20	896,00	30,00	3,20	---

Vs,eq = **623,80** m/s Categoria di sottosuolo: **B**

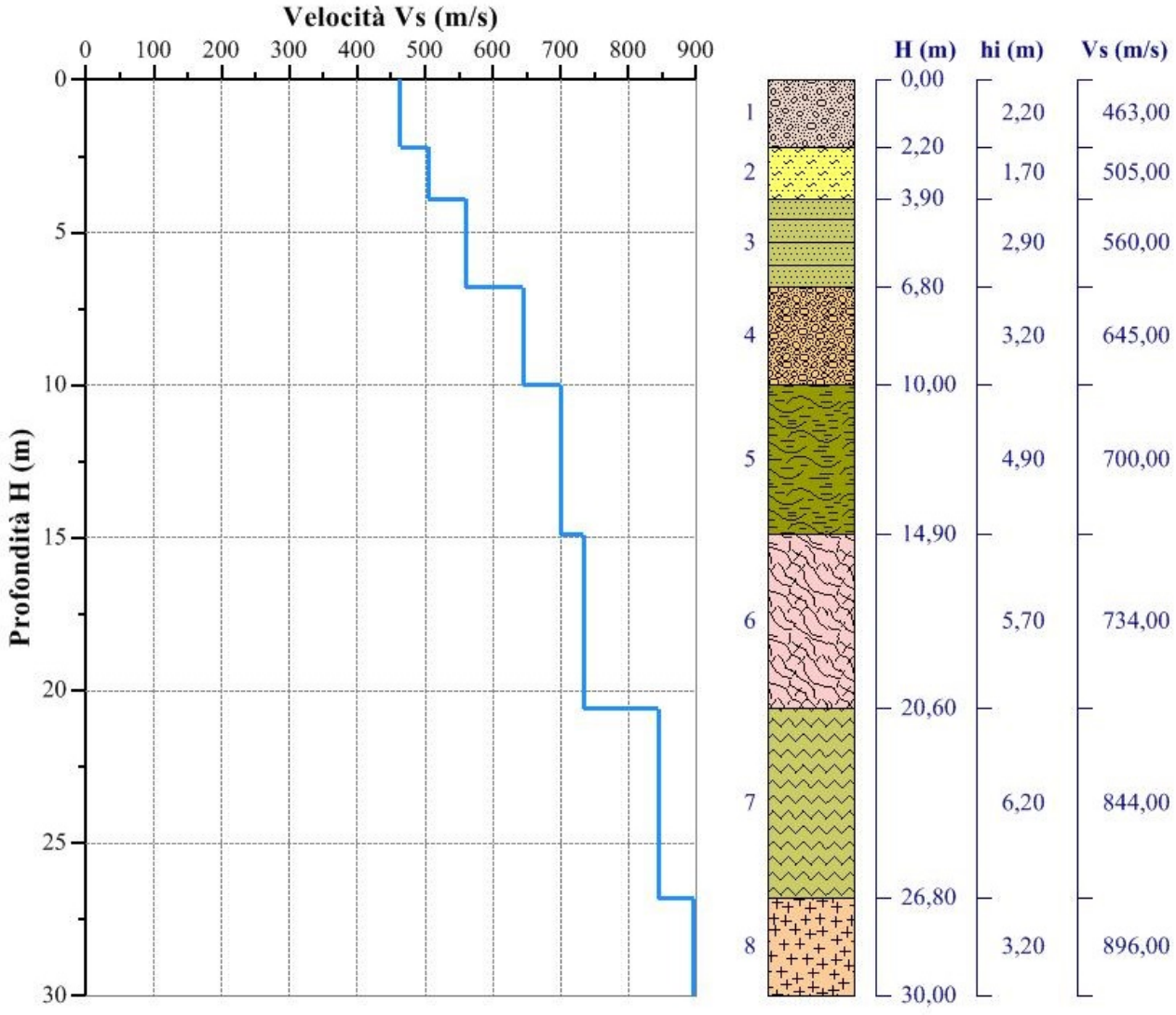


Fig. 57 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw5

Nella tabella che segue si riepilogano le categorie di sottosuolo determinate per i siti investigati:

M.A.S.W.	V_S (m/s)	Sito investigato	Categoria di sottosuolo
Mw 1	502,30	Aerogeneratore V-6A	**B**
Mw 2	393,30	Aerogeneratore V-1D	**B**
Mw 3	526,10	Aerogeneratore V-7E	**B**
Mw 4	614,35	Aerogeneratori V-2B e V-4C	**B**
Mw 5	623,80	Aerogeneratore V-3B	**B**

Come si può evincere da quanto sopra riportato i valori delle velocità delle onde di taglio ricavati dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite nei siti che saranno interessati dalla realizzazione degli aerogeneratori hanno evidenziato che essi rientrano tutti nella categoria di sottosuolo ***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* (Fig. 58).

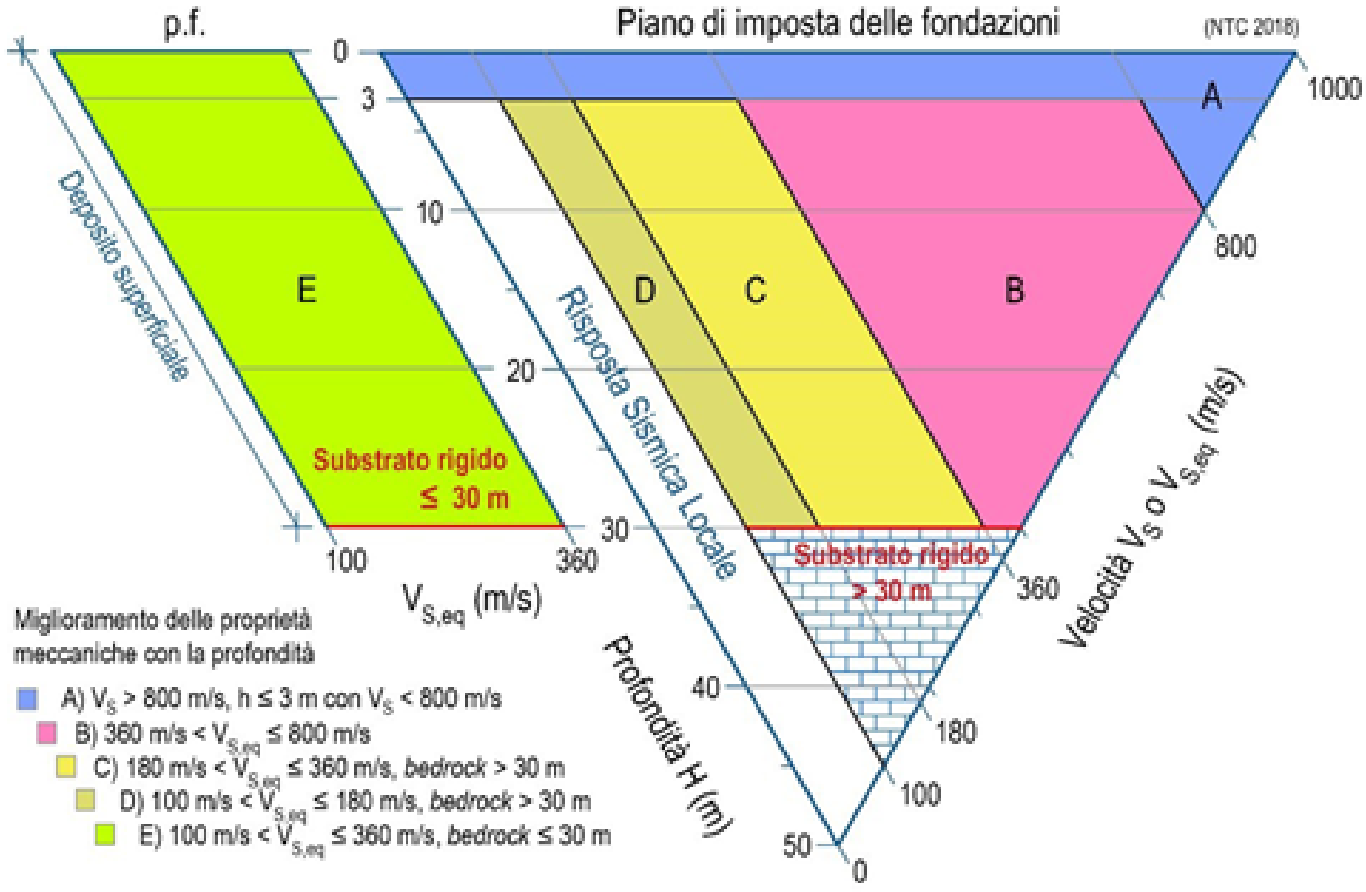


Fig. 58 - Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

9.2 Categoria topografica

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.IV delle NTC – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

I siti interessati dalla realizzazione dell'impianto eolico sono posti in prossimità creste di rilievi collinari i cui versanti presentano, nella maggior parte dei casi, inclinazioni medie maggiori di 30°.

In particolare si è determinato quanto di seguito riportato:

Aerogeneratore V-6A

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 497 s.l.m.
- quota massima rilievo = 499 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

Aerogeneratore V-1D

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 495 s.l.m.
- quota massima rilievo = 497 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

Aerogeneratore V-7E

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 468 s.l.m.
- quota massima rilievo = 474 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

Aerogeneratore V-4C

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 537 s.l.m.
- quota massima rilievo = 539 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

Aerogeneratore V-2B

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 527 s.l.m.
- quota massima rilievo = 533 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

Aerogeneratore V-3B

- caratteristiche superficie topografica = cresta
- quota sito aerogeneratore = 505 s.l.m.
- quota massima rilievo = 506 s.l.m.
- inclinazione media rilievo = > 30°
- categoria topografica= ***T4***

9.3 Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica

Come già specificato nelle pagine precedenti, la pericolosità sismica di base viene determinata facendo riferimento alle ipotesi di sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale e campo libero *(free field)*. Le condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera e le condizioni topografiche determinano una modifica delle onde sismiche in superficie (Fig. 59), in termini di ampiezza dell'oscillazione, durata e contenuto in frequenza.

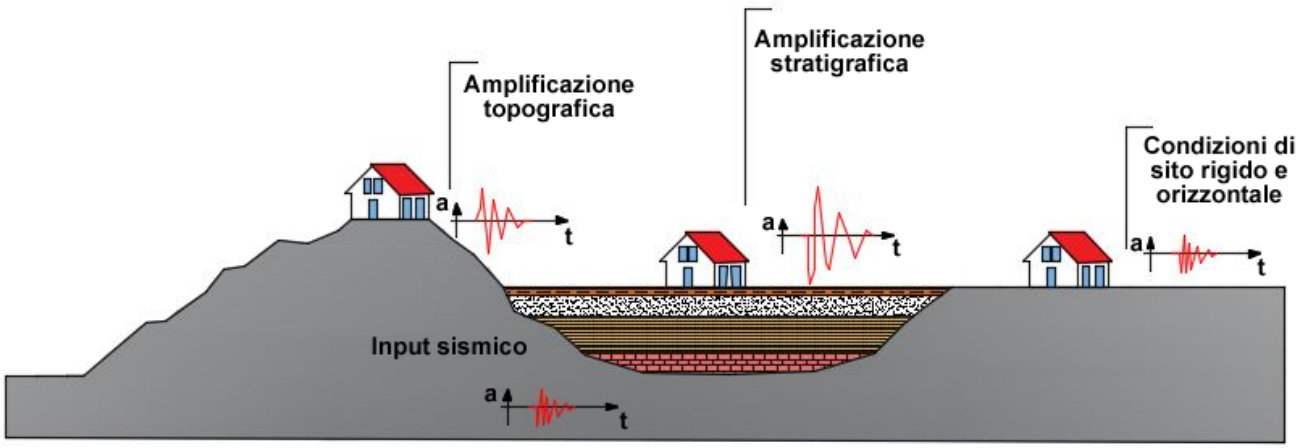


Fig. 59 – Effetto dell'amplificazione stratigrafica e topografica sull'azione sismica

Per tenere conto di questo aspetto, la normativa identifica cinque categorie di sottosuolo **A, B, C, D, E** e quattro categorie 104topografiche **T1, T2, T3, T4.**

La categoria di sottosuolo viene determinata, come visto, in funzione del valore che assume la velocità delle onde di taglio ***Vs*** nel sottosuolo (Tab. 3.2.II delle NTC), mentre la categoria topografica dalla morfologia che assume la superficie topografica (Tab. 3.2.IV delle NTC).

In merito all'amplificazione stratigrafica per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono **1,00** mentre per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D**, ed **E** tali coefficienti possono essere

calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_C relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC, nelle quali *g* è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V delle NTC – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria Sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \bullet F_0 \bullet ag/g \le 1,20$	$1,10 \bullet (T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \bullet F_0 \bullet ag/g \le 1,50$	$1,05 \bullet (T^*_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \bullet F_0 \bullet ag/g \le 1,80$	$1,25 \bullet (T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \bullet F_0 \bullet ag/g \le 1,60$	$1,10 \bullet (T^*_C)^{-0,20}$

Nei casi in esame, avendo determinato una categoria di suolo ***B*** per tutte le di sedime degli aerogeneratori, per ogni stato limite considerato, il coefficiente di amplificazione stratigrafica ***Ss*** ed il coefficiente ***Cc*** assumono i valori riportati nelle seguenti tabelle:

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-6A	*SLO*	1,200	1,518
Coordinate ED50	*SLD*	1,200	1,484
Lat. 44,35032	*SLV*	1,200	1,377
Long. 8,32936	*SLC*	1,200	1,364

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-1D	*SLO*	1,200	1,519
Coordinate ED50	*SLD*	1,200	1,484
Lat. 44,35079	*SLV*	1,200	1,377
Long. 8,34255	*SLC*	1,200	1,364

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-7E	***SLO***	1,200	1,519
Coordinate ED50	***SLD***	1,200	1,484
Lat. 44,34709	***SLV***	1,200	1,377
Long. 8,34475	***SLC***	1,200	1,364

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-4C	***SLO***	1,200	1,519
Coordinate ED50	***SLD***	1,200	1,484
Lat. 44,35649	***SLV***	1,200	1,377
Long. 8,32975	***SLC***	1,200	1,364

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-2B	***SLO***	1,200	1,520
Coordinate ED50	***SLD***	1,200	1,484
Lat. 44,35667	***SLV***	1,200	1,377
Long. 8,33489	***SLC***	1,200	1,364

Aerogeneratore	Stato Limite	*Coefficiente S_S*	*Coefficiente C_C*
V-3B	***SLO***	1,200	1,521
Coordinate ED50	***SLD***	1,200	1,485
Lat. 44,36196	***SLV***	1,200	1,377
Long. 8,33795	***SLC***	1,200	1,364

Relativamente all'amplificazione topografica, per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI delle NTC, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera.

Tabella 3.2.VI delle NTC – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1		1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

Nel caso specifico, i siti di impianto degli aerogeneratori sono posti su pendii si sviluppano su creste di rilievi i cui versanti sono caratterizzati da pendenze medie $i > 30°$.

Per tale motivo essi rientrano nella categoria topografica ***T4***, a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica massimo S_T pari a **1,20** pari a **1,40**.

Nel dettaglio, il coefficiente di amplificazione topografica determinato per i siti di impianto sono riportati nella seguente tabella:

Aerogeneratore	Ubicazione opera	Quota sito/altezza rilievo topografico (h/H)	*Coefficiente* S_T
V-6A	Cresta	0,995	1,398
V-1D	Cresta	0,995	1,398
V-7E	Cresta	0,987	1,395
V-4C	Cresta	0,996	1,398
V-2B	Cresta	0,988	1,395
V-3B	Cresta	0,998	1,399

10. Caratterizzazione sismica secondo le N.T.C. 2018 (D.M. 17.01.2018)

L'entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC D.M. 17.01.2018, a cui si rimanda per maggiori dettagli) ha imposto di procedere ad una diversa definizione del profilo stratigrafico dei suoli di fondazione, in funzione delle azioni sismiche di progetto (cfr. N.T.C. C3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI). La pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un *sito rigido* (di categoria ***A***) (cfr. NTC § 3.1.2) con *superficie topografica orizzontale* (di categoria ***T1***), in *condizioni di campo libero*, cioè in assenza di manufatti. Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata *PVR*, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima attesa (*ag*) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.

È possibile anche descrivere il terremoto in forma di accelerogrammi, ovviamente questi devono essere compatibili con le predette caratteristiche del moto sismico del sito.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica *PVR*:

- *ag = accelerazione massima al sito;*
- *Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;*
- *TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

10.1 Valutazione dell'azione sismica e relativi parametri

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle *NTC*, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria ***A***) con superficie topografica orizzontale (di categoria ***T1***), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Negli sviluppi successivi il sito di riferimento sarà caratterizzato da sottosuolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1.

Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata P_{Vg}, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni *ag* e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

1. a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;
2. F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
3. T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

10.2 Stati limite e relative probabilità di superamento

Gli stati limite, sia di *esercizio* (**SLD** – **S**tato **L**imite di **D**anno ed **SLO** – **S**tato **L**imite di immediata **O**peratività) che *ultimi* (**SLV** – **S**tato **L**imite della **V**ita ed **SLC** – **S**tato **L**imite di prevenzione del **C**ollasso) consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limiti ordinati per azione sismica crescente (*SLO, SLD, SLV, SLC*), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme della struttura.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (Tabella 3.2.1 delle NTC) valori della probabilità di superamento P_{Vg} pari rispettivamente a *81%, 63%, 10% e 5%*. La pericolosità sismica in un generico sito, dunque, deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;

- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

La pericolosità sismica di un sito, quindi, è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "*periodo di riferimento*" $\mathbf{V_R}$ e la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*" $\mathbf{P_{Vg}}$. Per i siti oggetto di studio è stata effettuata la valutazione della risposta sismica locale, secondo i dettami del D.M. del 17.01.2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale *EXCEL SPETTRI NTC 1.0.3* sviluppato e messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Questo software fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri:

- *FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base del progetto S1 - INGV).*

- *FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione.*

- *FASE 3 - Determinazione dell'azione di progetto.*



Nelle pagine seguenti vengono forniti i valori dei parametri a_g, F_0, T^*_C, in funzione della latitudine e longitudine per ogni sito d'intervento, per i periodi di ritorno $\boldsymbol{T_R}$, associati a ciascuno stato limite di riferimento, da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC, mentre i successivi grafici rappresentano gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $\boldsymbol{T_R}$ di riferimento per categoria di suolo A (**FASE 1**).

Di seguito, quindi, si illustra la pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria ***A*** e superficie topografica orizzontale ***T1***.

Le coordinate geografiche (in gradi decimali) dei siti (prese nel baricentro dei rispettivi siti investigati) sono state convertite dal sistema *WGS84* al sistema di riferimento *ED50*, in quanto il reticolo dei punti che determina la pericolosità sismica di base (*Allegato B delle NTC 2018*) è ancorata al sistema ED50 e, dato che il reticolo NTC18 è un campionamento della stessa, ne consegue che il reticolo è anche ancorato all'ellissoide ED50.

Per quanto riguarda la strategia di progettazione (**FASE 2**), su indicazione del progettista, si è valutato il periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$ delle opere da realizzare in **100 anni**, ottenuto come prodotto tra la vita nominale $\mathbf{V_N}$ (**50 anni**) ed il valore del coefficiente d'uso $\mathbf{C_U}$ (**2,0**) che compete alla classe d'uso delle opere di progetto (***Classe IV***). In questo modo si sono ricavati, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{Vg} nel periodo di riferimento V_R, il periodo di ritorno $\mathbf{T_R}$ del sisma ed i valori dei parametri a_g, F_0, T^*_C.



Infine, relativamente alla determinazione dell'azione di progetto (**FASE 3**), in questa sede ci si limita a fornire al progettista il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima *ag* che è un coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

A tal proposito, infatti, il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante la sola accelerazione massima attesa, mediante l'intero spettro di risposta o mediante storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi).

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione T ≤ 4 s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante le stesse espressioni fornite dall'EN1998 nelle quali, tuttavia, non si è assunto un singolo valore per l'amplificazione massima ma si è fornita tale grandezza, F_o, in funzione della pericolosità del sito insieme alle grandezze *ag*, T_C e, conseguentemente, T_B, T_D.

Per la componente verticale, invece, le uniche grandezze fornite in funzione della pericolosità del sito sono l'accelerazione massima, posta pari alla massima accelerazione orizzontale del suolo *ag*, e l'amplificazione massima *Fv*, espressa come funzione di *ag*. La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta.

Specificamente, l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S = S_S \times S_T$ che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica (S_S) e topografica (S_T). Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo T_C di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, è funzione invece del coefficiente C_C, dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo.

A parità di categoria di sottosuolo, l'andamento di S_S con $F_o \cdot ag$ è caratterizzato da due tratti orizzontali, rispettivamente per bassi ed elevati valori di pericolosità sismica; tali tratti sono raccordati da un segmento di retta che descrive il decremento lineare di S_S con $F_0 \cdot ag$.

In genere, a parità di pericolosità del sito ($F_o \cdot ag$), i valori di S_S si incrementano al decrescere della rigidezza del sottosuolo, passando dal sottosuolo di categoria A al sottosuolo di categoria E. In particolare, per $F_0 \cdot ag < 0.78g$, il sottosuolo di categoria *D* mostra amplificazioni maggiori delle altre categorie di sottosuolo, mentre, per $0.78g \leq Fo \cdot ag < 1.17g$ i fenomeni di amplificazione sono più marcati per il sottosuolo di categoria *C*.

A parità della categoria di sottosuolo, il coefficiente C_C decresce al crescere di T_C^* e, conseguentemente, l'effetto di amplificazione massima si sposta verso periodi più brevi e si riduce l'estensione del tratto orizzontale caratterizzato da ordinata spettrale massima. In genere, a parità di T_C^*, i valori di C_C si incrementano al decrescere della rigidezza del sottosuolo, ovvero passando dal sottosuolo di categoria *A* al sottosuolo di categoria *E*.

Il sottosuolo di categoria *D* presenta, nell'intervallo di valori di interesse, valori di *TC* maggiori di quelli relativi alle altre categorie di sottosuolo.

SITO AEROGENERATORE V-6A - COMUNE DI ALTARE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,35032° N*
Longitudine = *8,32936° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,583	0,158
50	0,025	2,546	0,191
72	0,029	2,552	0,208
101	0,033	2,576	0,224
140	0,037	2,594	0,247
201	0,042	2,584	0,267
475	0,056	2,615	0,306
975	0,071	2,665	0,326
2475	0,093	2,748	0,346

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,549	0,200
SLD	101	0,033	2,576	0,224
SLV	949	0,070	2,663	0,326
SLC	1950	0,087	2,727	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,398	1,678	0,027	**0,0453**
SLD	101	1,200	1,398	1,678	0,033	**0,0554**
SLV	949	1,200	1,398	1,678	0,070	**0,1174**
SLC	1950	1,200	1,398	1,678	0,087	**0,1460**

SITO AEROGENERATORE V-1D - COMUNE DI ALTARE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,35079° N*
Longitudine = *8,34255° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,582	0,159
50	0,025	2,546	0,190
72	0,029	2,553	0,208
101	0,033	2,575	0,224
140	0,037	2,592	0,247
201	0,041	2,585	0,266
475	0,056	2,616	0,306
975	0,070	2,669	0,326
2475	0,092	2,753	0,346

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,549	0,199
SLD	101	0,033	2,575	0,223
SLV	949	0,070	2,667	0,326
SLC	1950	0,086	2,731	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,398	1,678	0,027	**0,0453**
SLD	101	1,200	1,398	1,678	0,033	**0,0554**
SLV	949	1,200	1,398	1,678	0,070	**0,1174**
SLC	1950	1,200	1,398	1,678	0,086	**0,1443**

SITO AEROGENERATORE V-7E - COMUNE DI ALTARE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,34709° N*
Longitudine = *8,34475° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,582	0,158
50	0,025	2,546	0,190
72	0,029	2,552	0,208
101	0,033	2,575	0,224
140	0,037	2,592	0,247
201	0,041	2,584	0,266
475	0,056	2,615	0,306
975	0,071	2,666	0,326
2475	0,093	2,749	0,346

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,549	0,199
SLD	101	0,033	2,575	0,224
SLV	949	0,070	2,664	0,326
SLC	1950	0,087	2,727	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,395	1,674	0,027	**0,0452**
SLD	101	1,200	1,395	1,674	0,033	**0,0552**
SLV	949	1,200	1,395	1,674	0,070	**0,1172**
SLC	1950	1,200	1,395	1,674	0,087	**0,1456**

SITO AEROGENERATORE V-4C - COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,35649° N*
Longitudine = *8,32975° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,583	0,159
50	0,025	2,547	0,190
72	0,029	2,553	0,208
101	0,033	2,576	0,224
140	0,037	2,593	0,247
201	0,041	2,587	0,266
475	0,056	2,616	0,306
975	0,070	2,670	0,326
2475	0,092	2,757	0,346

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,550	0,199
SLD	101	0,033	2,576	0,224
SLV	949	0,070	2,668	0,326
SLC	1950	0,086	2,734	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,398	1,678	0,027	**0,0453**
SLD	101	1,200	1,398	1,678	0,033	**0,0554**
SLV	949	1,200	1,398	1,678	0,070	**0,1174**
SLC	1950	1,200	1,398	1,678	0,086	**0,1443**

SITO AEROGENERATORE V-2B - COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,35667° N*
Longitudine = *8,33489° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,583	0,159
50	0,025	2,547	0,189
72	0,029	2,553	0,208
101	0,033	2,575	0,224
140	0,037	2,593	0,247
201	0,041	2,588	0,265
475	0,056	2,617	0,306
975	0,070	2,672	0,326
2475	0,092	2,758	0,346

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,550	0,199
SLD	101	0,033	2,575	0,223
SLV	949	0,070	2,670	0,326
SLC	1950	0,086	2,736	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,395	1,674	0,027	**0,0452**
SLD	101	1,200	1,395	1,674	0,033	**0,0552**
SLV	949	1,200	1,395	1,674	0,070	**0,1172**
SLC	1950	1,200	1,395	1,674	0,086	**0,1440**

SITO AEROGENERATORE V-3B - COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE (SV)

FASE 1 - *Individuazione della pericolosità del sito (Progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1*

Latitudine = *44,36196° N*
Longitudine = *8,33795° E*
Categoria di suolo = *A*
Superficie topografica = *T1*

Tabella dei valori dei parametri di ag, F_0, T_C*
per i periodi di ritorno TR di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,582	0,159
50	0,024	2,547	0,189
72	0,029	2,554	0,208
101	0,033	2,575	0,224
140	0,036	2,593	0,247
201	0,041	2,591	0,265
475	0,055	2,617	0,306
975	0,069	2,677	0,326
2475	0,090	2,767	0,347

dove:

a_g = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, relativamente a sito di riferimento rigido orizzontale.

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

Vita nominale della costruzione (V_N) = *50 anni*
Coefficiente d'uso della costruzione (Cu) = *2*
Periodo di riferimento per la costruzione = *100 anni*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,027	2,550	0,198
SLD	101	0,033	2,574	0,223
SLV	949	0,069	2,675	0,325
SLC	1950	0,084	2,743	0,341

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il valore dell'accelerazione massima in campo libero (***a_{max}***), dato dal prodotto di ***ag*** per il fattore ***S*** di incremento dell'accelerazione sismica massima ag ($S = S_S \times S_T$), calcolata per il sito in esame, per la strategia di progettazione scelta, assume i seguenti valori:

Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero (a_{max}) – Sito Aerogeneratore T9a1

Stato Limite	Tr (anni)	Coefficiente S_S	Coefficiente S_T	$S = S_S \times S_T$	ag	$a_{max} = ag \times S$
SLO	60	1,200	1,399	1,679	0,027	**0,0453**
SLD	101	1,200	1,399	1,679	0,033	**0,0554**
SLV	949	1,200	1,399	1,679	0,069	**0,1158**
SLC	1950	1,200	1,399	1,679	0,084	**0,1410**

11. Verifica delle pericolosità dovuti agli effetti cosismici

In relazione a possibili scenari di pericolosità, oltre a fenomeni di amplificazione locale si possono registrare veri e propri fenomeni di instabilità dei terreni. Questi insorgono quando le forze (azioni) indotte da un terremoto superano la resistenza al taglio dei terreni provocandone la rottura. L'approccio a tale situazione reale consiste nell'individuare le condizioni di potenziale instabilità del terreno ed il margine di sicurezza rispetto a tale situazione in occasione dell'evento sismico atteso. I terreni sottoposti a potenziale instabilità sono definiti sismicamente instabili, in cui gli sforzi ciclici indotti dal terremoto di riferimento uguagliano o superano la resistenza al taglio del terreno stesso che, non essendo in grado di trasmettere gli sforzi indotti, subisce collassi e rotture. Generalmente tali terreni sono caratterizzati da proprietà meccaniche molto scadenti, basse resistenze al taglio ed elevate deformabilità.

I possibili effetti che un terremoto può provocare in un determinato sito, in rapporto alle condizioni locali sono:

- fenomeni di liquefazione in terreni granulari fini;
- fenomeni di densificazione in terreni incoerenti, nonché asciutti o parzialmente saturi;
- movimenti franosi lungo pendii;
- cedimenti in terreni argillosi soffici;
- scorrimenti e cedimenti differenziali in corrispondenza di contatti geologici o di faglie.

I fenomeni sovraelencati sono imputabili principalmente alle proprietà geotecniche dei terreni e all'interazione fra onde sismiche e natura dei depositi.

Esiste un'abbondante bibliografia, a livello nazionale ed internazionale, relativa agli effetti cosismici indotti da terremoti sia di storico che di recente accadimento, di moderata o elevata magnitudo/intensità. Oltre alla descrizione dei fenomeni ed alla ricostruzione dei meccanismi che presiedono al verificarsi di tali effetti di superficie, che corrispondono sempre a deformazioni di natura permanente del terreno e quindi a condizioni di rottura a seguito di sollecitazioni sismiche, tali studi sono volti alla definizione della occorrenza di ciascuna categoria di effetti in relazione a parametri quali: magnitudo dell'evento, distanza epicentrale ovvero distanza dalla linea di rottura desunta dalla distribuzione degli after-shock, accelerazione di picco (PGA), ecc..

11.1 Stabilità nei confronti della liquefazione

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce.

La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Il fenomeno della liquefazione si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1,00 m e 20,00 m di profondità dal piano campagna, come chiarisce la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*".

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Il D.M. 17.01.2018 contiene al punto 7.11.3.4.2 le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Una valutazione semplificata della suscettibilità può essere ottenuta considerando le seguenti condizioni:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti
- profondità media stagionale della falda
- tipo di deposito.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*

3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}>30$ oppure $q_{c1N}>180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 KPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetratione Test) normalizzata a una tensione di verticale di 100 KPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 60 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 61 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.*

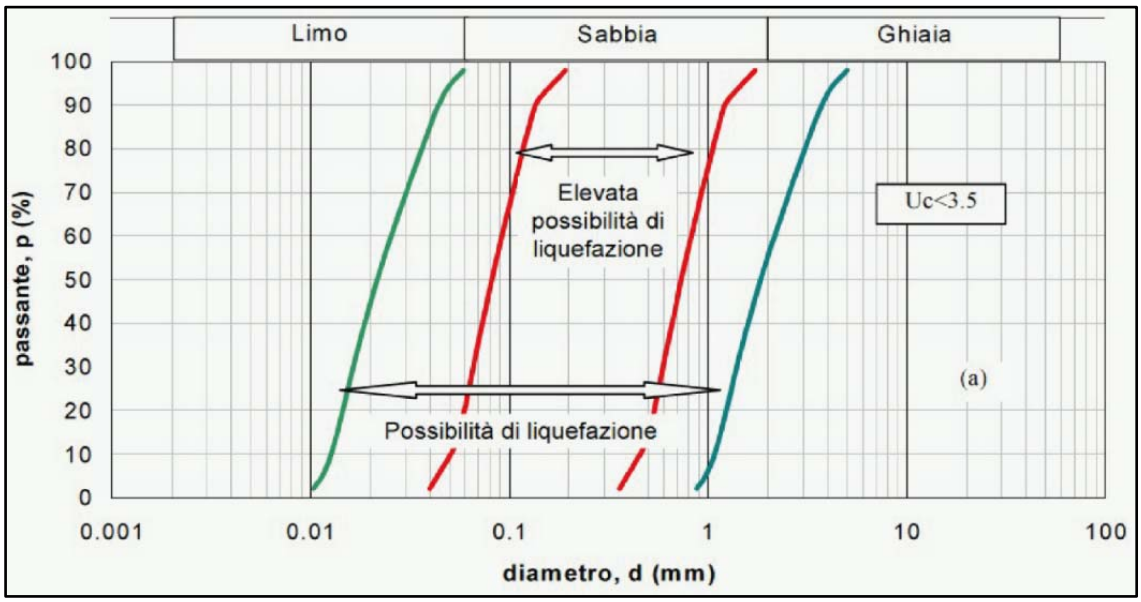


Fig. 60 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Uc<3,5)

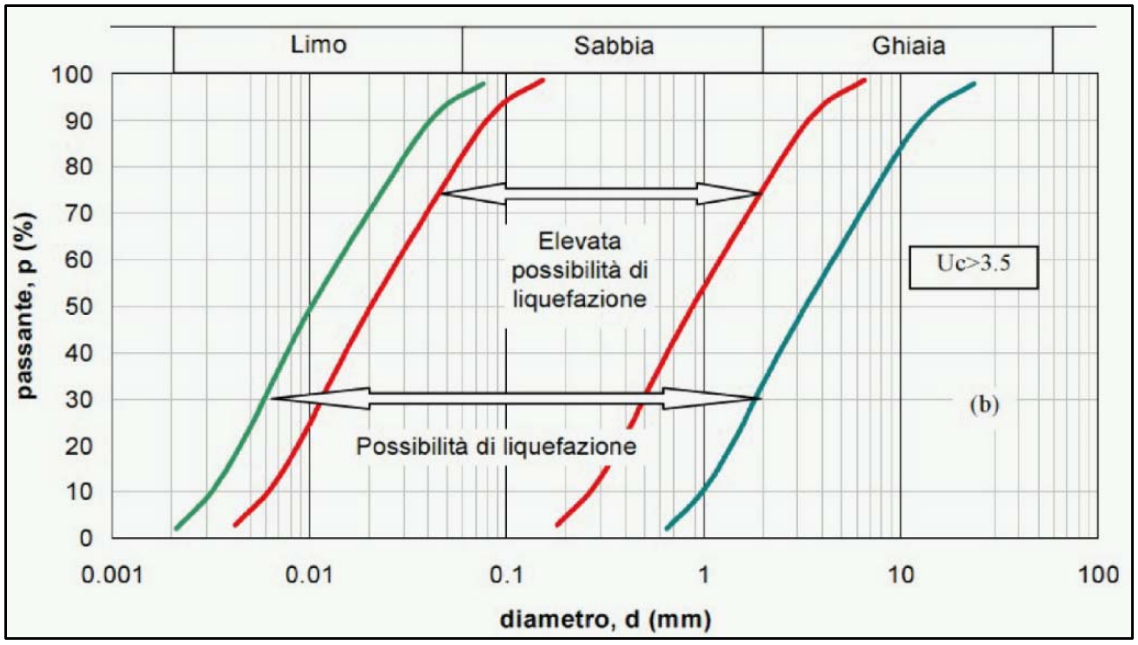


Fig. 61 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Uc>3,5)

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Quando nessuna delle condizioni risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio.

La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

La caratterizzazione sismica dell'area di studio è stata trattata nei capitoli precedenti di questa relazione, ai quali si rimanda.

Di seguito, si analizzano i dati disponibili per l'analisi dei quattro elementi predisponenti alla liquefazione.

1. **Condizione 1: accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;**

La condizione 1 non risulta soddisfatta in quanto:

Tutti i siti in esame ricadono in una categoria di sottosuolo B (cfr. Capitolo 9), in riferimento al valore di Vs misurato a partire dal piano campagna. Per gli stessi siti è stato calcolato, per lo stato limite SLV, quanto segue:

Aerogeneratore V-6A

- ✓ *Valore di ag = 0,070g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,398, da cui si ricava che S = 1,678. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,070) x S (1,678) =* ***0,1174****.*

Aerogeneratore V-1D

- ✓ *Valore di ag = 0,070g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,398, da cui si ricava che S = 1,678. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,070) x S (1,678) =* ***0,1174****.*

Aerogeneratore V-7E

- ✓ *Valore di ag = 0,070g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,395, da cui si ricava che S = 1,674. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,070) x S (1,674) =* ***0,1172****.*

Aerogeneratore V-4C

- ✓ *Valore di ag = 0,070g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,398, da cui si ricava che S = 1,678. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,070) x S (1,678) =* ***0,1174****.*

Aerogeneratore V-2B

- ✓ *Valore di ag = 0,070g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,395, da cui si ricava che S = 1,674. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,070) x S (1,674) =* ***0,1172****.*

Aerogeneratore V-3B

- ✓ *Valore di ag = 0,069g, su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 949 anni. L'incremento dell'accelerazione sismica massima a_{max}, attesa al piano campagna, è dato dall'espressione S = Ss x ST. Nel caso in esame Ss = 1,200 ed S_T = 1,399, da cui si ricava che S = 1,679. Pertanto, l'accelerazione* ***a_{max}*** *attesa al piano campagna è ag (0,069) x S (1,679) =* ***0,1158****.*

2. Condizione 2: profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

La condizione 2 risulta soddisfatta in quanto:

- ✓ *dalle evidenze delle indagini realizzate in sito e dall'analisi della bibliografia disponibile per l'area di studio, si evince che la profondità media stagionale della falda è superiore a 15,00 m dal piano campagna.*

Per tale motivo ai sensi del D.M. 17.01.2018 - punto 7.11.3.4.2, è possibile omettere la verifica a liquefazione.

12. Considerazioni tecniche e compatibilità geologica del progetto proposto

12.1 Descrizione sommaria delle opere da realizzare

Le valutazioni effettuate nel presente paragrafo sono volte a dimostrare la compatibilità geologica degli interventi di progetto, in accordo con quanto richiesto dalle Norme sopra richiamate. Per gli scopi del presente studio è necessario descrivere in maniera sintetica le opere da realizzare per meglio inquadrarne gli aspetti d'impatto idrogeologico salienti e per esprimere in maniera più compiuta un giudizio sulla loro compatibilità geologica: per una trattazione dettagliata si rimanda alla relazione tecnica del progetto.

Unità fondamentale dell'impianto è la postazione di macchina in cui trova collocazione ciascun aerogeneratore. Le postazioni di macchina sono tante quanti gli aerogeneratori da installare e, salvo inevitabili adattamenti locali dovuti alle differenze orografiche presenti in un sito alta collina, presentano il più elevato grado di standardizzazione possibile in termini di dimensioni, forma e disposizione dell'aerogeneratore al suo interno.

Si rammenta che nel caso specifico, prevedendo l'utilizzo di macchine di grande taglia, la trasformazione BT/MT trova posto nella torre che consente di contenere le apparecchiature elettriche per il collegamento ad un sistema di cavidotti interrati che portano l'energia elettrica fino al punto di consegna alla rete elettrica di distribuzione.

Le postazioni di macchina, opere di tipo "puntuale" se confrontate all'estensione complessiva dell'impianto, sono collegate da due sistemi a rete: uno, superficiale, è costituito dalla viabilità di servizio all'impianto che deve permettere l'accessibilità a ciascun aerogeneratore durante tutta la vita utile dell'impianto; l'altro, reso invisibile in quanto interrato, è formato da cavi di potenza e da una fibra ottica per i segnali.

Normalmente vi è convenienza a tenere sovrapposte queste due tipologie di opere lineari, facendo correre le linee elettriche interrate in asse o al bordo delle strade di servizio.

- **Cavidotti**

In generale, per tutte le linee elettriche, si prevede la posa direttamente interrata dei cavi, con protezioni meccaniche ove necessario, ad una profondità che prevede l'estradosso del cavo maggiore o uguale a 1 m. In caso di particolari attraversamenti o di risoluzione puntuale di interferenze, le modalità di posa saranno modificate in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-17 e dagli eventuali regolamenti vigenti relativi alle opere interferite, mantenendo comunque un grado di protezione delle linee non inferiore a quanto garantito dalle normali condizioni di posa.

La costruzione del cavidotto comporta, quindi, un impatto minimo per via della scelta del tracciato (in fregio alla viabilità), per il tipo di mezzo impiegato (un escavatore con benna stretta) e per la minima quantità di terreno da portare a discarica, potendo essere in gran parte riutilizzato per il rinterro dello scavo a posa dei cavi avvenuta. In aggiunta, la sua realizzazione avverrà senza

comportare profondi movimenti di terra che possano alterare in modo sostanziale e/o stabilmente il profilo del terreno.

Per quanto attiene la posa di cavi Mt interrati a margine di strade esistenti si precisa che, al termine dell'esecuzione dei lavori, si provvederà al ripristino della situazione ante operam delle carreggiate stradali; perciò gli interventi previsti non determineranno alcune modifiche territoriali o modifiche dello stato fisico dei luoghi.

- **Fondazioni degli aerogeneratori**

La struttura di fondazione sarà del tipo a plinto in calcestruzzo armato su pali trivellati a sezione circolare, disposti nei vertici e in corrispondenza delle sezioni mediane del plinto; il sistema dovrà essere adeguatamente proporzionato in modo da assorbire e trasmettere al terreno carichi e sollecitazioni prodotte dalla struttura sovrastante.

La sovrastante torre, a sezione tubolare, sarà resa solidale alla fondazione mediante un collegamento flangiato dato da una gabbia circolare di tirafondi, anch'essi in acciaio, inglobati nella stessa fondazione all'atto del getto. Il dado sarà completamente interrato o ricoperto dalla sovrastruttura in materiale arido della piazzola di servizio. La fondazione sarà costituita da una piastra tronco conica avente diametro e altezza complessiva di idonee dimensioni.

All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica cilindrica dotata di una piastra superiore di ripartizione dei carichi ed una piastra inferiore di ancoraggio. Entrambe le piastre sono dotate di due serie concentriche di fori che consentiranno il passaggio di barre filettate ad alta resistenza, che, tramite dadi, garantiscono il corretto collegamento delle due piastre. A tergo dei lati del manufatto dovrà essere realizzato uno strato di drenaggio, munito di tubazione di drenaggio forata per l'allontanamento delle acque dalla fondazione.

- **Piazzole aerogeneratori**

Per consentire il montaggio degli aerogeneratori dovrà predisporsi, nelle aree subito attorno alla fondazione, lo scotico superficiale, la spianatura, il riporto di materiale vagliato e compattazione di una idonea superficie.

Invece per quanto riguarda le aree temporanee, necessarie solo per il tempo sufficiente al montaggio della macchina, saranno predisposte delle aree appunto temporanee a seconda dei casi, subito adiacenti a quelle definitive, per lo stoccaggio temporaneo delle pale e del resto delle componenti della navicella, dei conci di torre e di ulteriori componenti e attrezzature necessari al montaggio. A montaggio ultimato queste aree, ad eccezione della piazzola definiva, verranno riportate allo stato ante operam prevedendo il riporto di terreno vegetale per favorire la crescita di vegetazione spontanea.

Verrà invece mantenuta la piazzola definiva, per la quale bisognerà provvedere a tenerla sgombra da piantumazioni allo scopo di consentire le operazioni di controllo e/o manutenzione delle macchine.

- **Viabilità di accesso al sito**

L'accesso al sito eolico è garantito da strade provinciali e/o comunali; le strade che collegheranno i rami dell'impianto alle WTG di progetto saranno create ex-novo. I cavidotti in media tensione di collegamento tra la cabina di sezionamento e la stazione elettrica di consegna (SE di utenza) saranno interrati lungo la sede viaria di strade vicinali e/o comunali esistenti così come la porzione di cavidotto AT che realizzerà l'interconnessione tra la Stazione di Utenza (SE) e la Stazione di Rete (SSE).

Nei tratti di viabilità esistente, quando necessari, saranno previsti adeguamenti del fondo stradale per tutto il tratto che conduce all'impianto. I tratti stradali di nuova costruzione, che si realizzeranno per il collegamento della viabilità esistente alle piazzole di montaggio delle WTG, saranno del tipo "strade bianche", con strato di fondazione e di usura in pietrame, senza alcuna stesura di calcestruzzo o conglomerato bituminoso.

- **Viabilità di servizio**

All'interno del sito è già presente una rete di viabilità a servizio dei fondi agricoli presenti. Essa sarà adeguata alle nuove necessità e solo dove necessario ne verrà creata di nuova e utilizzata per accedere ad ognuna delle piattaforme degli aerogeneratori, sia durante la fase di esecuzione delle opere sia nella successiva manutenzione del parco eolico e costituiranno peraltro una utile viabilità aperta a tutti per la fruizione del territorio.

Nella definizione del layout del nuovo impianto, quindi, è stata sfruttata la viabilità esistente sul sito (strade comunali, provinciali e vicinali, carrarecce, sterrate, piste, sentieri, ecc.), onde contenere gli interventi. Inoltre, in fase di esecuzione dei tracciati stradali sarà ottimizzato in particolar modo il deflusso delle acque onde evitare innesco di fenomeni erosivi, perdita di stabilità e turbamento del regime delle acque.

Le strade, ove possibile, saranno realizzate in modo tale da interessare marginalmente i fondi agricoli; essi avranno lunghezze e pendenze delle livellette tali da seguire la morfologia propria del territorio evitando eccessive opere di scavo e riporto. La sezione stradale sarà realizzata in massicciata composta da uno strato di fondazione in misto calcareo di 40 cm, eventualmente steso su geotessile disteso alla base del cassonetto stradale a diretto contatto con il terreno, allo scopo di limitare al massimo le deformazioni e i cedimenti localizzati; superiormente sarà previsto uno strato di finitura/usura in misto stabilizzato, dello spessore di 20 cm.

- **Opere di ingegneria naturalistica**

Gli interventi di ingegneria naturalistica, intrapresi per la salvaguardia del territorio, dovranno avere lo scopo di:

- *intercettare i fenomeni di ruscellamento incontrollato che si verificano sui versanti per mancata regimazione delle acque;*
- *ridurre i fenomeni di erosione e di instabilità dei versanti;*
- *regimare in modo corretto le acque su strade, piste e sentieri;*

- *ridurre il più possibile l'impermeabilizzazione dei suoli creando e mantenendo spazi verdi e diffondendo l'impiego della vegetazione nella sistemazione del territorio.*

Pertanto, si prevede l'utilizzo del materiale vegetale vivo e del legname come materiale da costruzione, in abbinamento con materiali inerti come pietrame. L'area, dal punto di vista geomorfologico, è definita da dossi collinari di entità variabile. I deflussi sono comunque assenti per gran parte dell'anno. Gli interventi di ingegneria ambientale, all'interno dell'area del parco, sono minimi e serviranno per la regimentazione delle acque meteoriche, non si presentano condizioni di rischio frana o eccessiva erosione, anche e soprattutto per la natura del terreno.

Di seguito si elencano alcuni interventi che possono trovare riscontro nei lavori di consolidamento e regimentazione delle acque meteoriche all'interno del parco e lungo la viabilità esterna di accesso.

a) *Cunetta vivente*: nel progetto proposto sono state previste per tutta la lunghezza della viabilità interna e in alcuni tratti di maggior pendenza, dove le semplici cunette potrebbero essere destabilizzate dall'acqua e con esse la strada. In pratica, si realizza un fosso a sezione trapezoidale dove vengono sistemati sul letto e sulle pareti, uno accanto all'altro, dei rami o delle stanghe vive in modo serrato, tenendoli fermi con pali vivi infissi nel terreno, ad intervalli da 2 a 4 m per mezzo di sagome in legno preparate in precedenza, oppure ad intervalli da 0,5 fino ad 1 m (uno dall'altro) posti lungo le pareti del fosso. Nel caso di portata idrica permanente si può consolidare il letto e la parte inferiore della parete del fosso con tavoloni.

b) *Canalizzazioni in pietrame e legno*: nei casi di piccoli impluvi naturali che intercettano la viabilità di progetto, che possono spesso causare solchi ed erosione puntuale, si può prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezoidale avente lo scopo di convogliare le acque nei punti di recapito.

c) *Idrosemina e rivestimenti antierosivi*: le tecniche con idrosemina sono impiegate soprattutto nelle situazioni in cui il terreno si trova completamente denudato e privo di copertura organica. Questa tecnica consente di generare in tempi brevi un manto vegetale di protezione. L'inerbimento ed il consolidamento mediante idrosemina consiste nello spruzzare ad alta pressione, sul terreno preventivamente preparato, una soluzione di acqua, semi, collante ed altri eventuali componenti. La possibilità di variare in molti modi la composizione delle miscele, rende l'idrosemina adatta alla soluzione di quasi tutti i problemi di rinverdimento. L'intervento è adatto a coprire grandi e medie superfici anche a elevata pendenza.

- **Opere idrauliche**

La durabilità delle strade e delle piazzole di un parco eolico è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche. La viabilità esistente sarà interessata da un'analisi dello stato di consistenza delle opere idrauliche già presenti: laddove necessario, tali opere idrauliche verranno ripristinate e/o riprogettate per garantire la corretta raccolta ed allontanamento delle acque defluenti dalla sede stradale, dalle piazzole o dalle superfici circostanti. Le scelte progettuali saranno condotte secondo principi di invarianza idraulica così da avere opere ad "impatto zero" sull'esistente reticolo idrografico, rispettando il regime idraulico ante operam e recapitando le acque superficiali presso gli impluvi ove naturalmente, oggi, sono convogliate. Il sistema di opere idrauliche, in uno con le caratteristiche della viabilità e delle piazzole del parco, non modificheranno né il reticolo di drenaggio esistente, né la risposta dei bacini per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi, di conseguenza non varieranno le caratteristiche di permeabilità e non si avranno praticamente variazioni della portata da scaricare.

Le acque defluenti dalla sede stradale, dalle piazzole o dalle superfici circostanti potranno essere raccolte ed allontanate dalle seguenti opere idrauliche:

- ✓ fossi di guardia in terra, eventualmente con fondo rivestito in pietrame;
- ✓ opere di dissipazione in pietrame;
- ✓ pozzetti in cls prefabbricato;
- ✓ arginello in terra;
- ✓ in fase di esecuzione, così come per le opere di bioingegneria, saranno scelte le opere migliori per il drenaggio delle acque meteoriche valutate caso per caso e a seconda dei risultati elaborati dalle relative indagini.

12.2 Compatibilità idrogeologica del progetto proposto

Per giungere a dimostrare la compatibilità geologica delle opere di progetto e per meglio inquadrarne gli aspetti d'impatto idrogeologico salienti, in modo da poter esprimere in maniera più compiuta un giudizio sulla sua compatibilità geologica, è necessario è necessario descrivere in maniera sintetica lo stato dei luoghi del territorio in esame ed effettuare alcune considerazioni inerenti sia all'assetto territoriale, già precedentemente descritto, sia alla tipologia degli interventi che si intendono realizzare.

La caratterizzazione geomorfologica del territorio esaminato è stata effettuata individuando tutte quelle forme che consentono di caratterizzare i vari aspetti geomorfologici di un versante (rotture di pendio, solchi di erosione, terrazzi naturali e antropici, ecc.) che hanno permesso di individuare le forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali, inquadrate nell'ambito del sistema crinale–versante–fondovalle, legate all'evoluzione più o meno recente del territorio nonché i processi che ne determinano il modellamento attuale.

Tale caratterizzazione ha messo in evidenza che nell'area di stretto interesse che sarà interessata dalla realizzazione del parco eolico non sono presenti fenomeni d'instabilità in atto,

non ci sono versanti in equilibrio precario (in terre o in roccia) che possano essere interessati da fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi, come pure sono assenti terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua, che possano essere sottoposti a possibili rifluimenti parziali o generalizzati, a causa dei fenomeni di liquefazione. I rilievi effettuati in campagna traggono, quindi, spiegazione dalle considerazioni sopra effettuate, e contemporaneamente le supportano come evidenze tangibili della loro coerenza. In merito alle opere da realizzare come sopra descritte possono esprimersi le seguenti considerazioni:

1) per la realizzazione degli aerogeneratori non sarà modificata la geometria dei luoghi con ingenti scavi e/o riporti, tagli, ecc., né saranno create neosuperfici esposte ad elevata pendenza: ciò si traduce nell'eliminazione di un ben noto fattore d'innesco di movimenti franosi dei terreni di copertura;

2) i carichi degli stessi aerogeneratori saranno trasferiti tramite fondazioni profonde ai terreni più consistenti del substrato geologico locale: in tal modo non si creano disequilibri di masse lungo il versante e di conseguenza non si determina un aumento della pericolosità da frana del territorio;

3) nello stesso tempo, tutte le opere previste per la posa in opera degli stessi non producono condizioni di concentrazione di deflusso superficiale tali da innescare processi di erosione e denudazione che possano evolvere in reali dissesti e, nello stesso tempo, non costituiscono ostacolo ai deflussi attualmente in essere nella zona;

4) gli scavi previsti per l'alloggiamento del cavidotto, per altro di minima entità, saranno realizzati per la maggior parte su tracciati stradali esistenti, per cui non peggiorano le condizioni di pericolosità idrogeologica attualmente presenti nel territorio.

Tanto premesso, ed alla luce degli interventi di progetto che ricadono nelle aree a pericolosità e rischio da frana (alcuni tratti del cavidotto interrato), è utile ricordare che il progetto proposto è un'opera di interesse pubblico riferita ad un servizio pubblico essenziale non delocalizzabile. Sicuramente rispetto al progetto proposto non esistono alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili perché il percorso individuato per il cavidotto è l'unico che consente di allacciare tutti gli aerogeneratori alla sottostazione utente individuata.

È da segnalare, poi, che la suddetta opera di interesse pubblico risulta sicuramente coerente con la pianificazione degli interventi di emergenza di protezione civile, in quanto con essi non interferisce in alcun modo e, per la sua realizzazione, non si ravvisa la necessità di realizzare preventivamente o contestualmente idonee opere di mitigazione del rischio esistente essendo lo stesso cavidotto, completamente interrato e per la quasi totalità su tracciati di strade esistenti, quindi non capace di ostacolare il normale deflusso delle acque in superficie ed in alveo, né tanto meno può essere coinvolto da eventuali fenomeni franosi perché sufficientemente interrato e protetto.

Per i motivi fin qui considerati è possibile esprimere valutazioni positive sulla compatibilità degli interventi da realizzare con l'assetto idrogeologico dell'area, in quanto gli stessi non pregiudicano la stabilità attuale della zona e sono da considerarsi, appunto, compatibili dal punto di vista idrogeologico con la situazione di pericolosità e di rischio da dissesti di versante attualmente sostenibile dal territorio. In definitiva, tutte le opere di progetto non interferiranno sull'assetto idrogeologico attuale del territorio in esame risultando pienamente in linea con il dispositivo vincolistico e tecnico del PAI varato dall'Autorità di Bacino comptente, in quanto:

- *non peggiorano le condizioni di sicurezza attuali del territorio e di difesa del suolo;*
- *non costituiscono un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante e/o elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- *non pregiudicano eventuali interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- *non si producono modifiche sull'assetto morfologico, planimetrico ed altimetrico degli alvei;*
- *sono garantite le condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alle condizioni di pericolosità idrogeologica attualmente sostenibili dal territorio in cui si inserisce.*

Il processo di verifica, valutazione e stima della compatibilità geologica dell'intervento, sommariamente ripercorso in queste pagine, ha portato a stabilire che essa è, appunto verificata, stimata e valutata rispetto allo stato attuale, in quanto non si sono ravvisati condizioni geologiche tali da compromettere la realizzabilità dei lavori di progetto.

In conclusione, i risultati dello studio di compatibilità idrogeologica effettuato sui diversi aspetti geomorfologici, idrogeologici e geolitologici dei siti in esame permette di affermare che gli interventi proposti sono in linea con il disposto delle misure di salvaguardia dell'ex Autorità di competenza territoriale, rientrando, a tutti gli effetti, tra gli interventi adottabili, in quanto non interferiscono con i dissesti idrogeologici presenti o potenziali dell'area e soprattutto non creano nuove condizioni di rischio attualmente sostenibili dal territorio, così come richiesto dalle Norme di Attuazione e Prescrizioni di Piano. Tutte queste considerazioni, associate alle conoscenze geologiche acquisite nel corso dello studio di dettaglio eseguito, consentono di affermare che l'area in esame rientra in un territorio che per le sue generali condizioni risulta idoneo ad accogliere i lavori di progetto, che verranno messi in atto adottando tutti gli accorgimenti necessari per garantire la funzionalità e la sicurezza delle opere.

A valle del presente studio, viste le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche delle aree esaminate, e per i motivi fin qui considerati, è possibile affermare che il progetto per la realizzazione dell'impianto eolico previsto nei Comuni di Altare e Cairo Montenotte in Provincia di Savona, è da considerarsi compatibile con le condizioni di pericolosità e di rischio idrogeologico attualmente presenti nel territorio esaminato in quanto non altera l'equilibrio idrogeologico dell'area in cui si inserisce e dell'ambito geomorfologico di riferimento.

13. Campagna di indagini geognostiche previste per il progetto esecutivo

La progettazione prevede l'installazione di n°6 aerogeneratori di grande dimensione ed altezza che dovranno essere adeguatamente fondati al fine di garantire idonea stabilità agli stessi ai fini statici, dinamici connessi alle sollecitazioni del vento, nonché sismici imposti dalla risposta microsismica del sito di installazione. Gli aerogeneratori saranno poi collegati tra di loro dal cavidotto di raccolta e trasferimento dell'energia prodotta da ciascuno di essi fino alla sottostazione di consegna dell'energia.

La caratterizzazione geologica e geotecnica inerente la fase definitiva di progetto si è basata sull'analisi di indagini disponibili realizzate in aree limitrofe a quella in esame e su terreni appartenenti alle medesime formazioni geologiche, mentre per la determinazione della categoria di sottosuolo, invece, sono state eseguite n°5 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*).

Nella successiva fase progettuale esecutiva, sulla base delle generali caratteristiche geologiche, strutturali, geomorfologiche ed idrogeologiche e simiche dell'areale di progetto dovranno essere realizzati i seguenti accertamenti geognostici investigativi di dettaglio al fine di garantire alla progettazione la idonea sicurezza:

1. Realizzazione di n°6 perforazioni di sondaggio con carotaggio in continuo dei suoli, approfondite fino a quote di 35 metri dalla superficie, in corrispondenza di ciascuna postazione aerogeneratore e cabina di consegna dell'energia, al fine di definire in maniera puntuale la successione litostratigrafica di ciascun sito e di effettuare prove geotecniche e prelievo di campioni per le caratterizzazioni geotecniche in laboratorio autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici;

2. installazione di n°6 piezometri a tubo aperto da installarsi in ciascuno dei fori di sondaggio al fine di monitorare l'assetto idrogeologico sotterraneo dei suoli di progetto;

3. esecuzione di n°5 prove S.P.T. in foro di sondaggio per ciascuna perforazione;

4. prelievo di n°3 campioni di terreno indisturbati con campionatore sottile Shelby per ciascuna perforazione;

5. analisi presso laboratorio geotecnico autorizzato dal Ministero LL.PP. dei campioni di terreno prelevati, per la determinazione dei parametri fisici e meccanici delle varie unità litologiche presenti.

Le perforazioni saranno caratterizzate dalle seguenti modalità operative:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei suoli attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati di terreno in numero di due per ciascun sondaggio;
- prove geotecniche di laboratorio sulle singole unità litostratigrafiche presenti;
- esecuzione di prove geotecniche e geomeccaniche in foro;
- determinazione della eventuale presenza di falde sotterranee e loro relativa quota piezometrica e soggiacenza, se presente;
- rilievi e monitoraggio in fase di perforazione dei parametri di perforazione (resistenza all'avanzamento, perdita di fluidi di circolazione, usura corone diamantate, coppia di perforazione) con finalità di accertamento geotecnico della competenza geomeccanica dei singoli livelli attraversati.

ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Per l'esecuzione dei sondaggi saranno utilizzate macchine dotate di sonda a rotazione sia di tipo gommato che cingolato in funzione delle difficoltà tecnico-operative di accesso ai terreni e come dettate dalle locali condizioni morfotopografiche e di imbibizione idrica dei terreni.

UTENSILI DI PERFORAZIONE

La perforazione sarà eseguita a rotazione e "carotaggio continuo" con aste e carotiere, utilizzando carotieri semplici del diametro di 101 mm e rivestimenti del diametro di 127 mm.

PROVE GEOTECNICHE IN FORO

Nel corso delle perforazioni di sondaggio si procederà altresì alla esecuzione di prove con penetrometro tascabile sulle carote estratte dal carotiere, allo scopo di avere una prima stima delle caratteristiche geotecniche dl materiale, e prove S.P.T. nei fori di sondaggio.

ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Nel corso delle perforazioni di sondaggio si procederà per ciascuna di esse al prelievo di campioni di suolo in fase di perforazione tramite campionatore a pareti sottili di tipo Shelby. Saranno prelevati almeno n°3 campioni di suolo da ciascun sondaggio eseguito. Il prelievo dei campioni sarà effettuato in modo da caratterizzare le unità litostratigrafiche ritenute importanti ai fini geotecnici per l'appoggio degli aerogeneratori.

I campioni prelevati in tal modo, subito dopo il loro prelievo, saranno sigillati in modo da evitare perdita di umidità e quindi rappresentatività della prova da compiersi sui medesimi nel medesimo campionatore utilizzato per il prelievo tramite paraffina liquidificata ed inviati nella medesima giornata al laboratorio geotecnico designato ed autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti.

Le prove da effettuarsi dal laboratorio sui singoli campioni inviati vengono riportate nella scheda seguente, gli esiti analitici delle prove di laboratorio saranno utilizzati per la caratterizzazione litotecnica delle unità di appoggio fondali.

Su ciascun campione saranno pertanto effettuate le seguenti prove di caratterizzazione:

- determinazione della massa volumica mediante fustella e pesata;
- determinazione del peso specifico dei granuli;
- determinazione del peso di volume secco e saturo;
- determinazione dell'indice dei vuoti, della porosità e del grado di saturazione;
- determinazione della resistenza alla punta con pocket penetrometer;
- analisi granulometrica per via secca per vagliatura;
- analisi granulometrica per sedimentazione con aerometro;
- determinazione dei limiti di plasticità e liquidità;
- prova di consolidazione edometrica ad incrementi di carico controllati;
- prova triassiale UU o prova di compressione uniassiale
- prova di espansione laterale libera.

Postiglione, Luglio 2023

Il Geologo
dott. Antonio Viggiano



Il Geologo
dott. Mattia Lettieri

