REGIONE LIGURIA

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI SAVONA

COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI PER UNA POTENZA COMPLESSIVA PARI A 29,4 MW DENOMINATO "BRIC MUND" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE (SV) IN LOCALITÁ CAMPONUOVO E DELLE OPERE CONNESSE E INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALL'ESERCIZIO DELLE STESSE SITE NEI TERRITORI DI CARCARE (SV), ALTARE (SV) E MALLARE (SV)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

Statkraft

SKI W A3 S.R.L.
Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 11412940964
C.F. 12655750961

Foro Buonaparte 60
20121 Milano

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

IGNAZIO GIUFFRE'
04.12.2025 17:34:38 GMT+01:00

PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

GEOLOGO

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

CODICE ELABORATO

SKC_R_01_A_G_A_1

SCALA

Girolamo Gorgone
15.12.2025 18:58:11 GMT+02:00

n°.Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

Rif. PROGETTO

N.

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE

COPYRIGHT STATKRAFT- TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE

COMUNI DI CAIRO MONTENOTTE

PROVINCIA DI SAVONA

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

Progetto Definitivo

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 7 aerogeneratori per una potenza complessiva pari a 29,4 MW denominato BRIC MUND da realizzarsi nel comune di Cairo Montenotte (SV) in località Camponuovo e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei territori di Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV)

Comm.: ***Ing. Girolamo Gorgone*** per conto di
Statkraft

Data: ***Settembre 2025***

Il Geologo
(Dott. Ignazio Giuffré)

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

Via Mazzini, 9 - 90018 Termini Imerese (PA) Tel. 338.4373063
P. IVA: 04698200823 E Mail – ignazio.giuffre@gmail.com

COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE

PROVINCIA DI SAVONA

RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA

"Progetto per la realizzazione di un impianto eolico composto da 7 aerogeneratori per una potenza complessiva pari a 29,4 MW denominato BRIC MUND da realizzarsi nel comune di Cairo Montenotte (SV) in località Camponuovo e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei territori di Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV)"

Premessa

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 7 aerogeneratori per una potenza complessiva pari a 29,4 MW denominato BRIC MUND da realizzarsi nel comune di Cairo Montenotte (SV) in località Camponuovo e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei territori di Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV), eseguito su incarico dell'Ing. Girolamo Gorgone, in nome e per conto di della *Statkraft*.

Il tale ottica e per fornire al progettista, gli elementi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, in ottemperanza alle norme riportate nelle *N.T.C. 2018 - Norme tecniche per le costruzioni* (D.M. 17 Gennaio 2018), sono stati eseguiti diversi sopralluoghi, in modo da acquisire quanti più elementi possibili per una esatta ricostruzione delle condizioni generali caratterizzanti l'area in studio.

I dati rilevati unitamente a quelli noti allo scrivente, per essersi interessato in passato a studi su terreni di analoga facies petrografica, sono stati in ultimo correlati con quanto indicato in merito dalla letteratura specializzata esistente (*Carta geologica d'Italia – Foglio 228 "Cairo Montenotte"* in scala 1:50.000, redatta da G. Dallagiovanna, L. Gaggero, S. Seno, F. Felletti, P. Mosca, A. Decarlis, L. Pellegrini, F. Poggi, D. Bottero, a cura della Regione Liguria – Settore Assetto del Territorio – ISPRA Istituto Superiore per la protezione e la Ricerca Ambientale – Servizio Geologico d'Italia, *Carta geologica d'Italia – Foglio 211 "Dego"* in scala 1:50.000, redatta da R. Gelati, M. Gnaccolini, R. Polino, P. Mosca, F. Piana, M. Morelli e G. Fioraso, a cura di ARPA Piemonte – Struttura Geologia e Dissesto – ISPRA Istituto Superiore per la protezione e la Ricerca Ambientale – Servizio Geologico d'Italia e *Carta Geologica Regionale* sc. 1:25000 riferita al *Foglio 212 "Spigno Monferrato"* - sc. 1:50000, a cura di Capponi G., Crispini L. e Federico L.) al fine di ottenere una corretta ricostruzione della successione litostratigrafica locale ed una più attendibile definizione dei principali parametri geotecnici dei terreni interessati dall'opera.

In ultimo sono state eseguite indagini geofisiche con sismica a rifrazione applicando il metodo *MASW*, al fine di approfondire le conoscenze sui terreni oggetto di studio, ed in particolare per la definizione della categoria di suolo di fondazione ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri, ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e dalla Circolare 21/01/2019, n. 7 *"Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"* (G. U. Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).

Sarà compito del progettista, sulla scorta dei dati di seguito riportati e da quelli emersi dalle indagini eseguite, effettuare le verifiche e le scelte progettuali così come previsto dalle norme vigenti (*parere del Consiglio di Stato n°154 del 02.06.1994*).

Il lavoro è stato , quindi, articolato sviluppando il seguente schema:

1. inquadramento dell'area;
2. lineamenti geologici;
3. lineamenti geomorfologici;
4. lineamenti idrogeologici;
5. considerazioni geologico - tecniche;
6. sismica storica;
7. rischio e pericolosità sismica;
8. indagini sismiche;
9. categoria di suolo;
10. conclusioni.

Risultano allegati alla presente relazione i seguenti elaborati:

- carta geologica in scala 1:10.000 (***Tav. 1***);
- carta geomorfologica in scala 1:10.000 (***Tav. 2***);
- carta idrogeologica in scala 1:10.000 (***Tav. 3***);
- indagini sismiche.

1. Inquadramento dell'area

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel settore nord occidentale della Liguria circa 4 chilometri a est in linea d'aria rispetto all'abitato di Cairo Montenotte.

Il parco eolico ricade nella provincia di Savona e più specificatamente nel territorio comunale di Cairo Montenotte (SV), il cavidotto di connessione in media tensione ricade interamente nei territori di Cairo Montenotte (SV), Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV). La futura stazione di connessione alla RTN si localizza nel territorio di Mallare (SV) in località *Peirano.*

Topograficamente, il sito rientra nelle Tavolette *"Cairo Montenotte"*, Foglio n° 81, Quadrante II, Orientamento S.O., *"Altare"*, Foglio n° 81, Quadrante II, Orientamento S.E., *"Mallare"*, Foglio n° 92, Quadrante I, Orientamento S.O. e *"Vado Ligure"*, Foglio n° 92, Quadrante I, Orientamento N.E. redatte dall'I.G.M.I. alla scala 1:25.000 e ricade nella Sezione 229050, 229010, 228080, 228040, 212130 e 211160 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000.

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto eolico composto da 7 aerogeneratori da 4,2 MW ciascuno, per una potenza nominale complessiva di 29,4 MW. Ogni aerogeneratore, servito da un piazzale di sosta e manovra, è collegato agli altri mediante piste di accesso (in parte su tracciati viari già esistenti) necessarie tanto all'attività di realizzazione che di successiva manutenzione dell'impianto. Un cavidotto interrato in media tensione collegherà le turbine alla futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/132/36 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "*Magliano - Vado Ligure*".

Il sito del parco eolico è localizzato a circa 3,7 km a sud-est del centro abitato di Cairo Montenotte (SV) e a circa 4,5 km a nord-est di Carcare (SV). L'area risulta agevolmente raggiungibile da Genova percorrendo l'autostrada E25, proseguendo lungo la E80 fino a Savona e successivamente imboccando la E717. All'altezza del casello di Altare si accede alla NSA 338, per poi proseguire lungo la SP29 in direzione Cairo Montenotte (SV). Dal centro abitato, il sito è raggiungibile attraverso la strada comunale Camponuovo.

Il sito di impianto presenta una morfologia prevalentemente collinare-montuosa, con quote altimetriche comprese tra i 533 m s.l.m. in corrispondenza della postazione WTG05 e i 641 m s.l.m. in corrispondenza della postazione WTG01. Le aree individuate per l'installazione degli aerogeneratori risultano attualmente destinate prevalentemente a bosco a prevalenza di castagno, utilizzato a fini di arboricoltura da legno.

A livello geografico il sito si localizza alle coordinate (identificate da un punto mediano d'impianto):

Coordinate WGS84	
N	44°23'27.51"N
E	8°19'26.48"E

Coordinate mediane d'impianto

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che permette di identificare; modello, denominazione e posizione geografica degli aerogeneratori che compongono il Parco eolico di progetto.

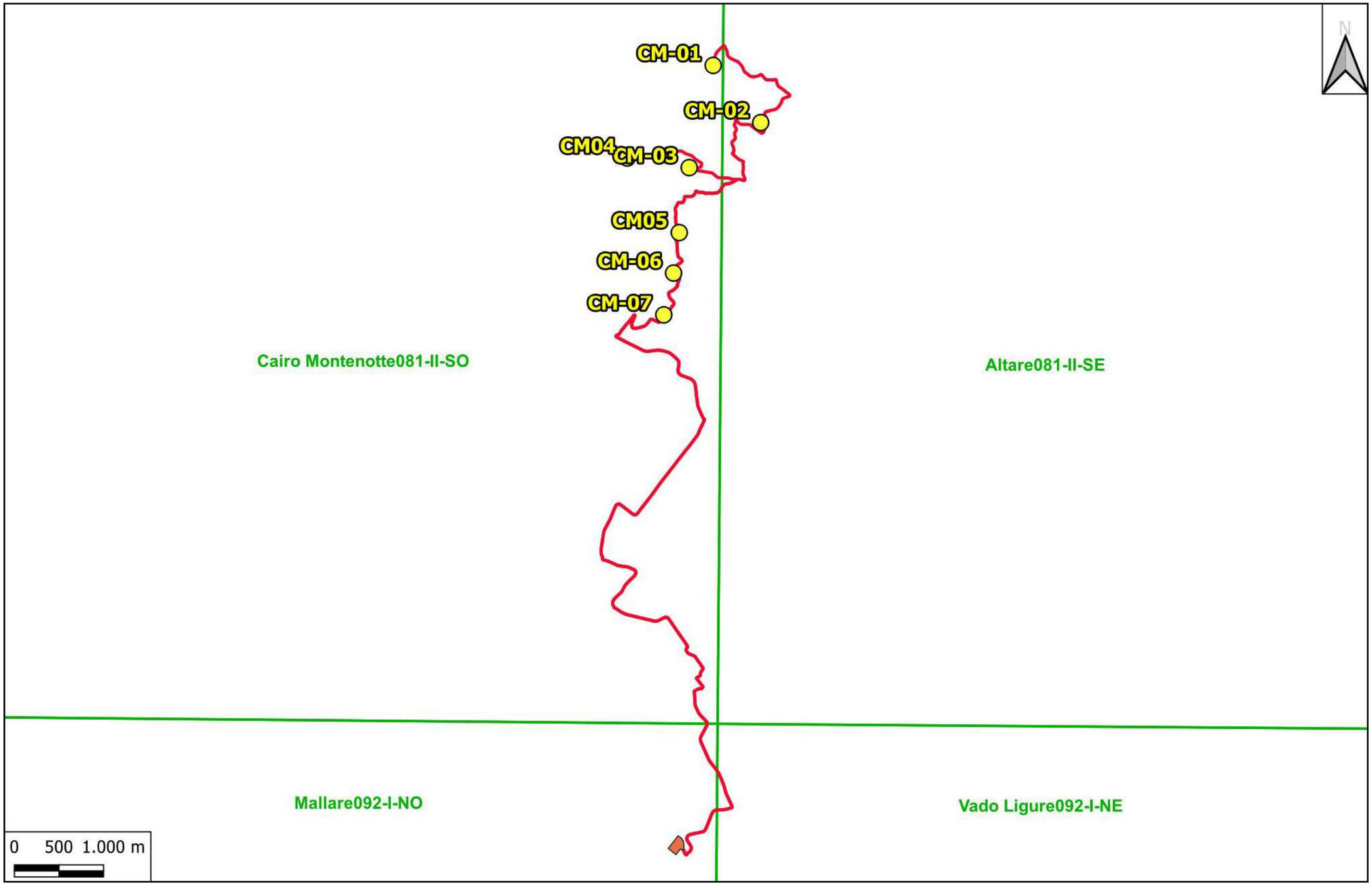
INQUADRAMENTO TERRITORIALE		
	PARCO EOLICO	PUNTO DI CONNESSIONE
Località impianto	Camponuovo	Peirano
Comuni interessati	Cairo Montenotte (SV)	Mallare (SV)
Inquadramento CTR	211160 Rocchetta Cairo 212130 Giusvalla 228040 Cairo Montenotte 229010 Pra Sottano	228080 Pallare
Inquadramento IGM	81 II-SO Cairo Montenotte 81 II-SE Altare	92 I-NO Mallare

CARATTERISTICHE DELLE TURBINE	
Modello	Vestas V150 o similare/equivalente
Potenza nominale	4,5 MW Limitate 4,2 MW

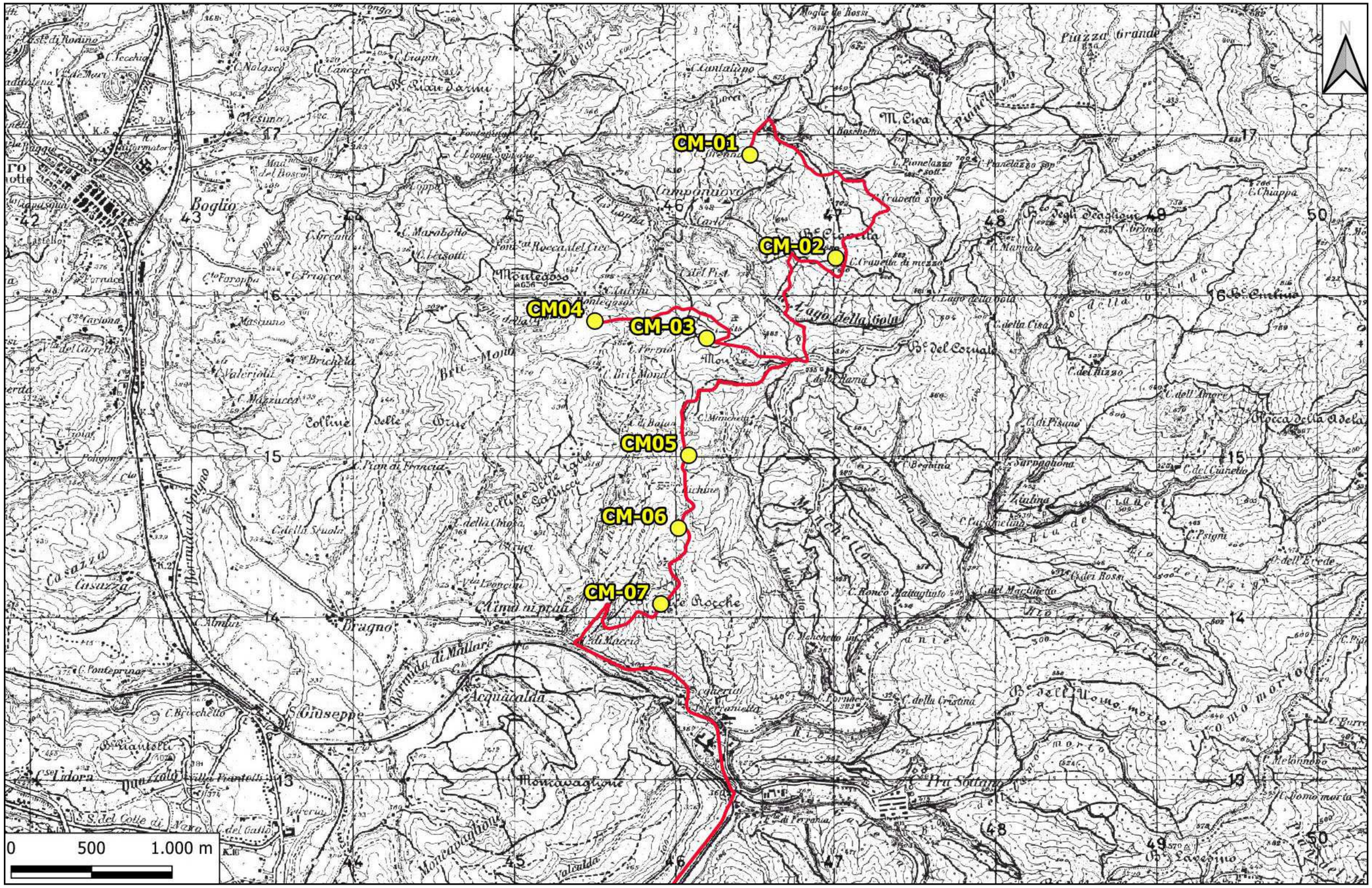
Dimensioni	Altezza del mozzo dal piano di campagna: fino a 105 m
	Diametro del rotore fino a 150 m
	Altezza totale dell'aerogeneratore: fino a 180 m

NUMERO E LOCALIZZAZIONE DELLE TURBINE

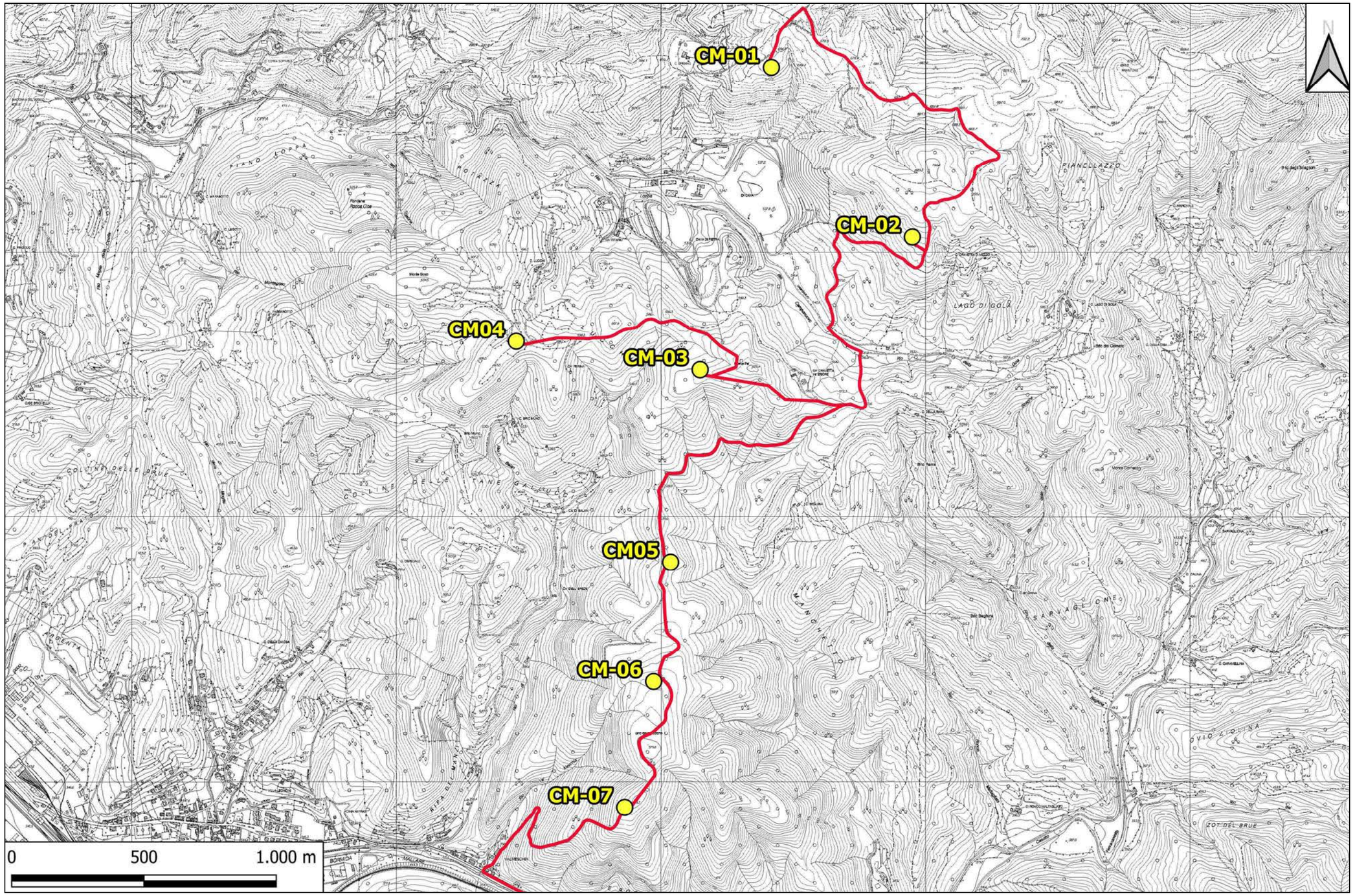
Codice turbina	Comune	Foglio	Particella	Coordinate WGS84 (Lat. - Long.)		Quota (m s.l.m.)
CM-01	Cairo Montenotte (SV)	38	81	44°24'5.18"N	8°19'36.40"E	641,80
CM-02	Cairo Montenotte (SV)	55	3	44°23'44.59"N	8°20'0.72"E	632,49
CM-03	Cairo Montenotte (SV)	54	24	44°23'28.07"N	8°19'24.66"E	547,49
CM-04	Cairo Montenotte (SV)	53	113	44°23'31.36"N	8°18'53.21"E	608,18
CM-05	Cairo Montenotte (SV)	54	35	44°23'4.49"N	8°19'19.88"E	508,52
CM-06	Cairo Montenotte (SV)	72	152	44°22'49.81"N	8°19'17.16"E	533,02
CM-07	Cairo Montenotte (SV)	72	152	44°22'34.43"N	8°19'12.39"E	560,15



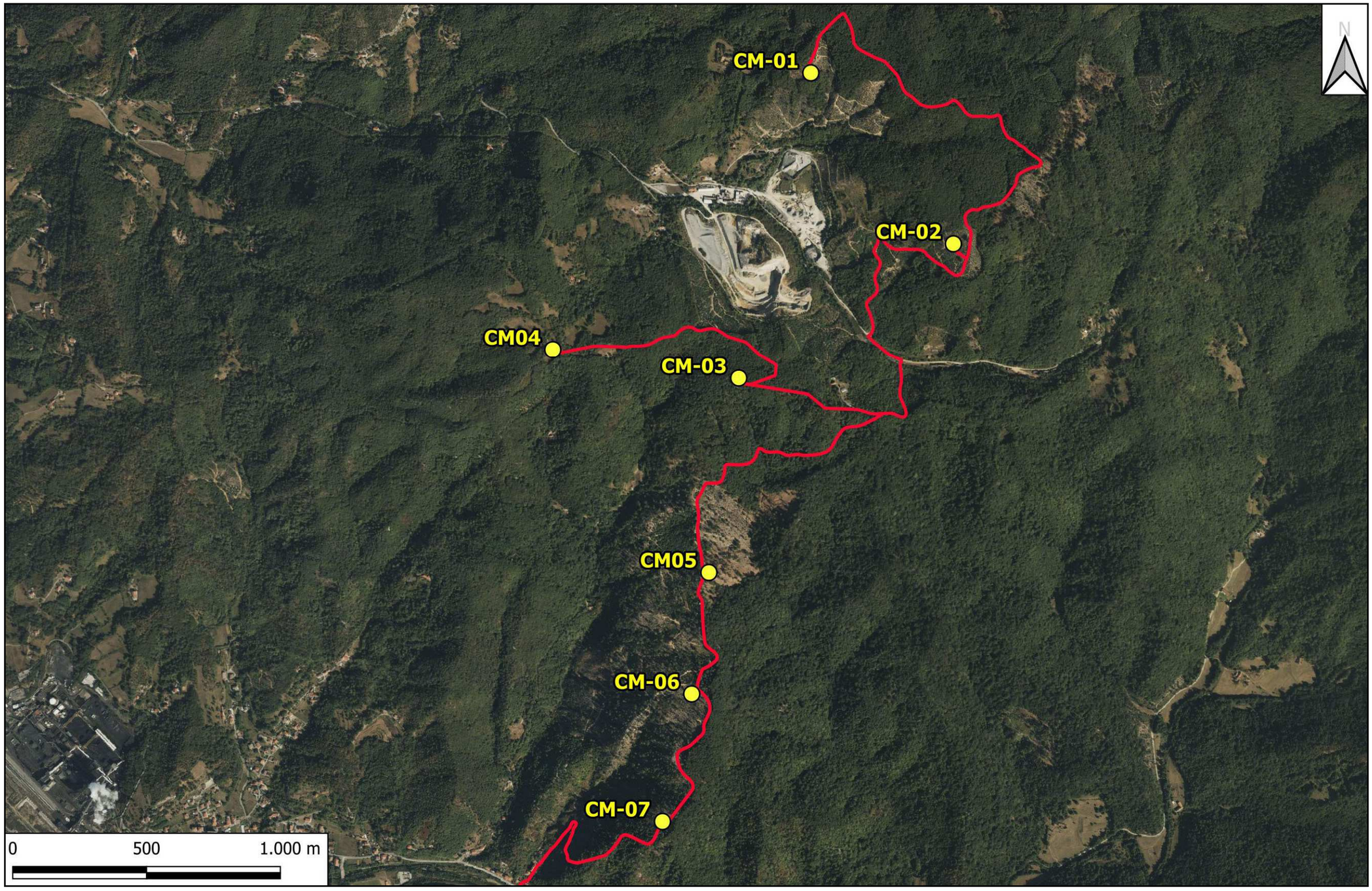
Quadro d'unione tavolette IGMI in scala 1:25.000



Stralcio Tavoletta IGMI in scala 1:25.000



Stralcio CTR in scala 1:10.000



Ortofoto area impianto

2. Lineamenti geologici

I caratteri geologici e litologici generali dell'area oggetto delle osservazioni saranno di seguito riportati, allo scopo di mettere in evidenza gli aspetti di maggiore importanza quali la natura, la giacitura e la struttura dei litotipi presenti.

Dal punto di vista geologico l'area si inserisce nel settore ligure della catena alpina, e come tutte le Alpi, deriva da un complicato processo geodinamico che, dopo la subduzione di litosfera oceanica e la successiva collisione tra le placche continentali europea e insubrica, ha portato alla costruzione di un orogene formato da un insieme di unità tettoniche di derivazione continentale e oceanica. La strutturazione dell'orogene delle Alpi Liguri e Marittime non è sostanzialmente cambiata, almeno nei livelli crostali superficiali, anche dopo la loro rotazione antioraria oligo-miocenica (VANOSSI *et alii*, 1994).

Limitatamente a questo settore di catena affiorano tre sistemi strutturali principali, separati da superfici tettoniche, a cui corrispondono altrettanti domini paleogeografici, a partire dall'alto verso il basso geometrico: il *Piemontese-Ligure*, il *Pennidico* e il *Delfinese-Provenzale*. A tutt'oggi risulta dubbia la presenza di elementi di pertinenza insubrica.

Il dominio Piemontese-Ligure è il sistema più interno di falde classicamente rappresentato, essenzialmente nell'estremo settore orientale della catena, dal Gruppo di Voltri e da altre unità ofi olitiche (UTS di M. Figogna, UTS Cravasco-Voltaggio, UTS di Montenotte) coinvolte nei processi subduttivi e collisionali.

Nella porzione sud-occidentale, ma in posizione esterna, le falde dei "Flysch ad Elmintoidi" occupano la posizione geometrica più elevata: si differenziano dalle altre unità di ambiente oceanico perché sono prive di metamorfi smo in quanto ritenute precocemente scollate e non coinvolte nel processo di subduzione alpino.

Il dominio Pennidico delle Alpi Liguri è formato da unità tettoniche che hanno ben registrato la storia metamorfi codeformativa alpina e sono di pertinenza sia continentale europea (Brianzonese), sia del suo stesso margine (Piemontese s.l.), comprese le unità di Calcescisti con prasiniti e/o olistoliti ofi olitici (Calcescisti esterni e interni) deposti verosimilmente su crosta continentale, presumibilmente assottigliata.

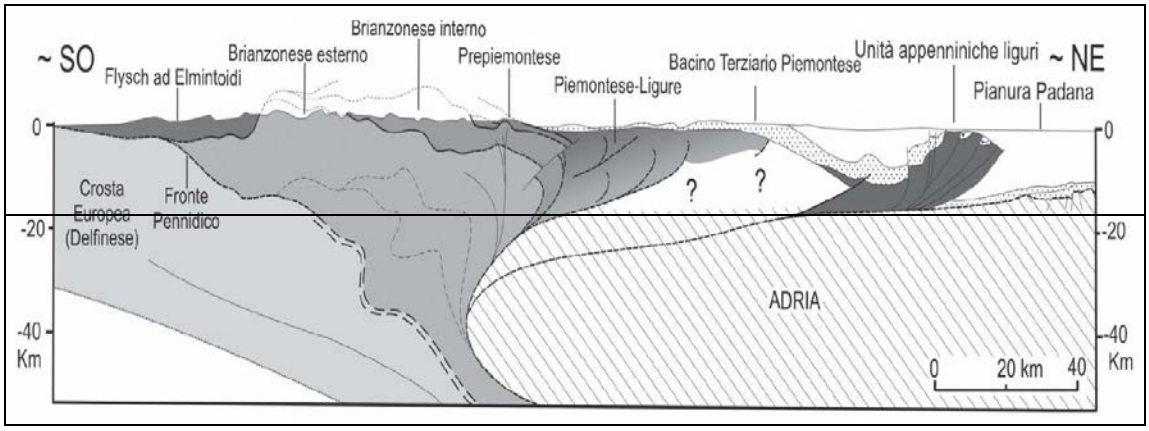
Il dominio Delfi nese-Provenzale, prosecuzione meridionale del dominio Elvetico, rappresenta la parte di avampaese europeo coinvolto blandamente dagli eventi alpini: è il sistema strutturale più esterno e profondo della catena su cui sono tettonicamente sovrapposte le unità pennidiche esterne e le falde dei "Flysch ad Elmintoidi" che coprono il contatto tettonico (Fronte Pennidico) fra questi due domini. Il Delfinese comporta un basamento cristallino, affi orante nel massiccio dell'Argentera-Mercantour, che conserva le paragenesi di una complessa evoluzione metamorfica a cui l'orogenesi varisica conferisce l'impronta finale. I terreni post-ercinici sono rappresentati da successioni detritiche stefaniano-westfaliane? alle quali succedono potenti spessori di sedimenti continentali permiani, con rare intercalazioni vulcaniche. Le coperture meso-cenozoiche iniziano con arenarie del Trias inferiore e proseguono con carbonati di piattaforma per tutto il periodo. Dopo la lacuna liassica riprende la sedimentazione marina con depositi calcarei, argillosi e/o finemente detritici, con pulsazioni del livello marino (regressioni e trasgressioni) e facies da tidali (Calcari nummulitici) a emipelagiche (Marne priaboniane), a fl yschoidi ("Grès d'Annot") che chiudono la successione.

In recenti lavori (SENO *et alii*, 2003, 2005a, 2005b) è stata ricostruita, sulla base di dati ottenuti sia da analisi stratigrafi che e strutturali, sia dallo studio delle paragenesi metamorfi che, l'evoluzione cinematica e il percorso effettuato dalle unità brianzonesi, piemontesi e piemontesi-liguri e il loro inserimento in un ampio settore centro-meridionale delle Alpi liguri. Questa ricostruzione ha portato a concludere che la catena è costituita da una serie di *duplex* sovrapposti delimitati da superfi ci tettoniche, a vergenza europea, attivati progressivamente verso l'esterno e in parte riprese e modifi cate successivamente. L'interposizione di un *duplex* prepiemontese poco metamorfi co tra due *duplex* (brianzonese interno e piemontese-ligure) dotati di metamorfi smo di alta pressione ha condotto inoltre all'elaborazione di un modello cinematico che prende in esame i problemi della subduzione e della riesumazione e i loro condizionamenti spazio-temporali: mette in evidenza che gli eventi metamorfi ci subiti dalle unità sono il frutto di un'evoluzione complessa, condizionata anche dalle cinematiche locali, e che quindi ognuna di esse può avere una storia diversa da quelle limitrofe. Dal punto di vista deformativo è noto da tempo (VANOSSI *et alii*, 1986) che la strutturazione delle Alpi

liguri si è manifestata attraverso almeno quattro fasi duttili con intensità, direzioni e, in alcuni casi, modalità differenti nei diversi gruppi di unità (DALLAGIOVANNA *et alii*, 1997), in funzione dei diversi percorsi evolutivi.

Come già detto, nell'area del foglio affi orano estesamente unità tettoniche presenti anche in gran parte delle Alpi occidentali ed attribuite ai domini paleogeografi ci piemontese-ligure, prepiemontese e brianzonese sulla base della posizione geometrica, del grado metamorfico, decrescente da quelle più elevate a quelle più profonde, e dei caratteri stratigrafi ci delle loro coperture mesozoiche.

Di seguito viene illustrata brevemente la collocazione regionale di queste unità, a partire da quelle geometricamente più elevate.



Sezione crostale dall'avanfossa padana fino al dominio delfinese attraverso la catena delle Alpi liguri
(tratto da Note illustrative della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio 228 CAIRO MONTENOTTE)

Di seguito vengono descritte le unità affioranti partendo dalla più antica alla più recente.

- **a1 - Deposito di frana;**
- **a3 - Deposito di falda;**
- **b - Deposito alluvionale;**
- **b1 - Deposito alluvionale attuale;**
- **b2 - Deposito eluvio-colluviale;**
- **b4 - Deposito di debris flow;**
- **CMT3 - Subsintema di Rocchetta Cairo;**

Depositi ghiaiosi-sabbiosi a supporto di clasti, localmente a supporto di metrice debolmente per nulla alterati. Le ghiaie sono coperte da coltri di esondazione di spessore metrico costituite da sabbie a laminazione piano parallela e da silt e sabbie massive con lenti sabbiose di spessore decimetrico (*Olocene - Attuale*)

- **CMT2 - Subsintema di Dego;**
  Depositi ghiaioso-sabbiosi a supporto di cclasti debolmente alterati. Clasti di taglia centimetrico-decimetrica, da subarrotondati a ben arrotondati. Ghiaie localmente coperte da coltri di esondazione da decimetrico a metrico costituite da sabbie siltose massive o con laminazione piano-parallela (*Pleistocene Sup. - Oligocene*)
- **MORd - FORMAZIONE DI MOLARE;**
  Siltiti grigio azzurrognole con locale presenza di lenti microconglomeratiche. Stratificazione difficilmente riconoscibile e scarsa organizzazione ad eccezione di intervalli con accenni di laminazione a basso angolo. (*Oligocene Inf. - Oligocene Sup.*)
- **MORc - FORMAZIONE DI MOLARE;**
  Calcari biancastri fortemente ricristallizzati che presentano un assortimento bioclastico ben diversificato. Calcareniti e biocalcareniti da medie a grossolane talora con abbondante componente terrigena. Localmente presenti facies biocostruitea coralli associati ad alghe corallinacee, briozoi echinodermi, macroforaminiferi. (*Oligocene Inf. - Oligocene Sup.*)
- **MORb - FORMAZIONE DI MOLARE;**
  Conglomerati mal selezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri) in rozze bancate, a clasti poligenici e matrice arenacea grossolana. Alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici. (*Oligocene Inf. - Oligocene Sup.*)
- **MOR - FORMAZIONE DI MOLARE;**
  Siltiti grigio azzurrognole con locale presenza di lenti microconglomeratiche. Stratificazione difficilmente riconoscibile e scarsa organizzazione ad eccezione

di intervalli con accenni di laminazione a basso angolo. (*Oligocene Inf. - Oligocene Sup.?*)

- **TUR - CALCESCISTI DEL TURCHINO;**
  Scisti e quarzoscisti con calcite, fengite, quarzo, clorite, epidoti e albite; calcescisti a bande calcaree, quarzose e pelitiche. (*Cretacico Sup.?*)
- **SFD - SCISTI FILLADICI;**
  Scisti filladici grigi e nerastri, molto micacei, argilloscisti di colore grigio chiaro e calcescisti scuri, molto alterati con patine rosso-brunastre. (*Cretacico Sup.?*)



Affioramento di Scisti filladici (SFD)

- **MBD – METABASALTI;**
  Metabasalti derivati da originarie lave a filoni, associati ai gabbri, con tessitura ofiolitica di plagioclasio e clinopirosseno a grana medio-fine. le paragenesi alpine sono rappresentate da albite, lawsonite, miche bianche su plagioclasio e

anfibolo sodico su pirosseno primario, in pasta di fondo a glaucofane, lawsonite, egirina augite e clorite. (*Dogger Sup.? - Malm Inf.?*)



Affioramento di Metabasalto (MDB)

- **MEG – METAGABBRI;**

  Metagabbri a ossidi di Fe e Ti, a grana grossa, a relitti di clinopirossento, con paragenesi metamorfica alpina ad anfibolo sodico, pirosseno sodico, lawsonite, albite e pumpellyite. Localmente retrocesse in facies Scisti Verdi. (*Dogger?*)



Affioramento di Metagabbro (MEG)

- **TIG – SERPENTINITI;**

  Serpentiniti antigoritiche massicce, con foliazione talore evidente, a relitti mineralogici e tessiturali di lherzoliti e filoncelli rodingitici, con clorite e frequenti vene a riempimento di crisotilo. (*Dogger?*)

- **DSO - DOLOMIE DI MONTE ROSSOTTA;**

  Dolomie grigio chiare e scure a patina bianca in banchi da decimetrici a sub-metrici a Dasicladacee con intercalazioni di calcari, calcari dolomitici, di brecce intraformazionali, calcari marmorei e brecce dolomitiche e vacuolari. (*Anisico - Norico*)

- **QPN - QUARZITI DI PONTE NAVA;**

  Quarziti biancastre e verdine, fengitiche, raramente scistose, a grana medio-grossa, in strati e banchi, a luoghi con concentrazioni ematitiche e sottili intercalzioni di peliti verdi e violacee, più frequenti verso la sommità. (*Scitico*)

- **OGV - ORTOGNEISS DI VETRIA;**
  Ortogneiss granitoidi con associazione pre-alpina a K-feldpsato, oligoclasio, quarzo, muscovite e biotite subordinata. (*Ordoviciano medio*)
- **FMU - FORMAZIONE DI MURIALDO;**
  Metasedimenti fini, varicolori, che raggruppano rocce di diversa natura: quarzoscisti, scisti quarzo-micacei, scisti a cloritoide. Sono caratterizzati dalla presenza di ankerite e calcite. (*Permiano Inf.*)
- **NUC - ORTOGNEISS DI NUCETTO;**
  Ortogneiss granitoidi a grossi fenocristalli (1-5cm) di K-feldspato, quarzo, muscovite e biotite; presenza di filoni aplitici. (Carbonifero Sup. - Permiano Inf.)

Nel dettaglio la turbina CM-01 ricade su terreni afferenti alla formazione di Molara e in particolare la facies a siltiti argillose (**MORd**). La turbina ricade sui Metagabbri (**MEG**). Le turbine CM-03 e CM-04, ricadono sugli Scisti Filladici (**SFD**). Le turbine CM-05 e CM-06, ricadono sulla Formazione di Molara e in particolare sulla facies a conglomerati (**MORb**). La turbina CM-07, ricade sulle Dolomie di Monte Rosotta (**DSO**)

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata carta geologica ***(Tav. 1)*** a scala 1:10.000.

3. Lineamenti geomorfologici

La morfologia di un'area è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, hanno interessato l'intero settore.

I lineamenti morfologici dell'area sono essenzialmente legati all'attività dei corsi d'acqua, ai processi di versante e alla degradazione meteorica; tuttavia è evidente come la morfogenesi abbia subito un forte condizionamento imposto dalle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti e dall'assetto strutturale. Tutto ciò si traduce in una notevole eterogeneità delle forme, talora relativamente dolci ed ondulate, talora scoscese, incassate o svettanti

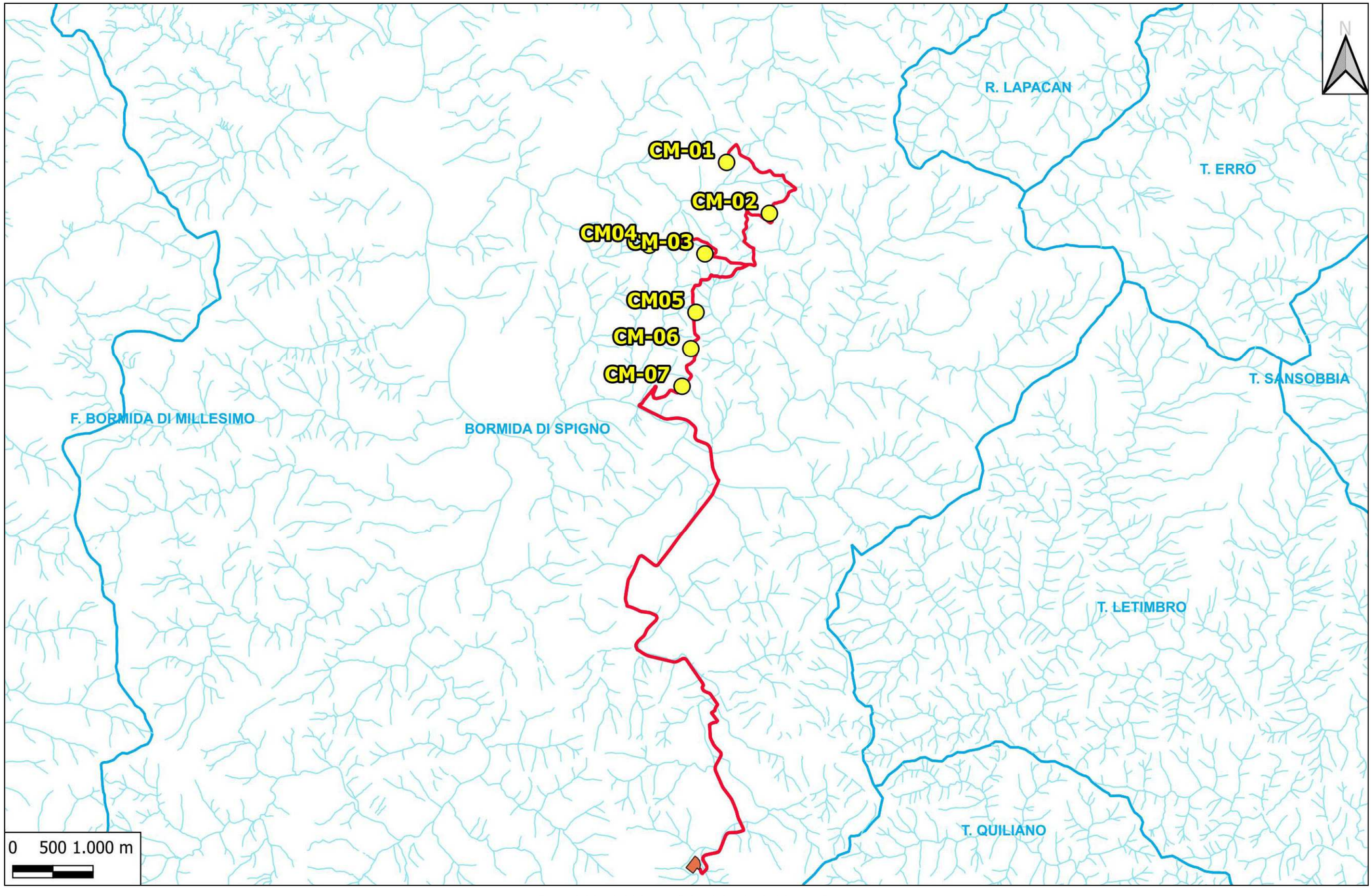
L'area in esame è caratterizzata da una superficie topografica "mossa" e a luoghi interessata da brusche variazioni di pendenza con la presenza di pizzi e creste; ciò è dovuto, come detto precedentemente alla diversità litologica dei litotipi che caratterizzano l'area.

L'aspetto morfologico così diversificato dell'area in studio, è legato inoltre al netto dimorfismo esistente tra i diversi litotipi presenti.

Ove affiorano in preponderanza i litotipi a comportamento rigido, questi dominano nettamente il paesaggio dando origine a vari morfotipi sovente dirupati ed aspri, intervallati da ampi pianori di montagna, ammantati da coperture di terreni plastici (siltosi) e detritici che meglio si adattano, dando luogo a morfologie continue e dolci.

Nelle formazioni calcaree e metamorfiche, le discontinuità planari, quali la stratificazione e la maglia di fratturazioni legate agli stress tettonici, che hanno nel tempo interessato tali rilievi, vengono poi progressivamente ampliate da lenti processi di degradazione meccanica (degradazione a blocchi) e da fenomeni di alterazione chimica, con formazione di suoli residuali e grossi spessori di detrito.

Al contrario, le zone caratterizzate dai litotipi plastici, composte prevalentemente da argille, presentano un'evoluzione geomorfologica prettamente subordinata ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque di precipitazione meteorica, le quali non potendosi infiltrare nel sottosuolo impermeabile per la presenza di detti litotipi, scorrono superficialmente modellando la superficie topografica.



Carta dei bacini idrografici e del reticolo idrografico

Dal punto di vista orografico l'area può essere inquadrata nell'alta collina - montagna con quote medie variabili dai 500-600 m relativi all'area in studio fino a quasi 1400 m, con i rilievi di maggior altitudine posti a sud.

Per quanto attiene all'idrografia, gli elementi più importanti sono, i bacini della Bormida di Pallare e della Bormida di Mallare che, appena a nord dell'abitato di Carcare, confluiscono formando la Bormida di Spigno.

Le valli sono piuttosto strette e incassate, fatta eccezione per la zona di Mallare, la zona di Pallare e, naturalmente, per l'area prossima alla loro confluenza (che origina la Bormida di Spigno) in un ampio fondovalle che raggiunge un'ampiezza di quasi 1500 m.

L'area in cui ricadono le opere in progetto è disciplinata dal D.G.R. 428 del 21.05.2021 - L.R. 41/2014, art.33, c.6 e Norme di Attuazione Piano Assetto Idrogeologico (PAI) Fiume Po, art.58. Approvazione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana.

La cartografia contempla le mappe dei disseti e di pericolosità e l'area ove si prevede di realizzare le turbine non ricade in area in dissesto ne in area a pericolosità.

Inoltre è stato consultato anche l'inventario IFFI e anche qui, le l'area ove si prevede di realizzare le turbine non ricade in area in dissesto.

Relativamente ad una trattazione più completa delle tipologie di dissesti ed al loro grado di attività, si rimanda alla carta geomorfologica ***(Tav. 2)*** in scala 1:10.000.

Alla presente si allegano anche:

- *Carta PAI dissesti, in scala 1:10.000;*
- *Carta PAI pericolosità per fenomeni di esondazione, in scala 1:10.000;*
- *Carta inventario dissesti IFFI.*

CARTA PAI DISSESTI
Scala 1:10.000

N

CM-01
CM-02
CM04
CM-03
CM05
CM-06
CM-07

0 500 1.000 1.500 2.000 m

Parco Eolico Cairo
- Turbine
- SE Trasformazione
- Cavo AT

PAI
- Frane stabilizzate (Fs)
- Frane quiescenti (Fq)
- Frane attive (Fa)

CARTA PAI PERICOLOSITA' ESONDAZIONE
Scala 1:10.000

N

CM-01
CM-02
CM04
CM-03
CM05
CM-06
CM-07

0 500 1.000 1.500 2.000 m

Parco Eolico Cairo
- Turbine
- SE Trasformazione
- Cavo AT

PAI
- Esondazioni a pericolosita molto elevata (Ee)
- Esondazioni a pericolosita media (Em)
- Esondazioni a pericolosita elevata (Eb)

CARTA DISSESTI INVENTARIO IFFI
Scala 1:10.000

N

CM-01
CM-02
CM04
CM-03
CM05
CM-06
CM-07

0 500 1.000 1.500 2.000 m

PArco Eolico Cairo
- Turbine
- SE Trasformazione
- Cavo AT

Inventario IFFI

iffi_dissesti
- Complesso
- Crollo/Ribaltamento
- DGPV
- n.d
- n.d.
- Scivolamento rotazionale/traslativo

Di seguito vengono riportate sinteticamente, le condizioni geologiche e geomorfologiche su cui si impostano le opere di progetto.

- La **torre CM-01** si imposta si imposta ad una quota di circa 660 m.s.l.m. sui terreni della Formazione di Molara e in particolare la facies a siltiti argillose (MORd). La giacitura degli strati è debolmente inclinata (circa 15°) verso SO. Non si riscontrano elementi tettonici attivi. Gli inventari dei dissesti PAI e IFFI non segnalano fenomeni.
- La **torre CM-02** si imposta ad una quota di circa 660 m.s.l.m. sui Metagabbri (MEG) ad ossidi di ferro e titanio. Il versante su cui si imposta la torre ha una pendenza di circa 20° ed è interessato da diverse incisioni incisioni dovute allo scorrimento delle acque concentrate. Non si riscontrano lineamenti tettonici attivi. Gli inventari dei dissesti PAI e IFFI segnalano due dissesti di tipologia scorrimento rotazionale/traslativo che non vanno ad interessare l'area di realizzazione della torre, tuttavia non si esclude la presenza di dissesti non segnalati a valle della torre che potrebbero evolvere per erosione regressiva.
- Le **torri CM-03 e CM-04** si impostano rispettivamente su un versante sub-orizzontale nella parte sud-occidentale di Monte Pè e sul versante sud orientale di Monte Goeo su un versante a debole pendenza, a circa 600 m.s.l.m. I terreni su cui si impostano fanno parte degli Scisti Filladici (SFD). In prossimità della torre CM-03 viene individuato un sovrascorrimento che mette in contatto gli Scisti Filladici con le Dolomie di Monte Rosotta (DSO). Secondo gli inventari dei dissesti PAI ed IFFI non si riscontrano fenomeni mappati.
- Le **torri CM-05 e CM-06** si impostano rispettivamente a circa 540 m.s.l.m. e 570 m.s.l.m. sui terreni della Formazione di Molara e in particolare sulla facies a conglomerati (MORb). I versanti del rilievo su cui si impostano le due torri risultano significativamente dissecati dal reticolo idrografico presente. Gli inventari dei dissesti PAI e IFFI non segnalano fenomeni, ma vista la natura dei terreni non si esclude la possibilità che possano verificarsi in futuro. Non si riscontrano elementi tettonici in prossimità delle torri.

- La **torre CM-07** si imposta a circa 570 m.s.l.m. sui terreni delle Dolomie di Monte Rosotta (DSO) che in quest'area presentano una inclinazione verso NO di circa 40°. In prossimità della torre si riscontra un sovrascorrimento che mette a contatto le dolomie con gli Ortogneiss di Monte Nucetto (NUC). Gli inventari dei dissesti PAI e IFFI non segnalano la presenza di fenomeni.
- La **Stazione Elettrica di trasformazione** si imposta ad una quota di circa 400 m.s.l.m. all'interno della piana alluvionale del Fiume Bormida di Mollare, sui terreni del Subsintema di Rocchetta Cairo (CMT_3) costituito prevalentemente da depositi alluvionali terrazzati. Secondo le cartografie ufficiali le aree in prossimità della torre sono interessate da pericolosità da esondazione da media a molto elevata. Non si riscontrano elementi tettonici attivi e gli inventari dei dissesti PAI e IFFI non segnalano fenomeni attivi sui versanti della valle fluviale.
- Per quel che riguarda il **cavidotto**, in prossimità della torre CM-04 si riscontra un deposito di frana (b2) la cui tipologia di movimento non viene determinata. In prossimità della torre CM-03 e in prossimità della torre CM-07 attraversa due sovrascorrimenti che mettono a contatto rispettivamente i terreni SFD con i terreni DSO e i terreni DSO con i terreni della NUC. Nell'area di Val Meschia, a est di Bragno, il cavidotto attraversa un'area interessata da depositi di frana e dai depositi alluvionali terrazzati (CTM3) e attuali (b1) del Fiume Bormida di Mallare. Da questo punto fino alla stazione elettrica il cavidotto attraversa aree a pericolosità da esondazione P3 e P4 cioè elevata e molto elevata. Gli inventari dei dissesti PAI e IFFI non segnalano la presenza di fenomeni attivi.

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata carta geomorfologica ***(Tav. 2)*** in scala 1:10.000.

In ogni caso, in fase esecutiva, verranno previste tutte opere strutturali e non strutturali, atte alla mitigazione del rischio.

4. Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista della *"permeabilità"*, cioè dell'attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d'acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;
- *rocce permeabili*, nelle quali l'acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (*permeabilità per porosità e/o primaria*), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (*permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria*).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità "*mista*", dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Le formazioni litologiche affioranti nell'area rilevata, in base alle loro caratteristiche strutturali ed al loro rapporto con le acque di precipitazione, sono state classificate in una scala di permeabilità basata sulle seguenti quattro classi:

1. *rocce ad elevata permeabilità per porosità;*
2. *rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo;*
3. *rocce impermeabili.*

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (*rocce permeabili per porosità*), sono stati inclusi i sedimenti di seguito elencati: a1 – Deposito di frana, a3 – Deposito di falda, b – Deposito alluvionale, b1 – Deposito alluvionale attuale, b2 – Deposito eluvio – colluviale, b4 – Deposito di debris flow, CMT_3 – Subsintema di Rocchetta Cairo, CMT_2 – Subsintema di Dego, MOR_b – Formazione di Molare, OLL – Formazione di Ollano. A causa dei loro spessori, sovente variabili, tali litotipi costituiscono adunamenti idrici di spessore e potenza variabile.

Per quanto riguarda i materiali ricadenti nella seconda classe (*rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*), sono da includersi le

sotto elencate formazioni: DSO – Dolomie di Monte Rossotta, MOR – Formazione di Molare, MOR_c – Formazione di Molare, NUC – Ortogneiss di Nucetto, OGV – Ortogneiss di Vetria, QPN – Quarziti di Ponte Nava, TUR – Calcescisti del Turchino.

In generale, i litotipi appartenenti a questa classe, presentano, una permeabilità primaria da media a bassa, mentre hanno una buona, e spesso elevata, permeabilità secondaria dovuta agli stress tettonici che detti litotipi hanno subito nei vari tempi geologici, con fessure e fratture di dimensioni ed orientazioni variabili.

La distanza tra i diversi sistemi fessurativi presenti nella compagine della roccia, condizionano in modo determinante la circolazione idrica nel sottosuolo, come pure la permeabilità secondaria, come riportato nel seguente schema:

DESCRIZIONE DELLA ROCCIA	***INTERVALLO*** *(m)*	***GRADO DI PERMEABILITA'***	
		Qualitativo	***K (m/s)***
Discontinuità da molto ad estremamente ravvicinate	***< 0.20***	***molto permeabile***	10^{-3}-1
Discontinuità da ravvicinate a moderatamente spaziate	***0.20-0.60***	***mediamente permeabile***	10^{-4}-10^{-3}
Discontinuità da largamente a molto largamente spaziate	***0.60-2.00***	***poco permeabile***	10^{-9}-10^{-4}
Nessuna discontinuità	***>2.00***	***impermeabile***	$<10^{-9}$

Sono state incluse nella terza classe (*rocce impermeabili*), le sotto elencate formazioni: MBD – Metabasalti, MEG – Metagabbri, MORd – Formazione di Molare, SFD – Scisti filladici, TIG – Serpentiniti.

Tali terreni presentano una permeabilità primaria da bassa a nulla ed una assenza di falde acquifere; al contrario, in particolari zone d'alterazione, può esistere una lenta circolazione idrica organizzata in filetti discontinui che dipende esclusivamente dal regime pluviometrico variabile nelle stagioni.

Solitamente, come detto prima, tali terreni sono il substrato impermeabile dei litotipi prima citati costituendo il limite inferiore di tali elementi idrogeologici e permettendo, così, l'accumulo sotterraneo delle acque di infiltrazione efficace.

Quanto detto finora, viene accuratamente riassunto nella tabella allegata, riportante, tra l'altro, il range di valori del coefficiente di permeabilità (**K**) dei diversi litotipi presenti.

LITOTIPO	***TIPO DI PERMEABILITÀ***	***GRADO DI PERMEABILITÀ***	***COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ***
a1 – Deposito di frana, a3 – Deposito di falda, b – Deposito alluvionale, b1 – Deposito alluvionale attuale, b2 – Deposito eluvio – colluviale, b4 – Deposito di debris flow, CMT_3 – Subsintema di Rocchetta Cairo, CMT_2 – Subsintema di Dego, MOR_b – Formazione di Molare, OLL – Formazione di Ollano	***Porosità***	***alta***	10^{-1}-10^{-3}
DSO – Dolomie di Monte Rossotta, MOR – Formazione di Molare, MORc – Formazione di Molare, NUC – Ortogneiss di Nucetto, OGV – Ortogneiss di Vetria, QPN – Quarziti di Ponte Nava, TUR – Calcescisti del Turchino	***Fessurazione, fratturazione e/o carsismo***	***da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure***	10^{-3}-10^{-5}
MBD – Metabasalti, MEG – Metagabbri, MORd – Formazione di Molare, SFD – Scisti filladici, TIG – Serpentiniti	***Impermeabili***	***da bassa a molto bassa***	10^{-6}-10^{-9}

Schema riepilogativo

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da istallare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

Quanto fin qui descritto è stato rappresentato nell'allegata carta idrogeologica ***(Tav. 3)*** in scala 1:10.000.

5. Considerazioni geologico - tecniche

Dall'osservazione degli elementi di superficie e da quanto riportato in letteratura geologica specializzata i litotipi presenti nel territorio, suddicisi per oghi turbina sono i

- CM-01 Formazione di Molara - facies a siltiti argillose (**MORd**)
- CM-02 Metagabbri (**MEG**)
- CM-03 e CM-04 Scisti Filladici (**SFD**).
- CM-05 e CM-06 Formazione di Molara - facies a conglomerati (**MORb**)
- CM-07 Dolomie di Monte Rosotta (**DSO**)

Relativamente ai litotipi: Metagabbri (**MEG**), Scisti Filladici (**SFD**), Dolomie di Monte Rosotta (**DSO**), dove si prevede di realizzare le turbine CM-02, CM-03, CM-04 e CM-07, da un confronto dei dati sperimentali ottenuti sui campioni indisturbati su litologie analoghe a quelle in esame, e da quanto riportato in letteratura specializzata, cautelativamente, si possono adottare i sotto elencati parametri geotecnici:

- peso di volume $\gamma = 22$ kN/m^3
- angolo d'attrito interno $\varphi = 35°$
- coesione c' = 50 kPa

Relativamente ai litotipi: Formazione di Molara - facies a siltiti argillose (**MORd**) e Formazione di Molara - facies a conglomerati (**MORb**), dove si prevede di realizzare le turbine CM-01, CM-05 e CM-06, da un confronto dei dati sperimentali ottenuti sui campioni indisturbati su litologie analoghe a quelle in esame, e da quanto riportato in letteratura specializzata, cautelativamente, si possono adottare i sotto elencati parametri geotecnici:

- peso di volume $\gamma = 17$ kN/m^3
- angolo d'attrito interno $\varphi = 25°$
- coesione c' = 5 kPa

Pertanto per quanto sopra espresso si può definire la colonna geotecnica di seguito rappresentata:

LITOTIPO	***TORRE***	***CARATTERISTICHE FISICO / MECCANICHE***	***VALORI***
Formazione di Molara - facies a siltiti argillose ***(MORd)***	*CM-01*	*Peso dell'unità di volume* *Coesione* *Angolo di attrito interno*	***17 KN/m^3*** ***5 KN/m^2*** ***25°***
Metagabbri ***(MEG)***	*CM-02*	*Peso dell'unità di volume* *Coesione* *Angolo di attrito interno*	***22 KN/m^3*** ***50 KN/m^2*** ***35°***
Scisti Filladici ***(SFD)****.*	*CM-03 e CM-04*	*Peso dell'unità di volume* *Coesione* *Angolo di attrito interno*	***22 KN/m^3*** ***50 KN/m^2*** ***35°***
Formazione di Molara - facies a conglomerati ***(MORb)***	*CM-05 e CM-06*	*Peso dell'unità di volume* *Coesione* *Angolo di attrito interno*	***17 KN/m^3*** ***5 KN/m^2*** ***25°***
Dolomie di Monte Rosotta ***(DSO)***	*CM-07*	*Peso dell'unità di volume* *Coesione* *Angolo di attrito interno*	***22 KN/m^3*** ***50 KN/m^2*** ***35°***

Colonna geotecnica riepilogativa

6. Sismicità storica

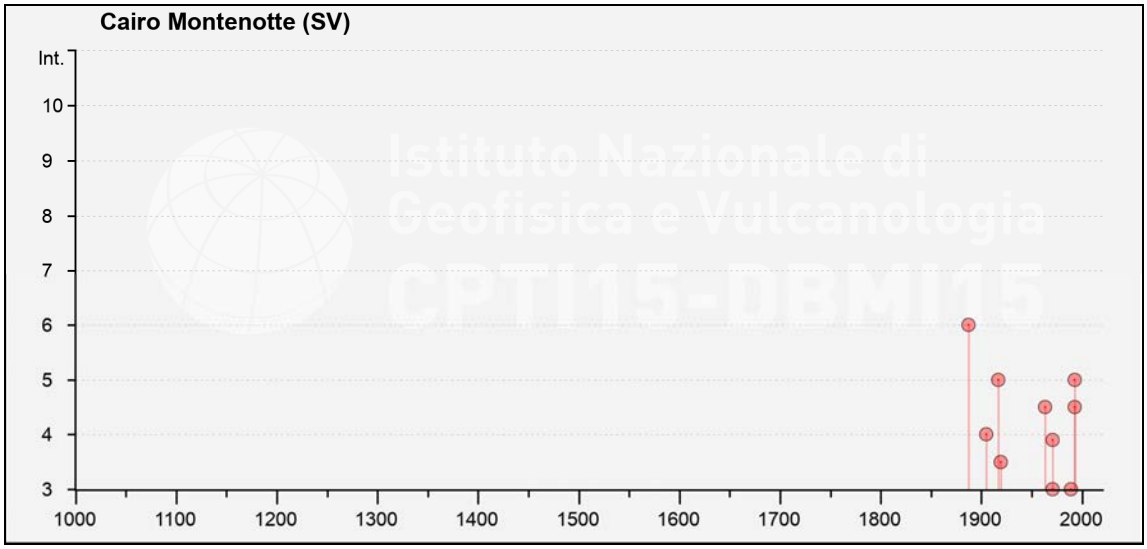
L'analisi della sismicità storica per il comune di Cairo Montenotte è stata condotta consultando il Database Macrosismico Italiano DBMI15, 2015 (consultabile all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15), da fonti storiche e informazioni reperibili in letteratura.

Il DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani dal 1000 al 2020. Per ogni evento nel database è riportata l'indicazione della data, la descrizione dei danni subiti e la stima dell'Intensità macrosismica secondo la scala EMS98 (European Macroseismic Scale; Grünthal, 1998). Il DBMI15 presenta le intensità adottando lo standard proposto da AHEAD, cioè numeri arabi interi e, nel caso di attribuzioni incerte si indicano i due estremi separati da un trattino (es.: 5-6, 7-8). Tale standard applica rigorosamente anche le indicazioni delle scale macrosismiche, secondo cui non è possibile assegnare una intensità a edifici isolati o territori estesi, nei cui casi si altera l'intensità riportata dallo studio originale. Se le informazioni disponibili non sono considerate sufficienti per stimare un'intensità, è possibile adottare codici descrittivi come "D" per danno, o "F" per sentito ("Felt").

Il Database Macrosismico Italiano 2015 per il comune di *Cairo Montenotte,* ha registrato n° 17 eventi sismici, di cui si riportano le caratteristiche principali nella tabella sottostante:

Int. at place	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	IoDef	MwDef	ErMwDef
6	1887	2	23	5	21	50	Liguria occidentale	43,891	7,992	9	6,27	0,1
2	1898	3	4	21	5		Parmense	44,655	10,26	7-8	5,37	0,1
4	1905	5	30	4	55		Cuneese	44,435	7,646	5-6	4,65	0,11
NF	1909	5	27	6	10		Liguria occidentale	43,908	8,076	5-6	4,34	0,36
NF	1913	3	27	2	25	44	Val Trebbia	44,895	9,327	4-5	4,24	0,19
NF	1913	12	7	1	28		Valle Scrivia	44,744	8,862	5	4,57	0,13
5	1917	1	7	3	39		Savonese	44,367	8,375	5	4,35	0,2
3-4	1919	11	28	21	38		Alpi Marittime	44,173	7,76	5-6	4,92	0,14
4-5	1963	7	19	5	46	1,5	Mar Ligure	43,34	8,12		5,95	0,15
3	1971	7	15	1	33	23	Parmense	44,814	10,345	8	5,51	0,08
F	1971	9	25	10	34	2,4	Mar Ligure	44,111	8,652	5-6	4,33	0,15
2-3	1983	11	9	16	29	52	Parmense	44,755	10,265	6-7	5,04	0,1
NF	1984	4	29	5	2	59	Umbria settentrionale	43,262	12,525	7	5,62	0,1
3	1989	12	26	19	59	58,42	Mar Ligure	43,509	7,541		4,46	0,21
4-5	1993	7	17	5	46	4,15	Liguria occidentale	44,213	8,243	5	3,88	0,16
5	1993	7	17	10	34	59,7	Liguria occidentale	44,199	8,245	5	4,34	0,09
2	2000	8	21	17	14		Monferrato	44,911	8,38	6	4,94	0,07

Nel grafico sottostante si riportano gli andamenti delle intensità degli eventi sismici nel tempo, il grafico considera tutti i terremoti con intensità comprese tra 2 e 6 per un arco temporale dal 1887 al 2000.



7. Rischio e pericolosità sismica

Il rischio sismico è definito dal prodotto di tre parametri secondo l'equazione: **R = P * V * E**

dove:

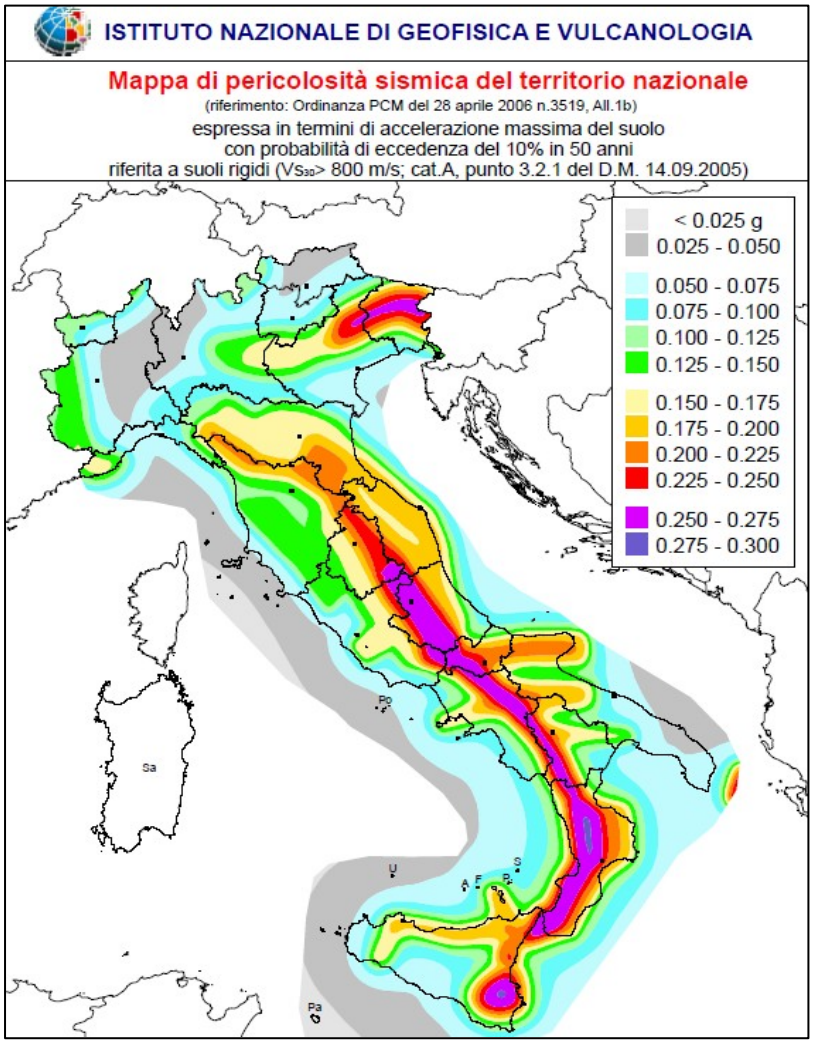
- **P** indica la pericolosità,
- **V** indica la vulnerabilità, ossia la propensione da parte di un bene esposto a subire un danno a seguito di un determinato evento calamitoso;
- **E** = indica l'esposizione, ossia il valore dell'insieme degli elementi esposti a rischio all'interno dell'area considerata.

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un arco spazio temporale definito. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

La pericolosità sismica di base classifica il territorio su vasta scala al fine di programmare le attività di prevenzione e pianificazione delle emergenze.

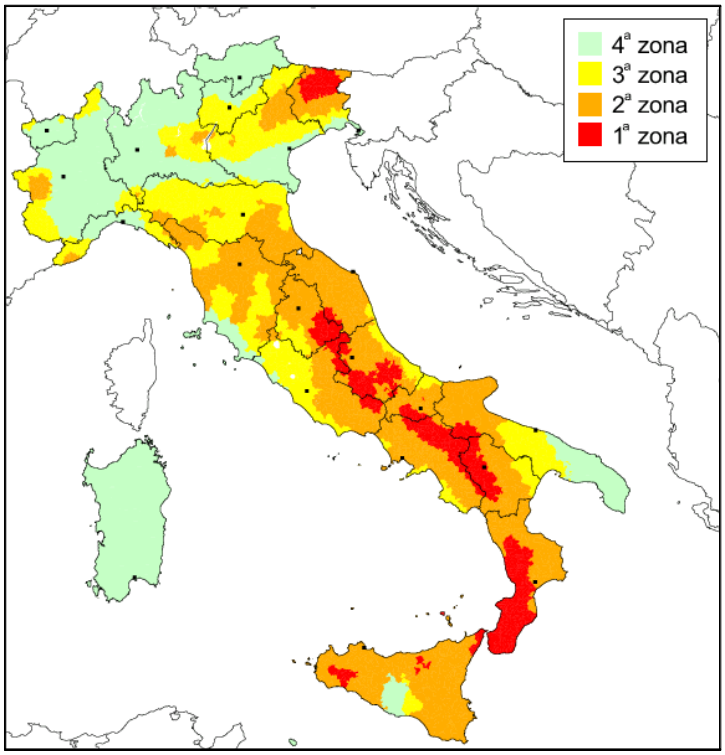
Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa della pericolosità sismica realizzata nel 2004 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

Di seguito si riporta la carta di pericolosità sismica del territorio nazionale:



Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale (fonte INGV).

Secondo la mappa delle zone sismiche del 2003, che suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (ag) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.



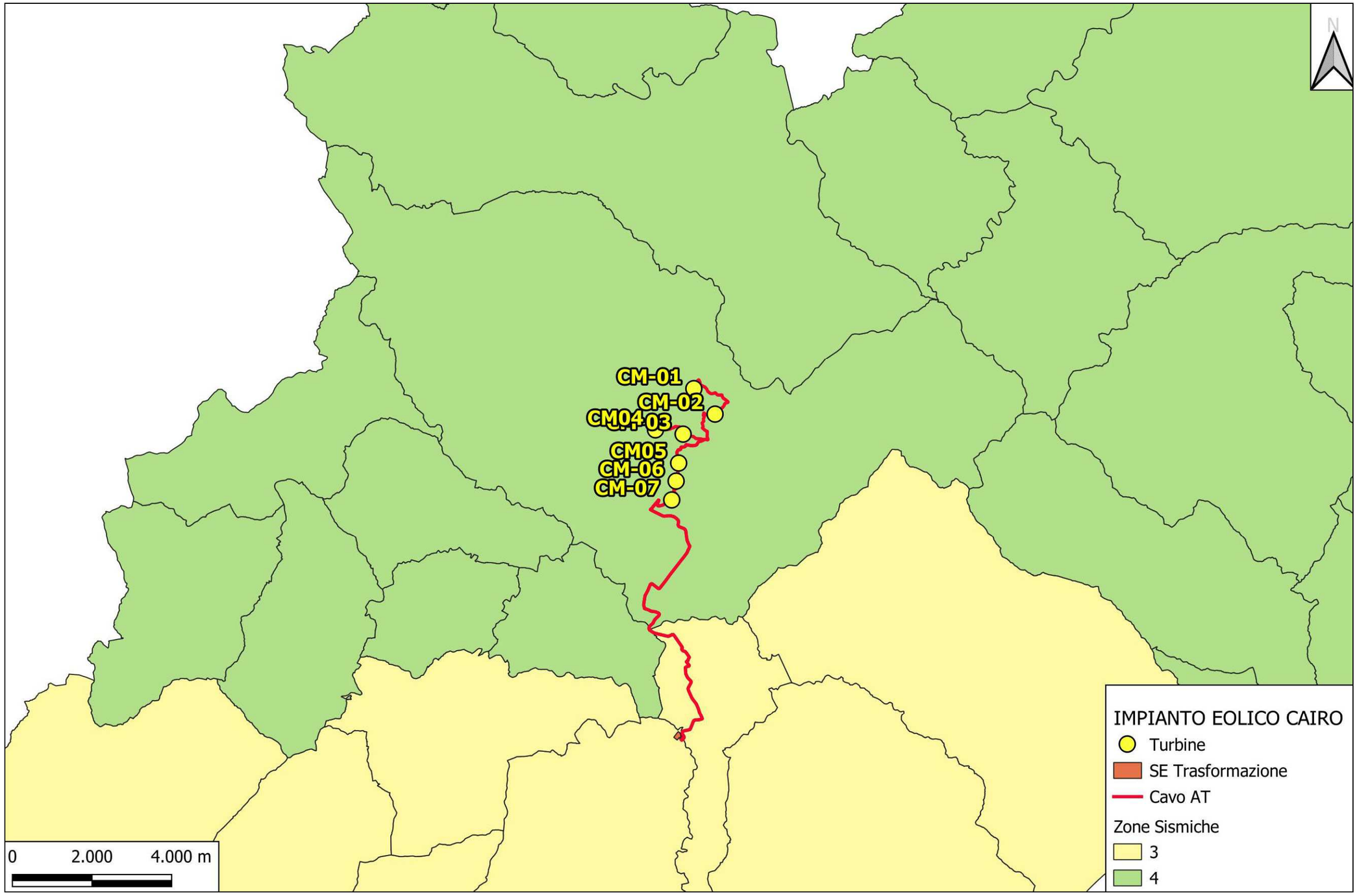
Mappa delle zone sismiche del territorio nazionale del 2003 (fonte INGV)

ZONA SISMICA	DESCRIZIONE
Zona 1	É la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
zona 4	É la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I valori di accelerazione orizzontale massima (ag) per le varie zone sismiche sono riportate nella tabella seguente:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	ag >0.25
2	0.15 <ag≤ 0.25
3	0.05 <ag≤ 0.15
4	ag ≤ 0.05

I Comuni di Modigliana, Rocca San Casciano, e Tredozio sono classificati, secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28.04.2006, aggiornata con la Delibera di Giunta Regionale della Liguria n° 216 del 17.03.2017, come **Zona Sismica 4**



Classificazione sismica dei comuni della Liguria

(Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Liguria - Delibera Giunta Regionale n° 216 del 17.03.2017

8. Indagini sismiche

L'indagine sismica ove si propone la realizzazione dell'impianto eolico, è stata condotta attraverso un rilievo sismico sviluppato su n. 3 direttrici, opportunamente ubicate, ed impiegato per l'acquisizione di dati per l'elaborazione MASW (Multichannels Analysis SurfaceWaves), ed inteso a definire le caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni di taglio dei terreni nel sottosuolo.

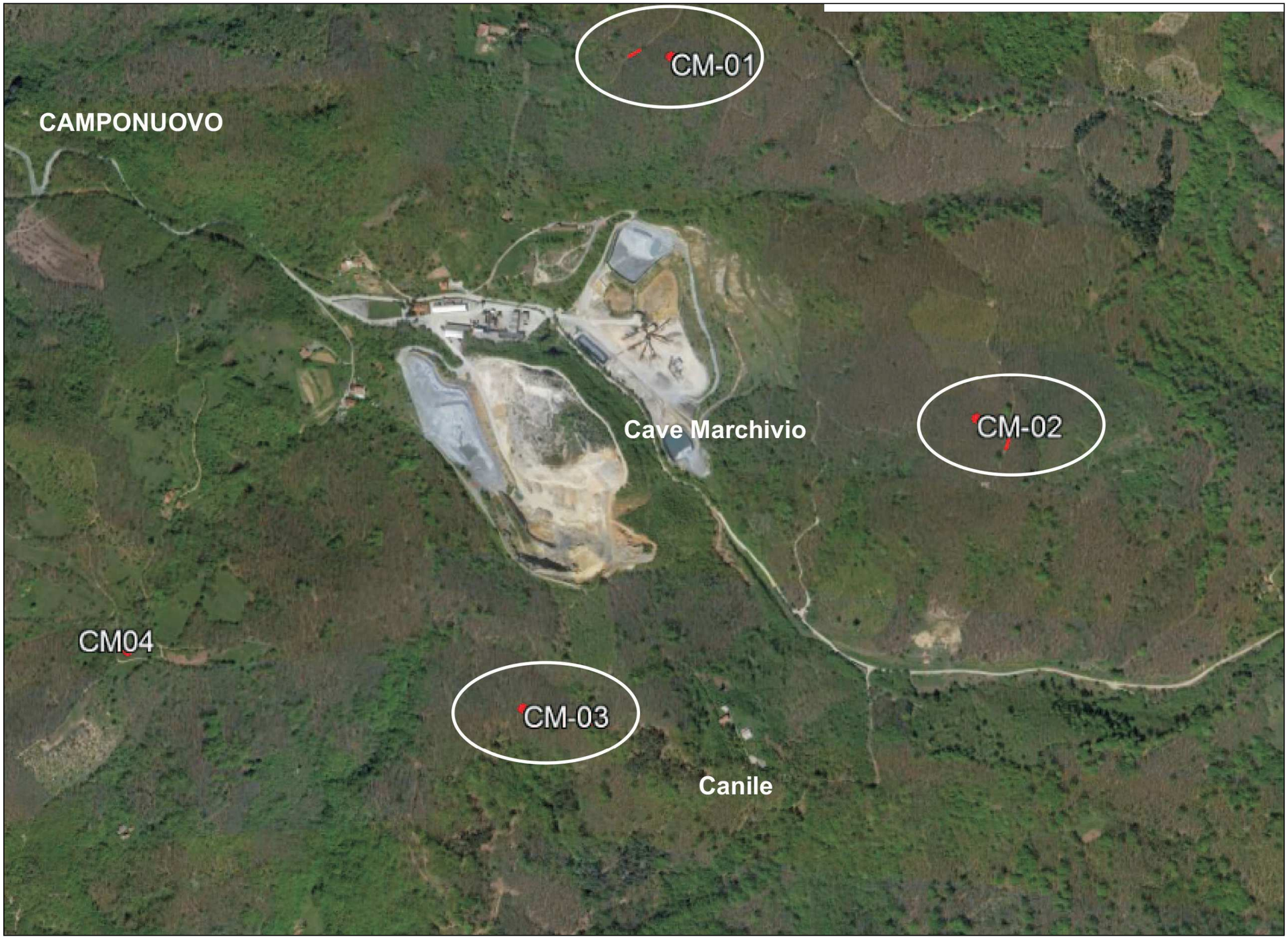
L tre basi sismiche sonno state eseguite, da come si evince dalla documentazione fotografica allegata, rispettivamente in prossimità della CM_01 (base 1), CM_02 (base 2), CM_03 (base 3)

L'indagine sismica è stata eseguita impiegando un sismografo *"DOREMI"* della SARA Electronic Instruments s.r.l.; l'elettronica è distribuita lungo il cavo e la connessione al personal computer dedicato all'osservazione grafica e al management del sistema è svolta da una interfaccia "*DoReMi master*".

Il sismografo è pertanto distribuito con i suoi canali lungo la direttrice di rilevamento ed il software dedicato, che acquisisce il segnale analogico dai velocimetri al suolo impiegati per il rilievo, lo invia in forma digitale al sistema centrale in modo indipendente per ogni canale di registrazione, e dispone di una memoria di 30000 campioni a 24 bit.

Il software di gestione del sistema consente di impostare lunghezza e frequenza del campionamento, numero dei canali in registrazione, guadagno del singolo canale ed impostazioni di registrazione dei dati; le opzioni avanzate consentono di impostare operazioni di somma, media, differenza di energizzazioni multiple, di impiegare filtri passabanda al dato registrato ed eseguire operazioni di interlacciamento, concatenamento o workaway di diversi set di dati.

Alla strumentazione sismografica sono stati connessi sensori geofonici verticali da 4.5 Hz in numero di 24; le energizzazioni, prodotte con massa battente, sono state ripetute agli estremi delle stese geofoniche; i dati acquisiti consistono nelle registrazioni dei treni d'onda a partire dall'istante di energizzazione (+/- 1 msec), per un intervallo di tempo di msec 2000, riprodotti da supporto magnetico sul quale è eseguita l'interpretazione.



Ubicazione indagini sismiche eseguite su ortofoto

Il rilievo MASW, condotto operando energizzazioni per l'acquisizione dei dati agli estremi delle stese, ha restituito i risultati su verticali rappresentative del sito e riferite alle porzioni in s.l. indicate dal punto di energizzazione; alla strumentazione sismografica sono stati connessi geofoni verticali da 4.5 Hz, posti a distanza reciproca di m 2.

La tecnica di investigazione ed elaborazione MASW dei dati consente di rilevare la situazione sismo-stratigrafica del sottosuolo in riferimento alle velocità delle onde S di taglio basandosi sulla misura delle onde superficiali di Rayleigh.

Le onde di Rayleigh, onde di superficie prodotte da un movimento circolare retrogrado delle particelle del suolo si presta ad una agevole elaborazione in considerazione del contenuto energetico, che risulta nettamente superiore a quello che compete alle componenti delle onde di volume P ed S, il cui decadimento ed attenuazione risulta proporzionale al quadrato della distanza piuttosto che alla distanza dalla sorgente dell'impulso. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh subiscono il fenomeno della dispersione, nel quale le differenti lunghezze d'onda che descrivono il movimento delle particelle viaggiano a velocità differenti in relazione alla rigidità dei mezzi impegnati nel sottosuolo. Lo studio della dispersione delle onde di Rayleigh consente di analizzare le variazioni di velocità delle onde S nel sottosuolo e di discriminare in profondità le principali variazioni di rigidità dei terreni, tenendo conto che le componenti d'onda ad alta frequenza impegnano e caratterizzano gli strati più superficiali dell'area di indagine, mentre le componenti d'onda a più bassa frequenza interessano spessori maggiori del sottosuolo e caratterizzano gli strati più profondi.

La determinazione della velocità delle onde S si determina considerando che la stessa risulta dell'ordine di 90-110% la velocità delle onde di Rayleigh.

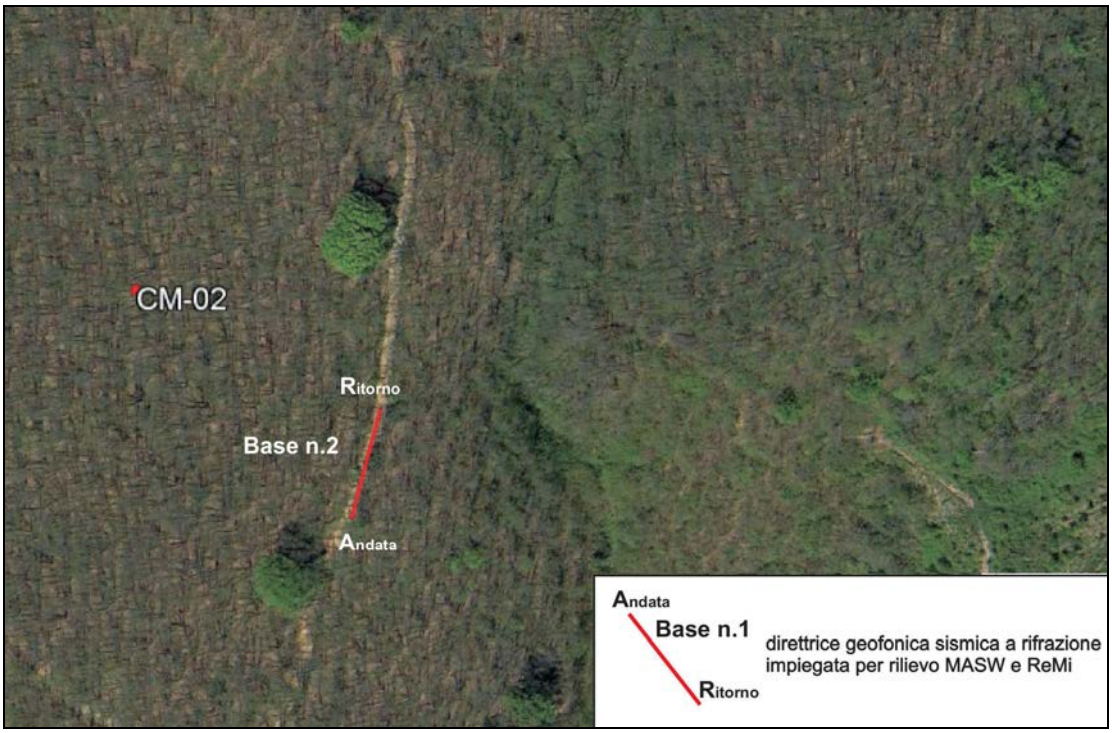
L'interpretazione MASW è stata condotta con softwares votati ed è intesa a determinare la sismostratigrafia in onde S del sito, accertando eventuali e locali inversioni di velocità e calcolando il valore equivalente, per la definizione della locale categoria di suolo e dello scenario di pericolosità sismica di riferimento di supporto alla progettazione geotecnica.



Ubicazione stesa sismica 1



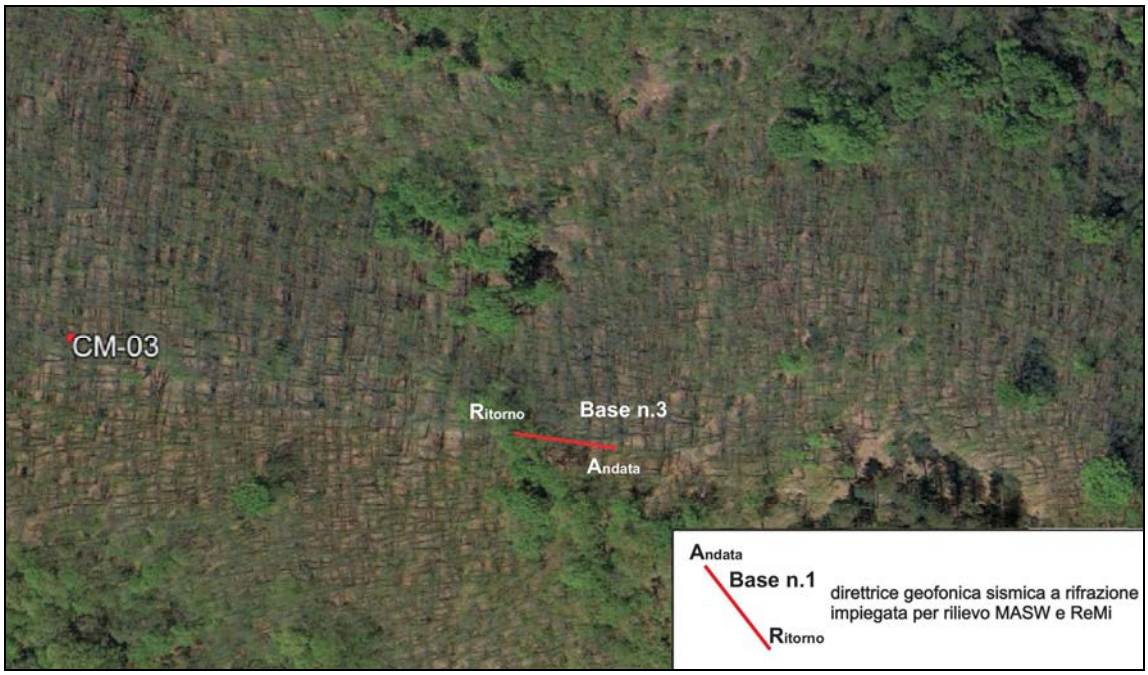
Stesa sismica 1



Ubicazione stesa sismica 2



Stesa sismica 2



Ubicazione stesa sismica 3



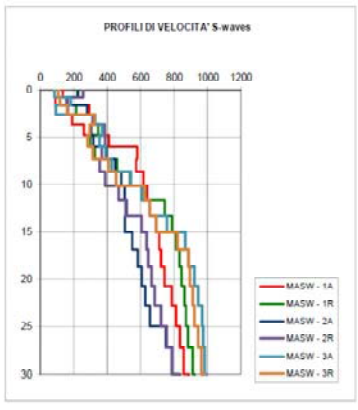
Stesa sismica 3

I rilievi geofisici hanno evidenziato la presenza, nel sottosuolo delle aree di investigazione, di terreni a discreta rigidità, caratterizzati da orizzonti superficiali riferibili a suoli di alterazione, caratterizzati da velocità delle onde di taglio variabile tra 100 m/sec e 200 m/sec, dalla parte più alterata del substrato formazionale lapideo, caratterizzata da velocità delle onde di taglio di 300-450 m/sec, e dalla porzione meno fratturata del locale substrato formazionale, caratterizzata da velocità delle onde di taglio variabili da valori di 500-600 m/sec sino a oltre 800 m/sec, nella profondità di m 30.

Lo spessore di tali orizzonti risulta variabile in relazione alla natura litologica del substrato formazionale, più o meno sensibile alla penetrazione dell'alterazione in funzione della fratturazione, e della posizione relativa delle aree di indagine, più o meno prossime alle zone di crinale, dove risulta più intenso e profondo il detensionamento dei terreni.

Dall'andamento delle velocità di taglio, il substrato rigido di riferimento, caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, si intercetta da profondità minime di m 15-20 dal p.d.p., sulle aree degli aerogeneratori CM_01 ed CM_03, mentre nella zona dell'aeromotore CM_02 si intercetta da poco meno di m 30 dal p.d.p.. Le "coperture" al substrato rigido di riferimento sono qualificate da velocità equivalenti delle onde di taglio variabili tra 298 m/sec e 461 m/sec, determinando condizioni di scenario di amplificazione sismica sensibilmente differente da punto a punto.

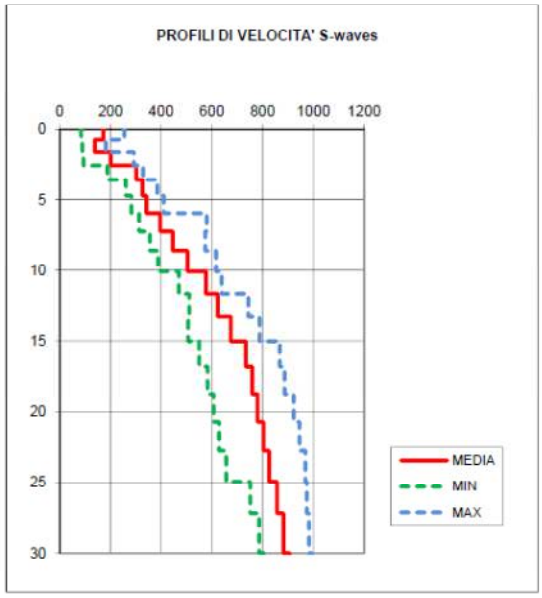
Depth(m)	MASW - 1A S-velocity(m/s)	MASW - 1R S-velocity(m/s)	MASW - 2A S-velocity(m/s)	MASW - 2R S-velocity(m/s)	MASW - 3A S-velocity(m/s)	MASW - 3R S-velocity(m/s)
0.00	135	221	226	255	85	108
0.78	89	110	156	102	182	118
1.64	292	214	279	165	93	160
2.59	189	329	327	314	328	324
3.62	261	347	304	385	370	296
4.75	410	300	317	388	354	283
5.96	579	326	397	368	390	314
7.25	573	460	449	355	428	408
8.63	617	536	485	388	543	454
10.10	638	620	504	469	606	625
11.65	655	744	518	511	654	655
13.29	691	788	507	605	758	693
15.02	712	811	550	636	868	821
16.83	722	832	583	645	887	886
18.73	743	845	607	666	922	894
20.71	786	863	628	684	945	912
22.78	812	871	656	722	968	922
24.94	835	883	752	756	974	945
27.19	858	912	786	789	983	963
30.00	887	922	822	835	994	981
Vs30 (m/sec)	462	502	461	459	453	451
H (m)	22.8	15.0	30.0	30.0	15.0	15.0
VsH (m/sec)	404	354	461	459	298	301



Profili di velocità delle onde di taglio sulle verticali MASW di acquisizione con valori di velocità equivalente su m 30 di profondità dal p.d.p. e con valori di velocità equivalente delle "coperture" al substrato rigido di riferimento, dove intercettato nei primi m 30 dal piano di prova

La variabilità areale del profilo di rigidità è evidenziata dalla dispersione anche in profondità dei valori di velocità caratteristici sulle tre differenti aree di indagine, oltre che nella differente risposta delle coperture di alterazione del substrato formazionale locale

Depth(m)	MEDIA	MIN	MAX
0.00	172	85	255
0.78	137	89	182
1.64	200	93	292
2.59	302	189	329
3.62	327	261	385
4.75	342	283	410
5.96	396	314	579
7.25	445	355	573
8.63	504	388	617
10.10	577	469	638
11.65	623	511	744
13.29	674	507	788
15.02	733	550	868
16.83	759	583	887
18.73	780	607	922
20.71	803	628	945
22.78	825	656	968
24.94	857	752	974
27.19	882	786	983
30.00	907	822	994
	487	342	601



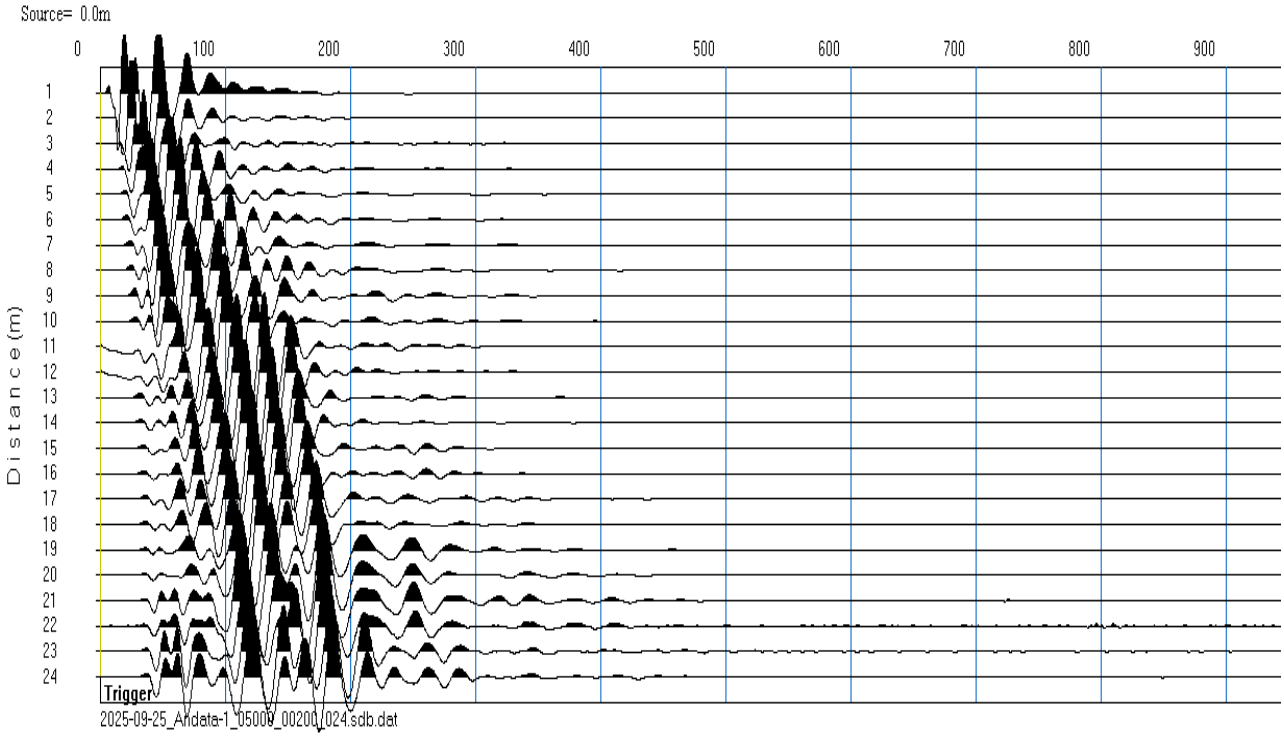
Profilo medio e minimo e massimo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo relativamente alle verticali MASW di restituzione e velocità equivalente su m 30 per i valori estremi

prospezione sismica

Multichannels Analysis Surface Waves

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_1A coordinate WGS84 44.401553°N 8.326112°E



time history

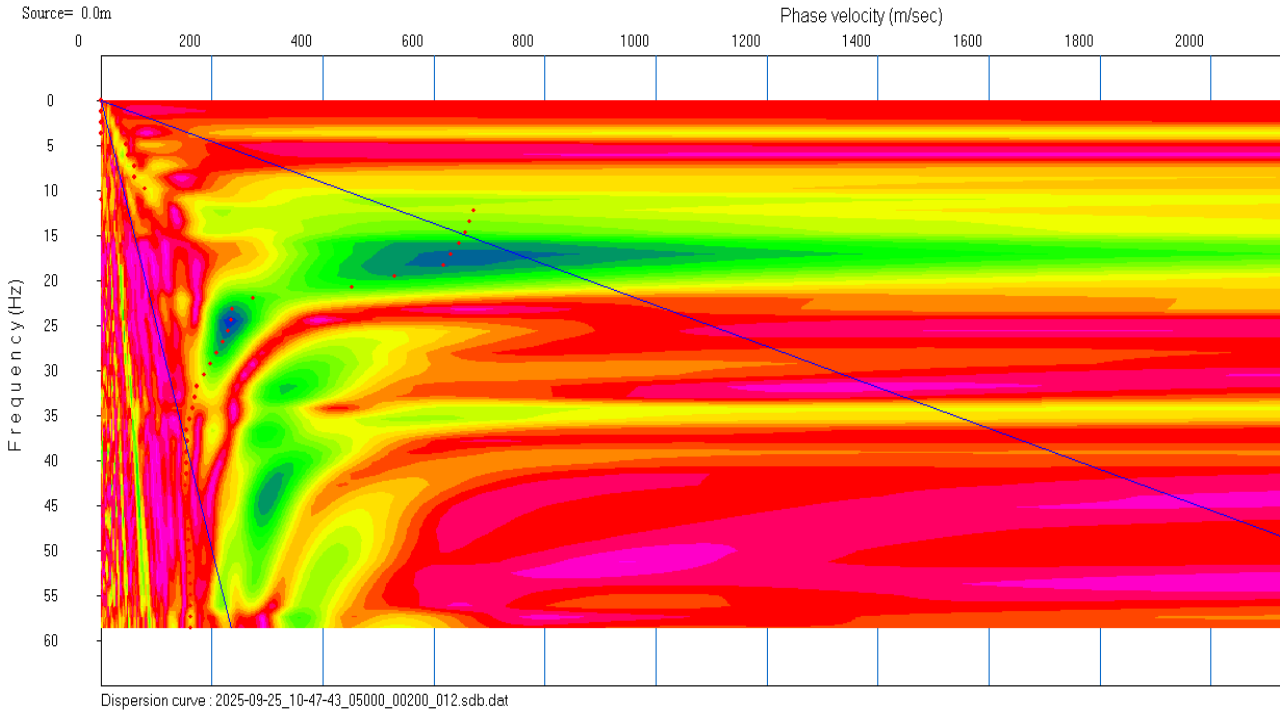
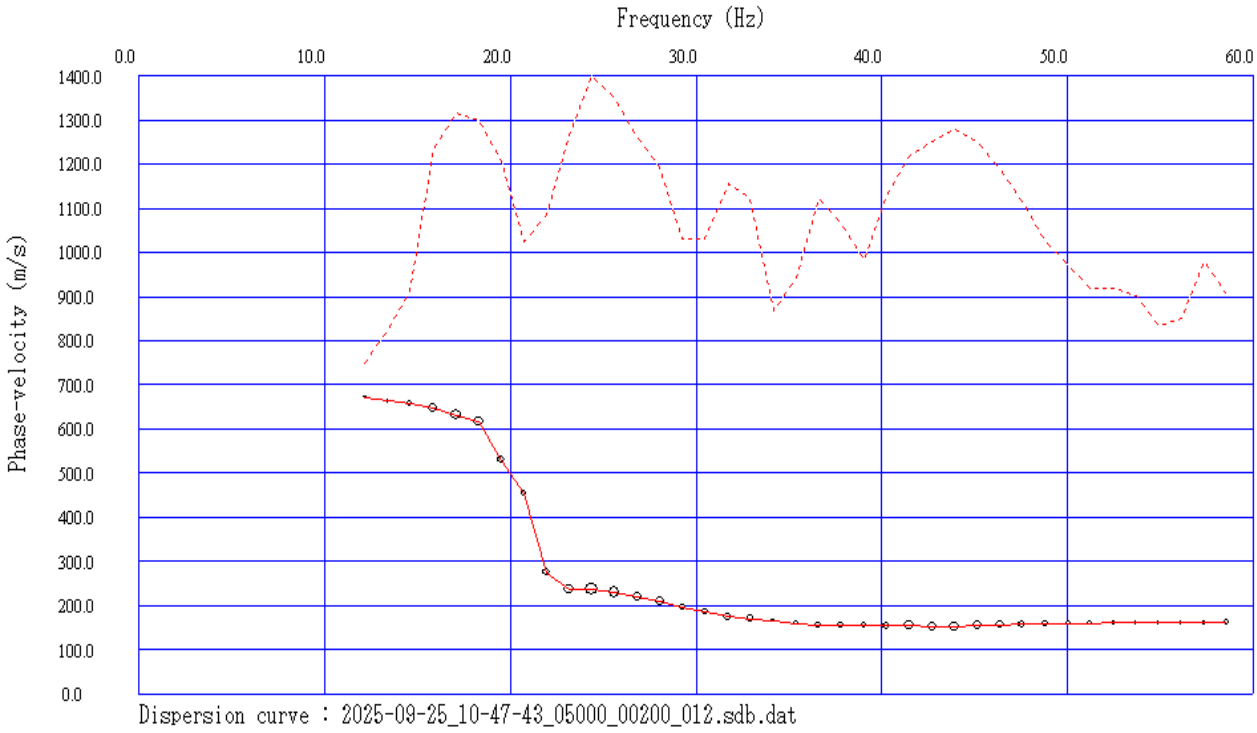


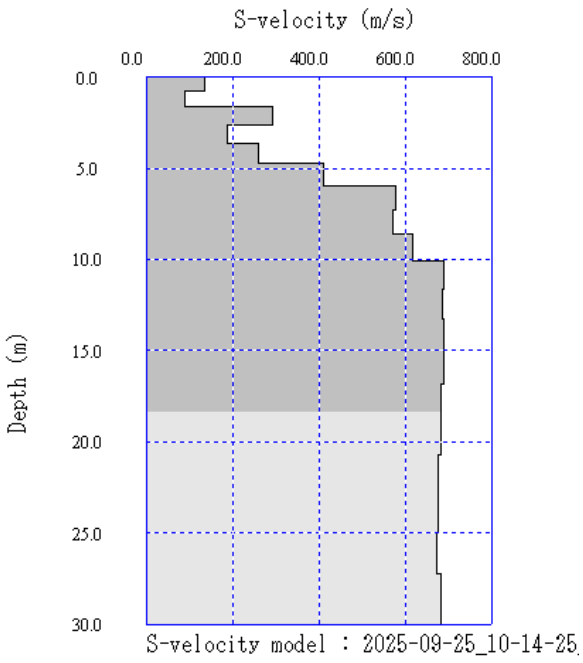
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

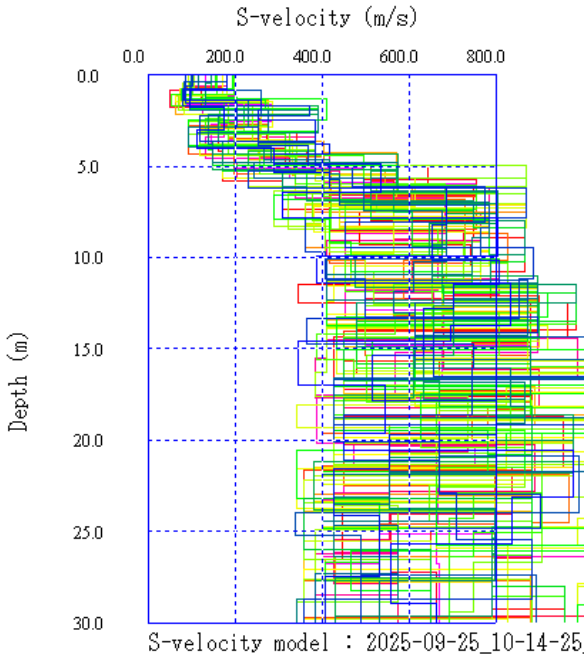
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_1A coordinate WGS84 44.401553°N 8.326112°E



curva di dispersione



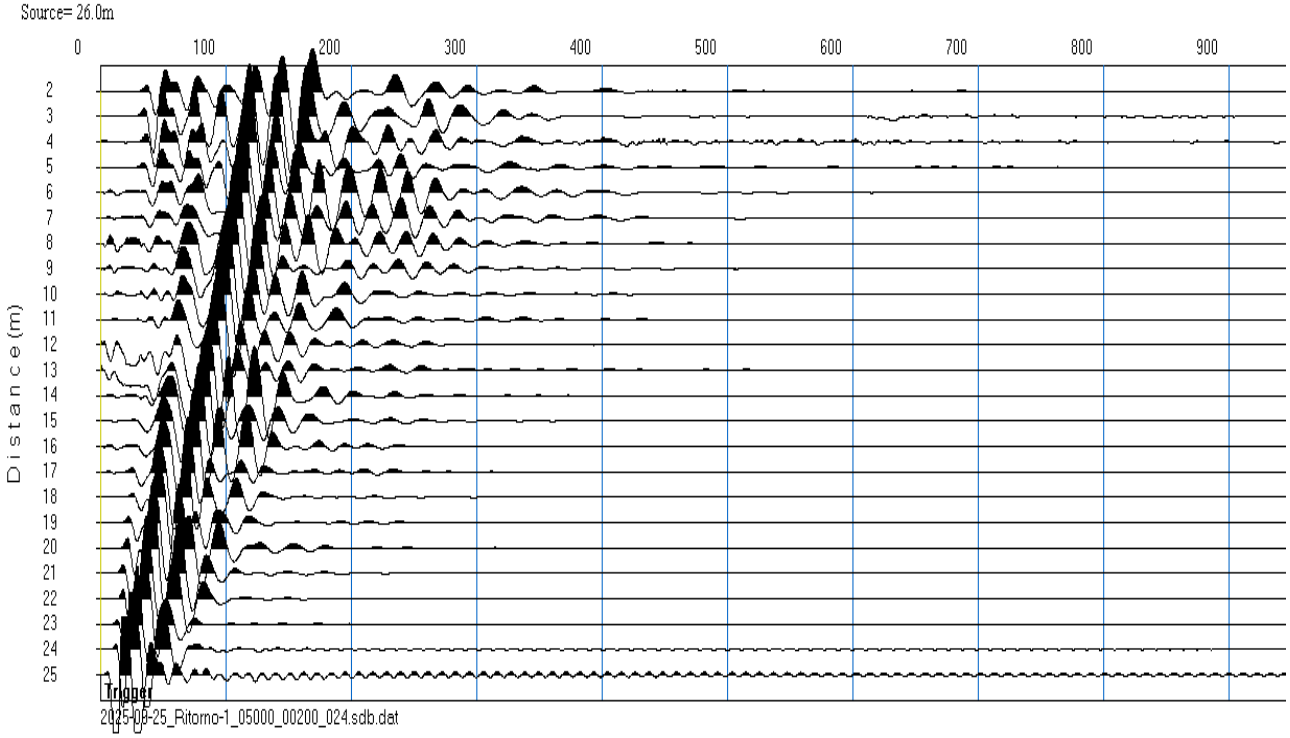
profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_1R coordinate WGS84 44.401437°N 8.325829°E



time history

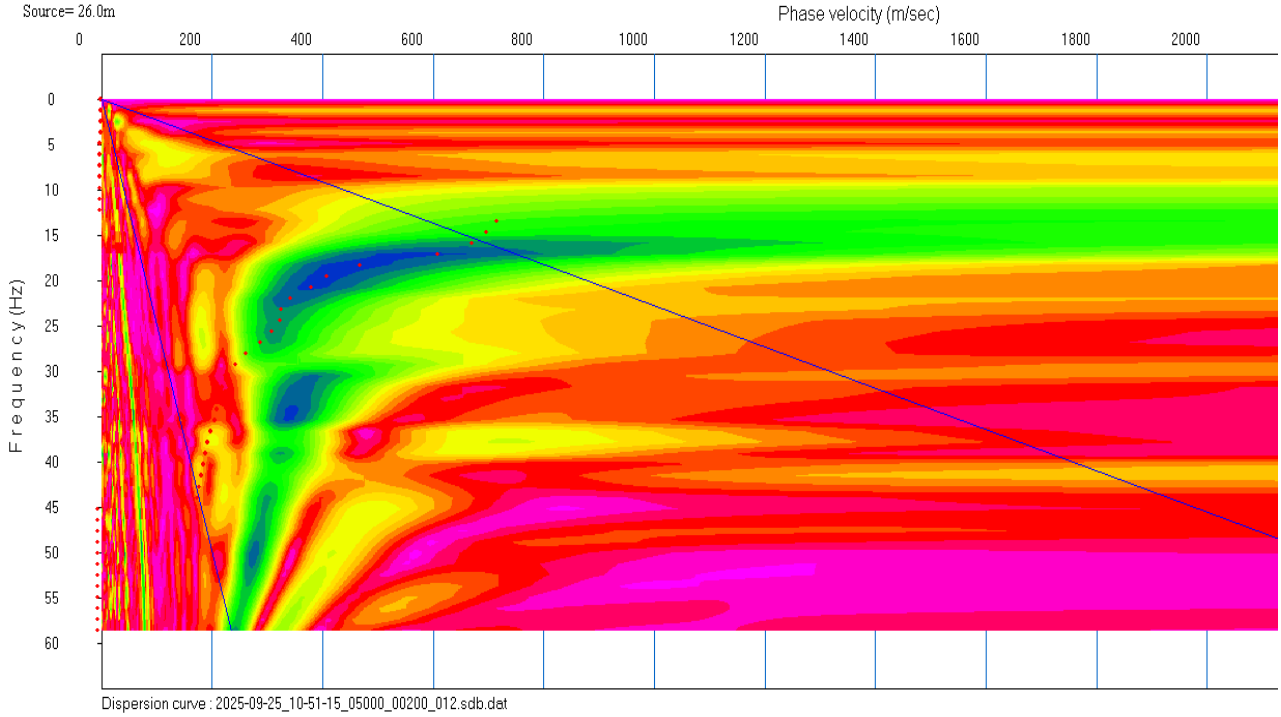
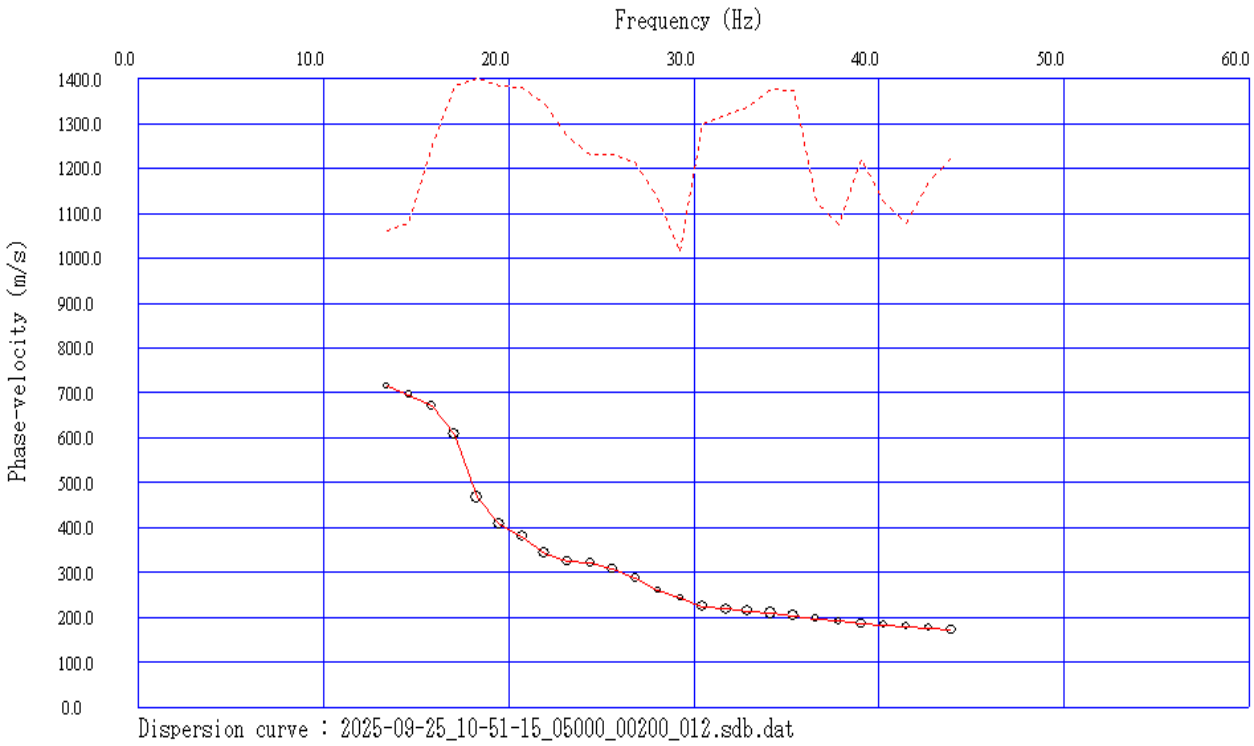


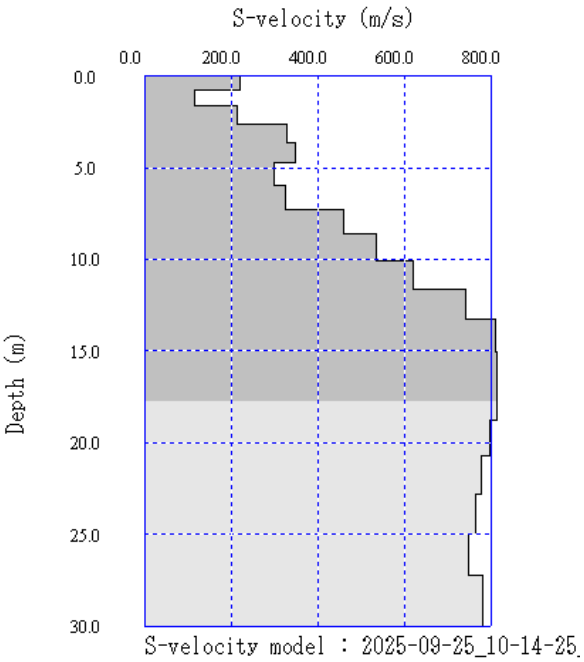
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

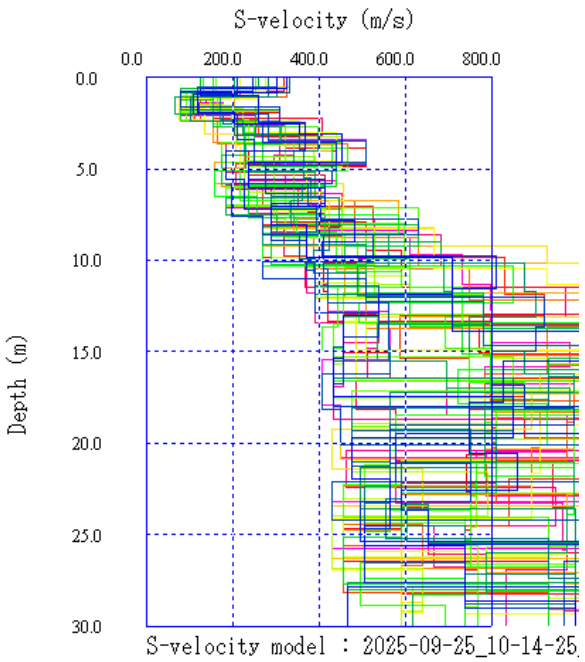
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_1R coordinate WGS84 44.401437°N 8.325829°E



curva di dispersione



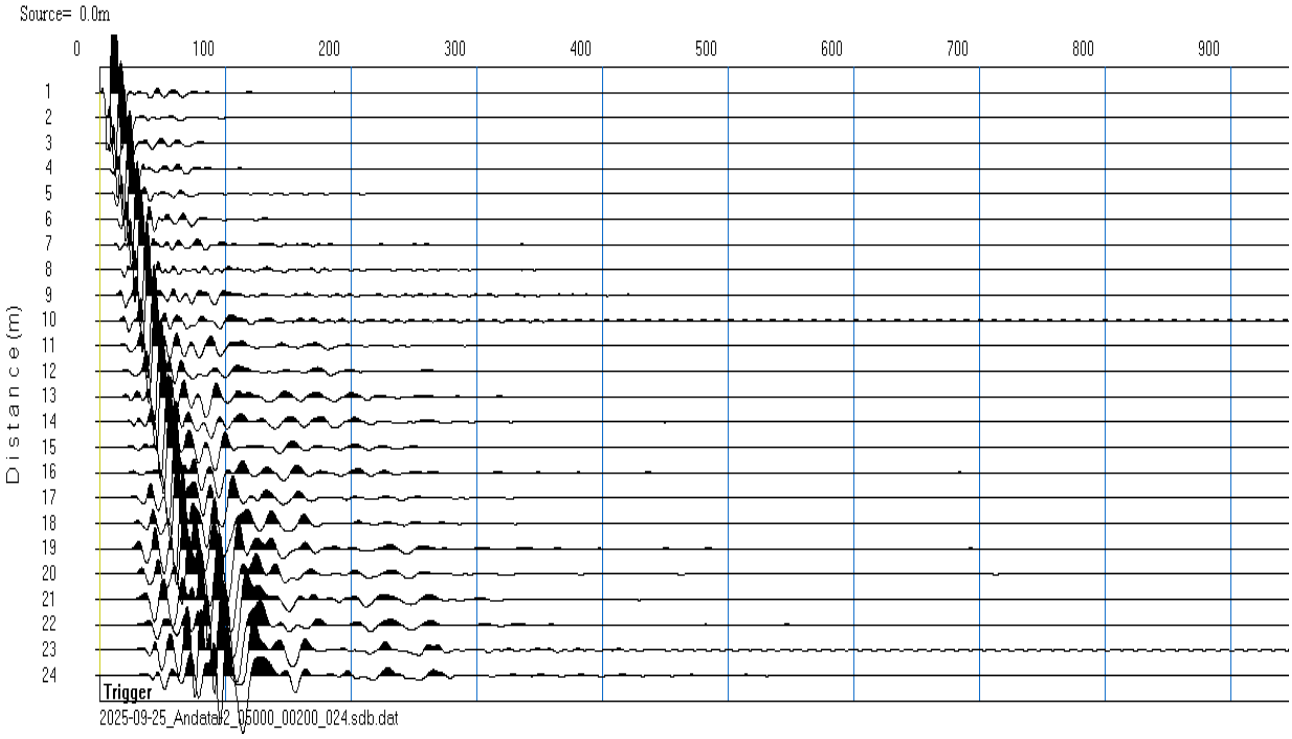
profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_2A coordinate WGS84 44.395230°N 8.334181°E



time history

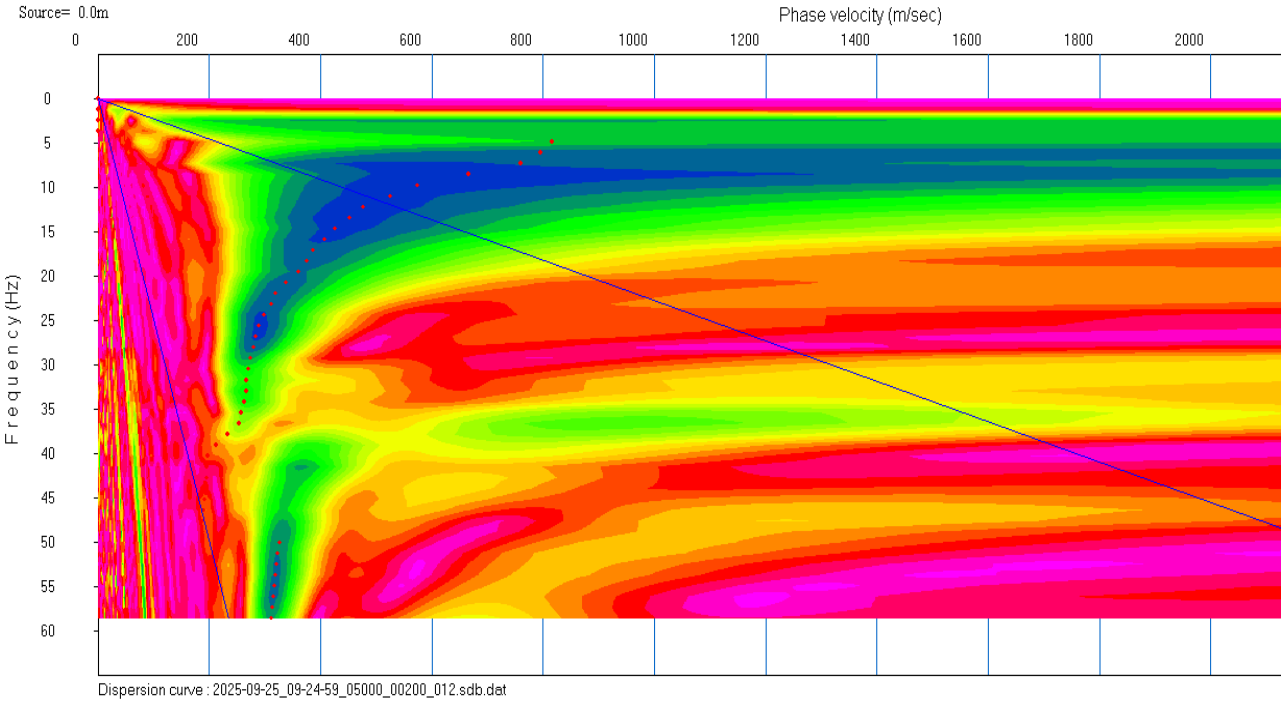
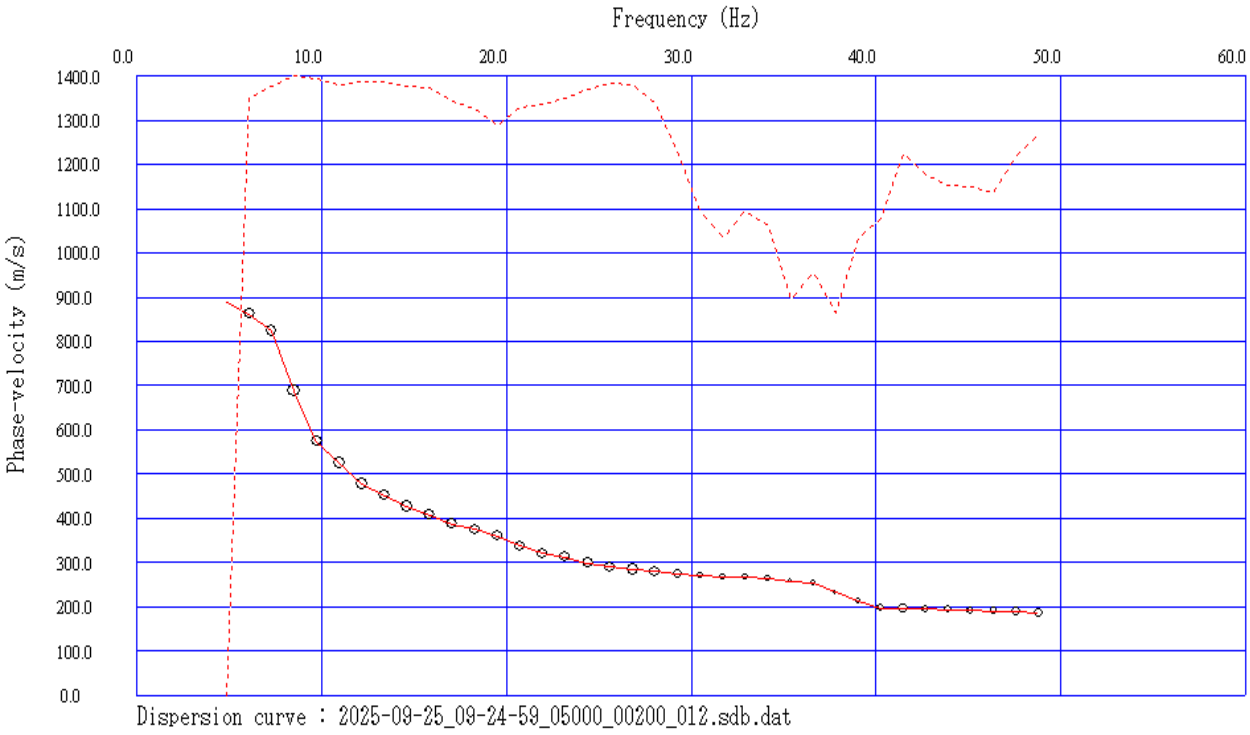


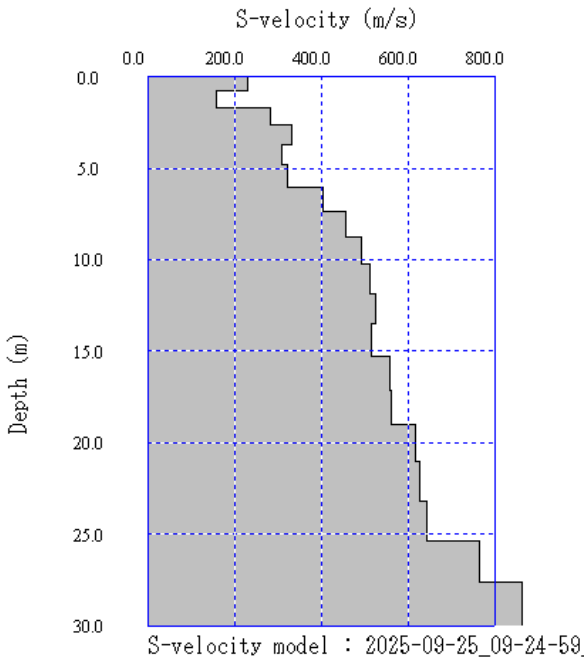
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

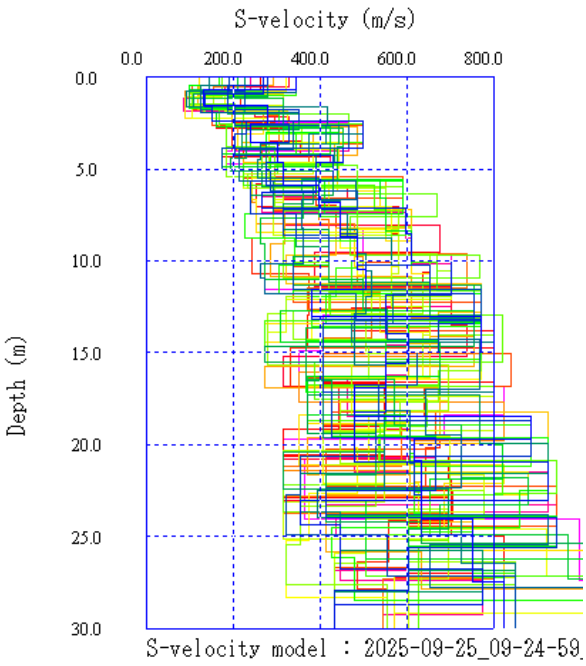
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_2A coordinate WGS84 44.395230°N 8.334181°E



curva di dispersione



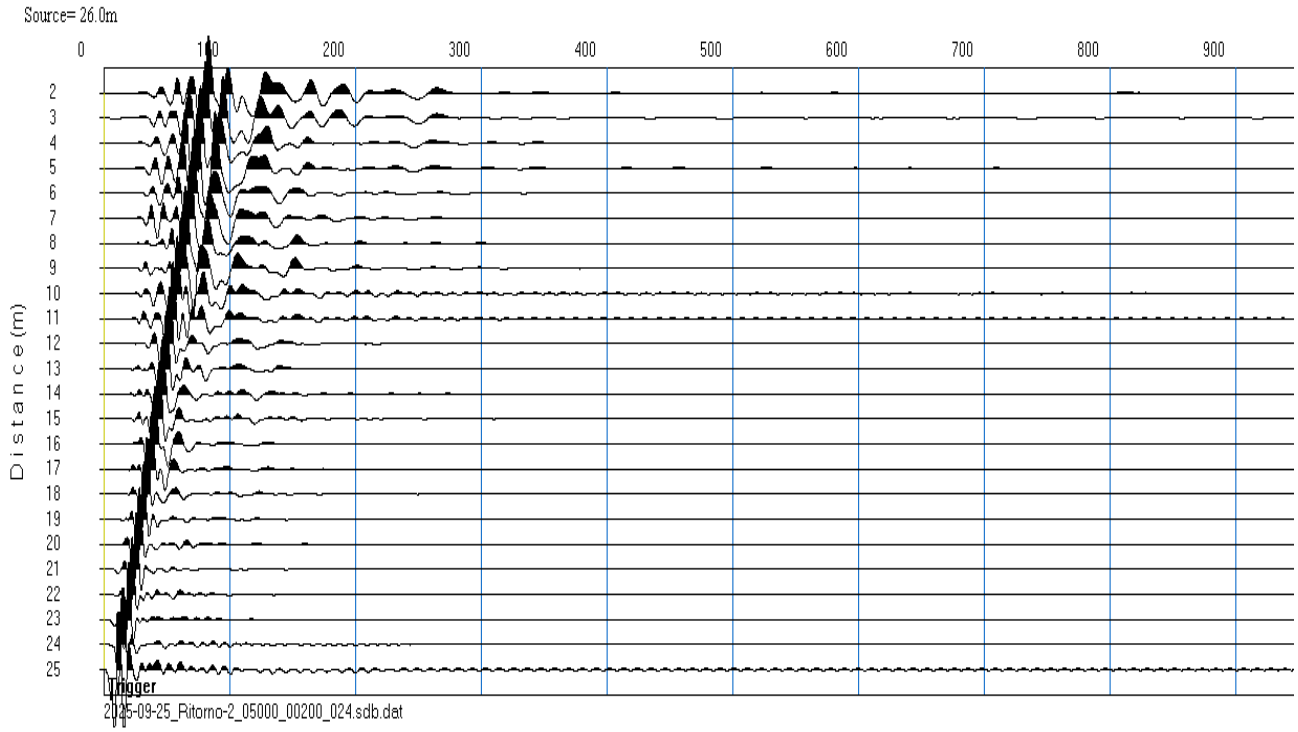
profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_2R coordinate WGS84 44.395463°N 8.334267°E



time history

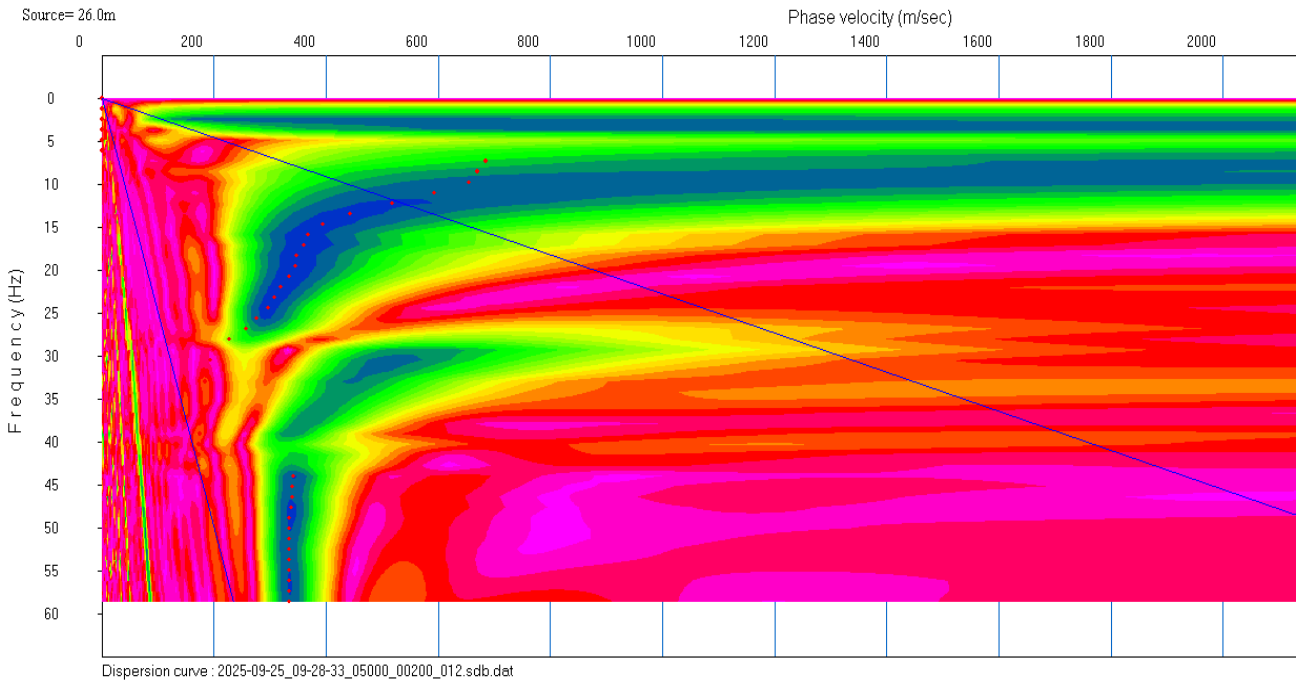
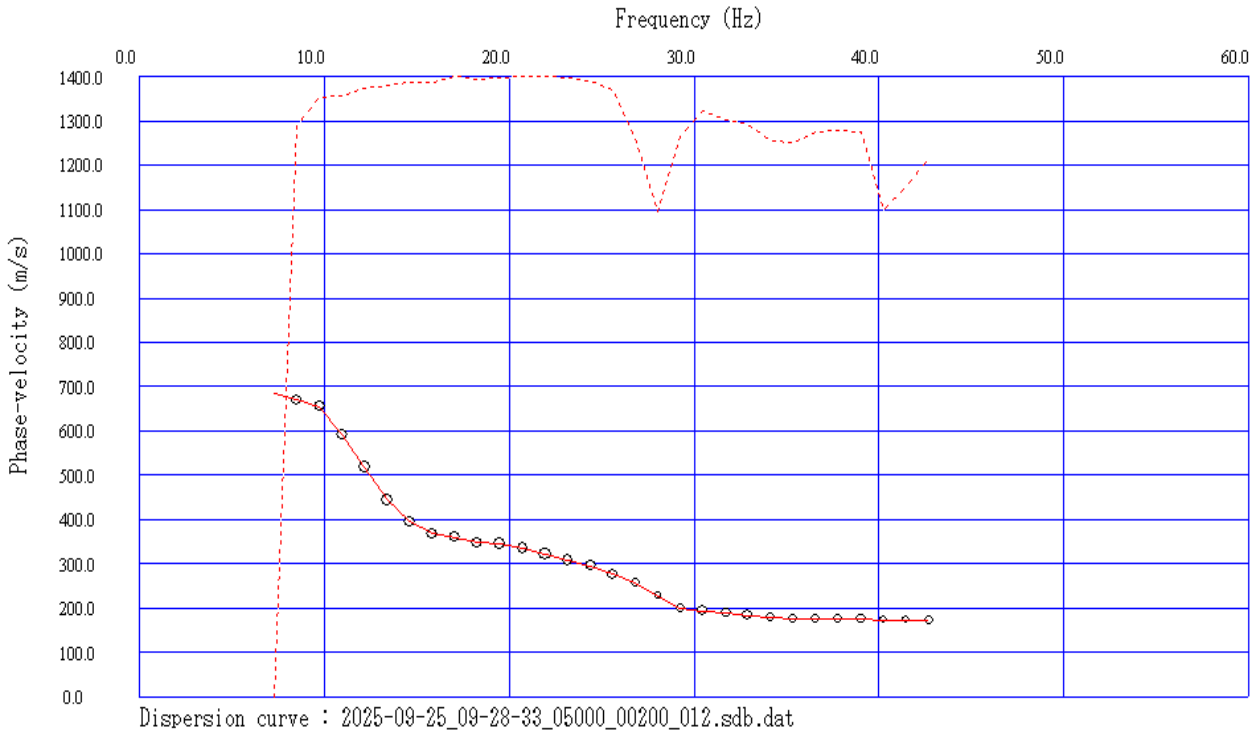


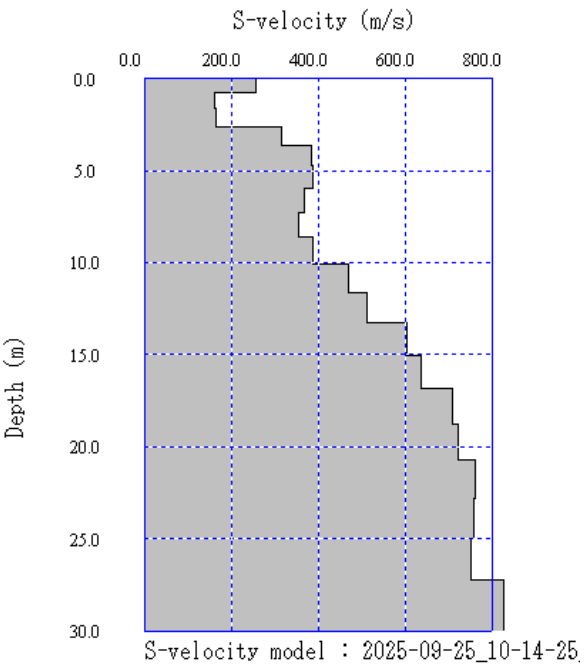
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

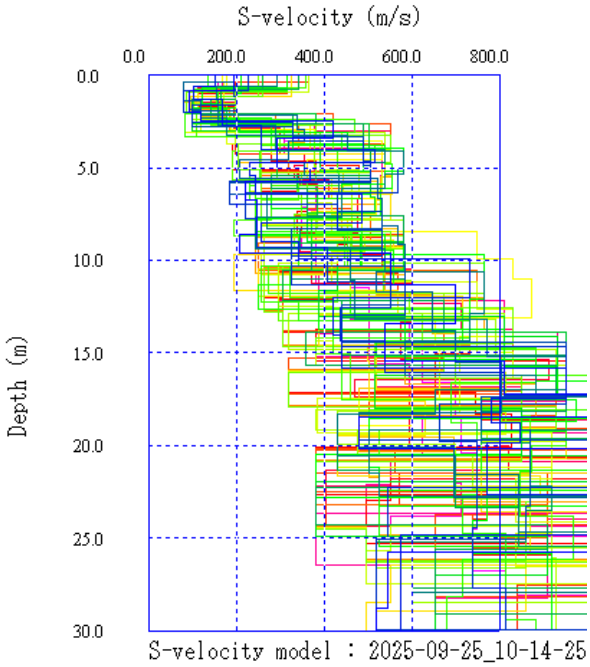
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_2R coordinate WGS84 44.395463°N 8.334267°E



curva di dispersione



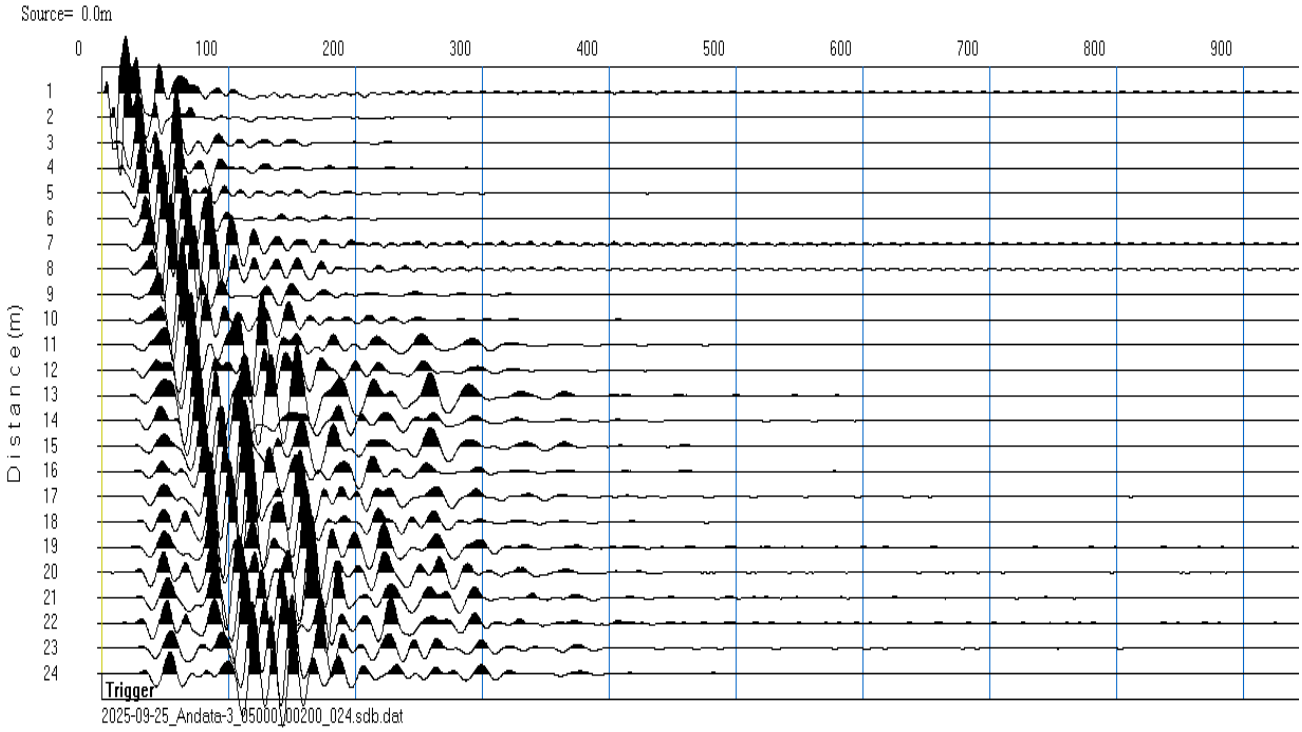
profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_3A coordinate WGS84 44.390881°N 8.325294°E



time history

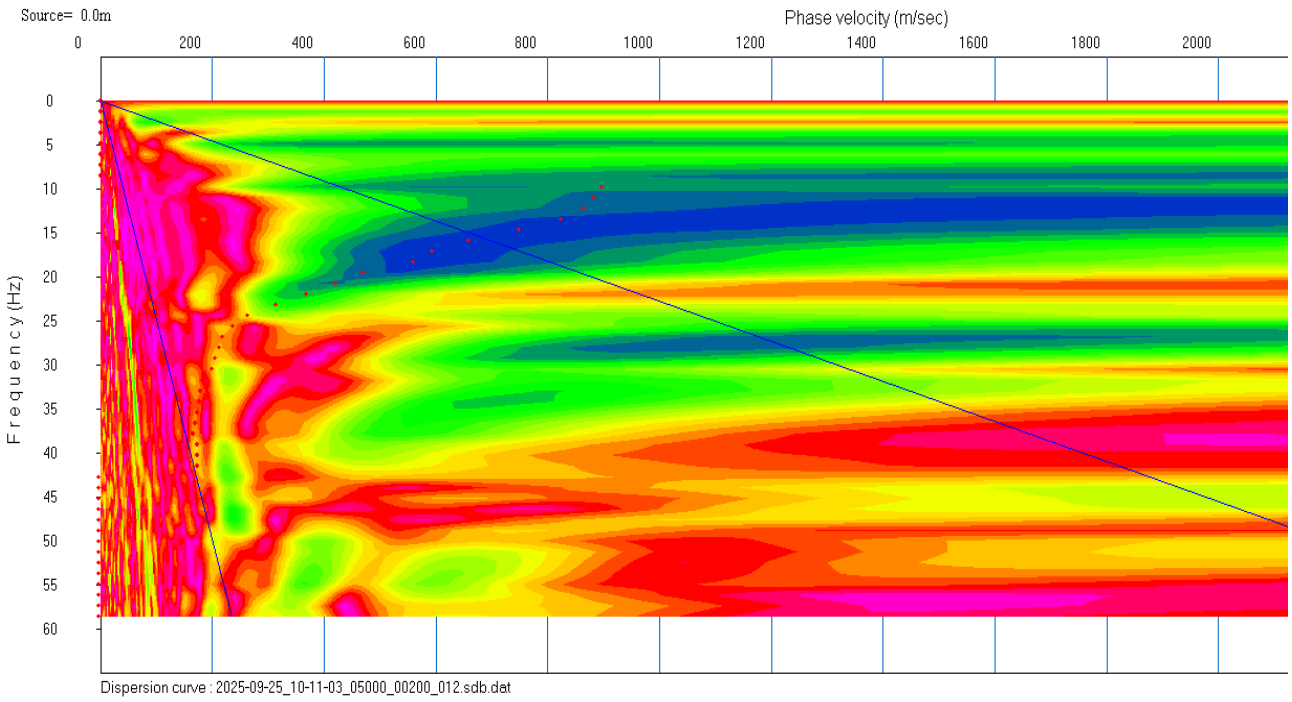
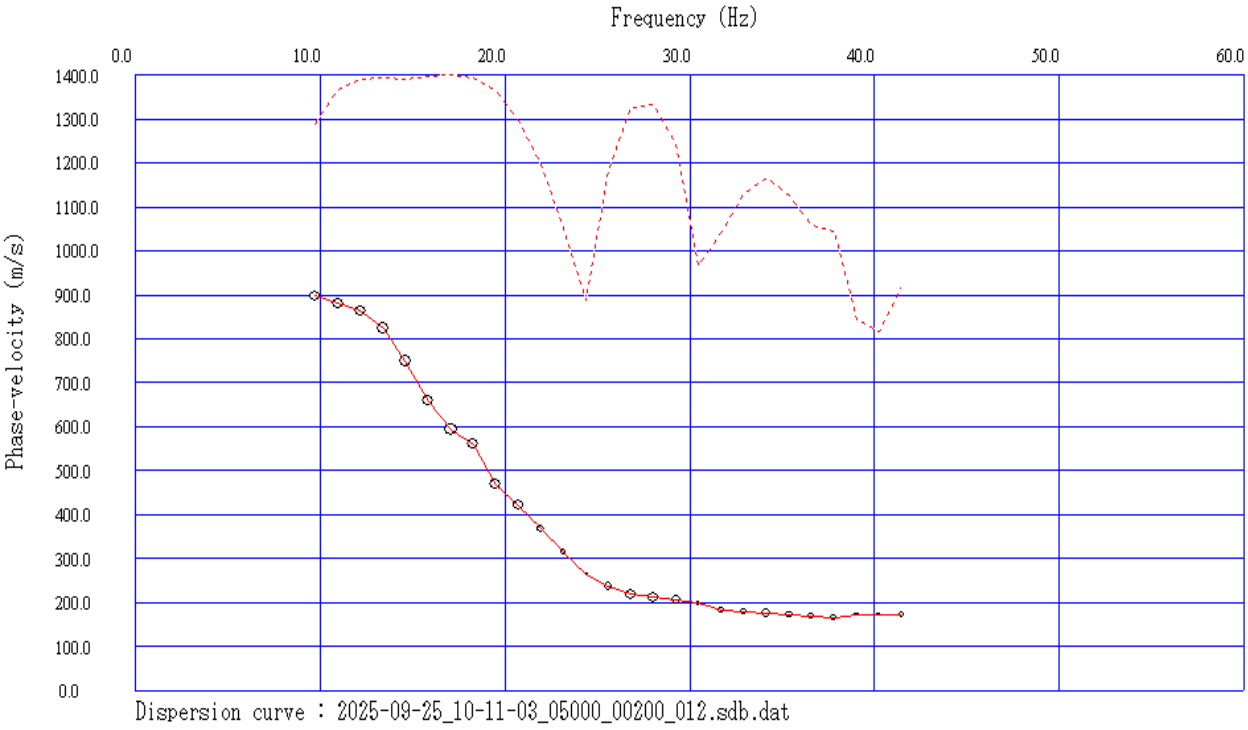


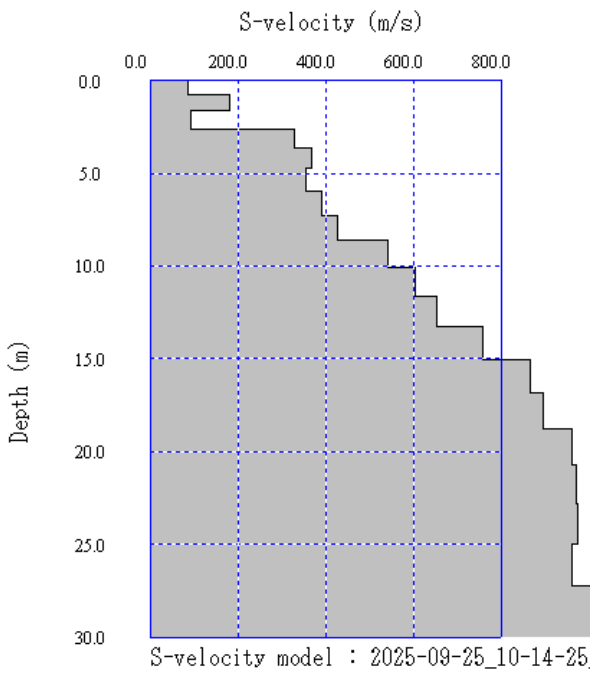
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

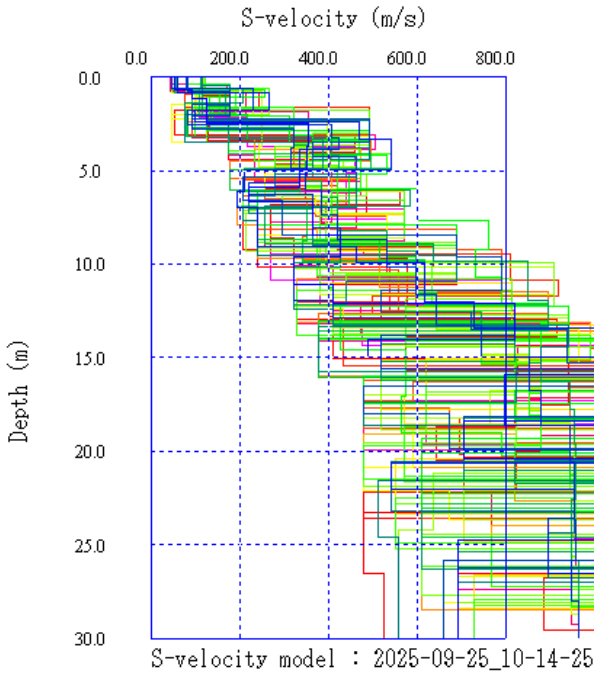
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_3A coordinate WGS84 44.390881°N 8.325294°E



curva di dispersione



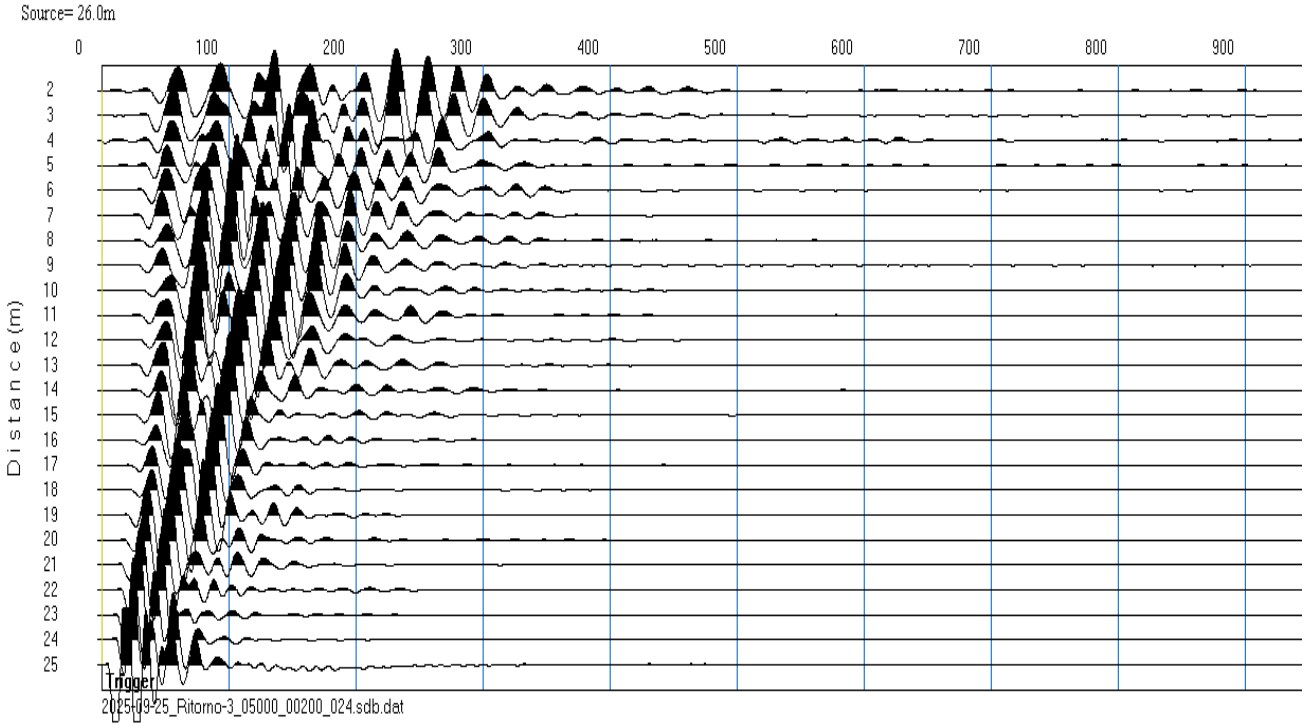
profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

Multichannels Analysis Surface Waves

ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_3R coordinate WGS84 44.390913°N 8.324986°E



time history

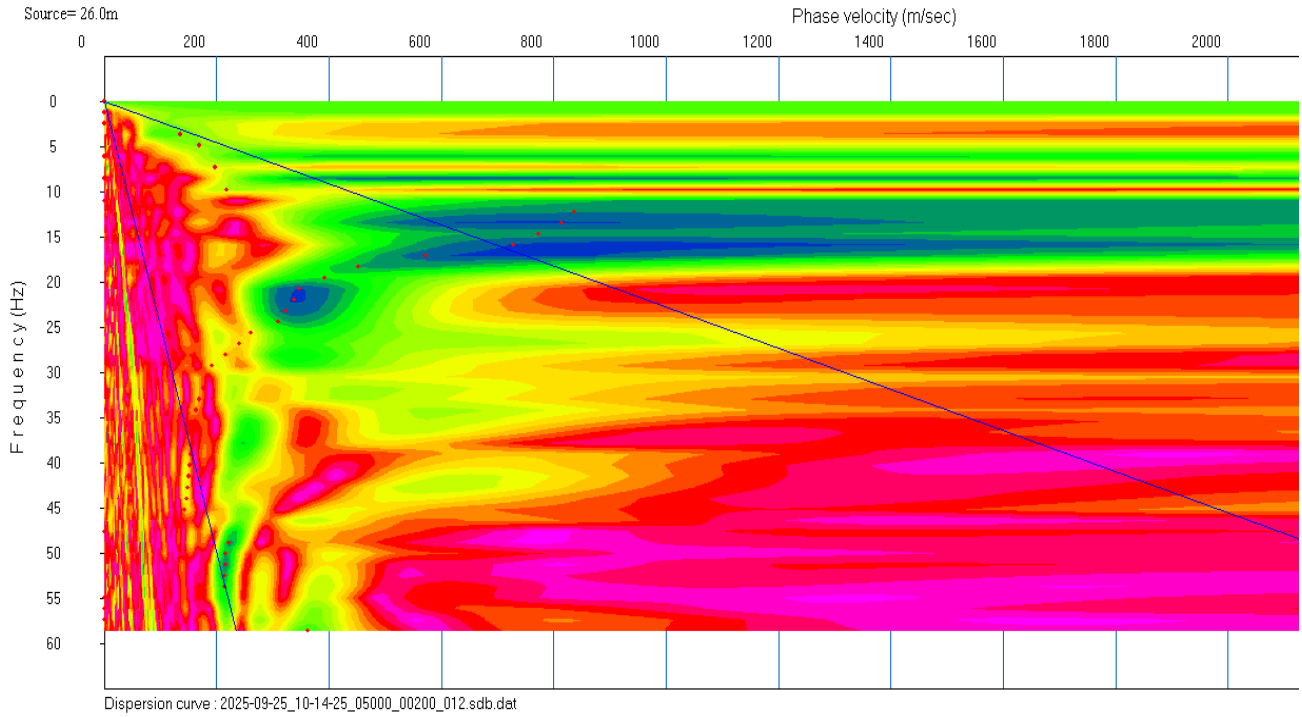
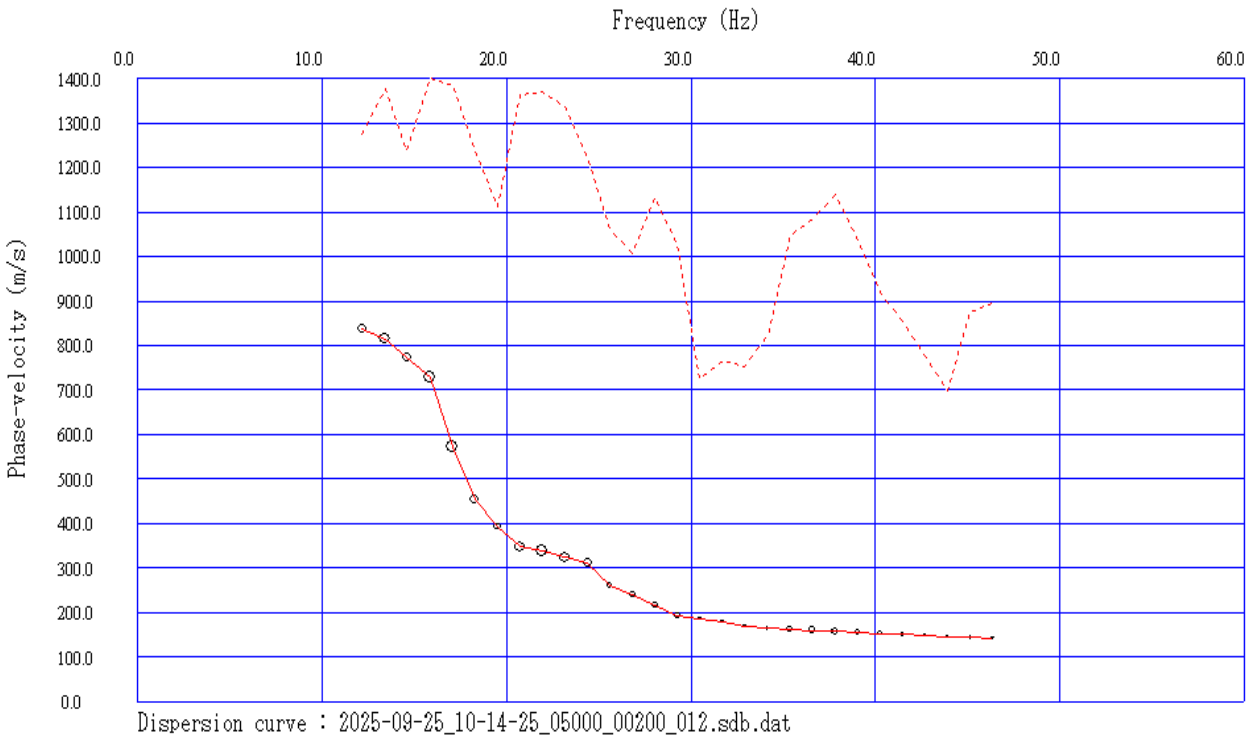


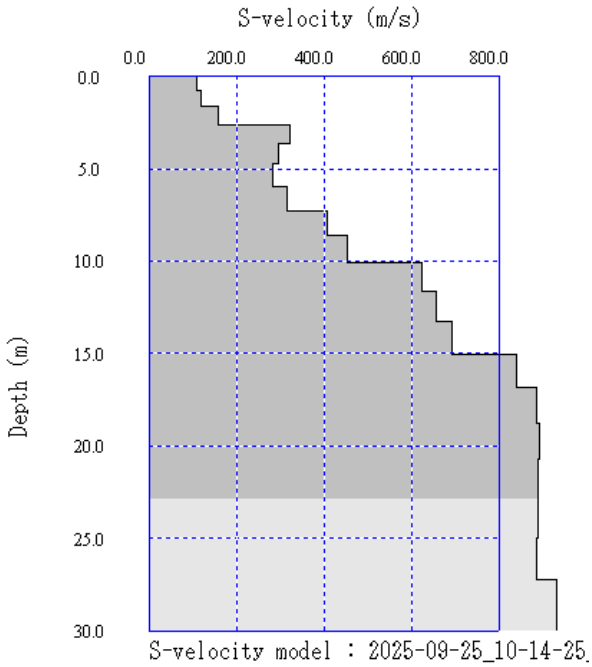
diagramma potenza di spettro

Multichannels Analysis Surface Waves

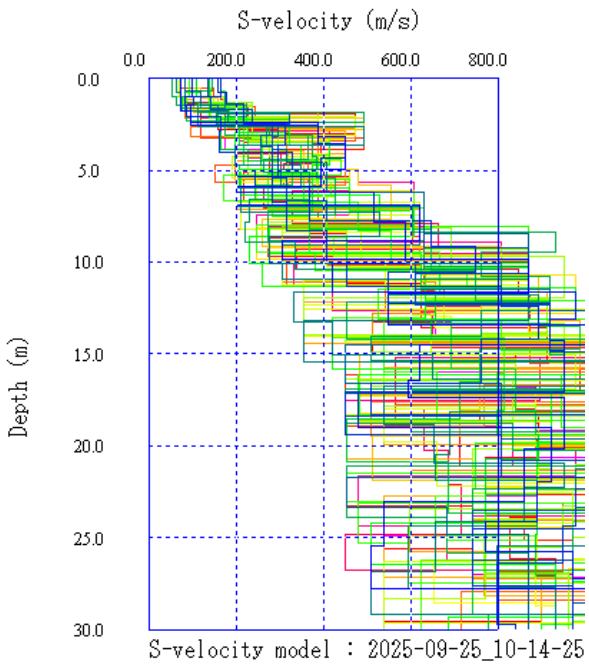
ubicazione: loc.Camponuovo - Comune di Cairo Montenotte (SV) data:25.09.2025
riferimento rilievo: MASW_3R coordinate WGS84 44.390913°N 8.324986°E



curva di dispersione



profilo di velocità



elaborazione modelli equivalenti

9 Categoria di suolo

L'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la OPCM n. 3519/2006, integrata con le NTC 2008 e le NTC 2018 (§ 3.2.2) ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo (Eurocodice 8).

Infatti nel caso in cui si ha contezza delle condizioni stratigrafiche e delle proprietà dei terreni, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S, ottenuti mediante specifiche prove.

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

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

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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.

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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono di seguito rappresentate:

Categoria	*Descrizione*
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori i 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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

I profili di rigidità relativi ai rilievi condotti nell'area di studio, verificano la seguente situazione

Depth(m)	MASW - 1A S-velocity(m/s)	MASW - 1R S-velocity(m/s)	MASW - 2A S-velocity(m/s)	MASW - 2R S-velocity(m/s)	MASW - 3A S-velocity(m/s)	MASW - 3R S-velocity(m/s)
0.00	135	221	226	255	85	108
0.78	89	116	156	162	182	118
1.64	292	214	279	165	93	160
2.59	189	329	327	314	328	324
3.62	261	347	304	385	370	296
4.75	410	300	317	388	354	283
5.96	579	326	397	368	390	314
7.25	573	460	449	355	428	408
8.63	617	536	485	388	543	454
10.10	638	620	504	469	606	625
11.65	655	744	518	511	654	655
13.29	691	788	507	605	758	693
15.02	712	811	550	636	868	821
16.83	722	832	583	645	887	886
18.73	743	845	607	666	922	894
20.71	786	863	628	684	945	912
22.78	812	871	656	722	968	922
24.94	835	883	752	756	974	945
27.19	858	912	786	789	983	963
30.00	887	922	822	835	994	981
Vs_{30} (m/sec)	462	502	461	459	453	451
H (m)	22.8	15.0	30.0	30.0	15.0	15.0
Vs_H (m/sec)	404	354	461	459	298	301

Profili di rigidità e tabellazione dei valori di velocità determinati dall'analisi MASW dei dati con indicazione del valore della velocità equivalente sulla profondità di m 30 e sulla profondità di intercetta del substrato rigido di riferimento (§ 3.2.2 del D.M. 17.01.2018)

Pertanto l'elaborazione dell'indagine sismica MASW, eseguite sull'area in esame, ha definito un valore della velocità Vs_{30} dei terreni compresi tra **451** m/s e **502** m/s. Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo ***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.).*

10. Conclusioni

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel settore nord occidentale della Liguria circa 4 chilometri a est in linea d'aria rispetto all'abitato di Cairo Montenotte.

Il parco eolico ricade nella provincia di Savona e più specificatamente nel territorio comunale di Cairo Montenotte (SV), il cavidotto di connessione in media tensione ricade interamente nei territori di Cairo Montenotte (SV), Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV). La futura stazione di connessione alla RTN si localizza nel territorio di Mallare (SV) in località *Peirano.*

Dal punto di vista geologico, nel dettaglio, la turbina CM-01 ricade su terreni afferenti alla formazione di Molara e in particolare la facies a siltiti argillose (**MORd**). La turbina ricade sui Metagabbri (**MEG**). Le turbine CM-03 e CM-04, ricadono sugli Scisti Filladici (**SFD**). Le turbine CM-05 e CM-06, ricadono sulla Formazione di Molara e in particolare sulla facies a conglomerati (**MORb**). La turbina CM-07, ricade sulle Dolomie di Monte Rosotta (**DSO**).

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in cui ricadono le opere in progetto è disciplinata dal D.G.R. 428 del 21.05.2021 - L.R. 41/2014, art.33, c.6 e Norme di Attuazione Piano Assetto Idrogeologico (PAI) Fiume Po, art.58. Approvazione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana. La cartografia contempla le mappe dei disseti e di pericolosità e l'area ove si prevede di realizzare le turbine non ricade in area in dissesto ne in area a pericolosità. Inoltre è stato consultato anche l'inventario IFFI e anche qui, le l'area ove si prevede di realizzare le turbine non ricade in area in dissesto.

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da istallare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

L'elaborazione dell'indagine sismica MASW, eseguite sull'area in esame, ha definito un valore della velocità Vs_{30eq} dei terreni compresi tra **451** m/s e **502** m/s.

Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo ***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.).*

Termini Imerese, Settembre 2025

Il Geologo
(Dott. Ignazio Giuffrè)