

REGIONE
CALABRIA



PROVINCIA DI
COSENZA



Committente:

Kosmo Wind s.r.l
via Sardegna 40
00187 Roma (RM)
P.IVA/C.F. 16799741000

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "SAN COSMO"

Elaborato:

Relazione geologica

SCALA:

-

FORMATO:

A4

NOME FILE:

IT-VesPdV-Gem-ENV-GEO-TR-06-Rev.0_Relazione_geologica

Progettazione:



Dott. Geol. Gian Vito Graziano

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	09/2023	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA	Kosmo Wind S.r.l

REGIONE CALABRIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI TERRITORI COMUNALI DI SAN COSMO ALBANESE, SAN GIORGIO ALBANESE E VACCARIZZO ALBANESE (CS)

RELAZIONE GEOLOGICA E DI COMPATIBILITA’ GEOMORFOLOGICA

1. PREMESSE

Il presente studio geologico e di compatibilità geomorfologica è stato eseguito per il progetto definitivo indicato in epigrafe in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M. 17/01/2018).

In particolare il paragrafo 6.12 delle NTC 2018 così testualmente recita:

6.12. FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE

Le presenti norme definiscono i criteri di carattere geologico e geotecnico da adottare nell’elaborazione di piani urbanistici e nel progetto di insiemi di manufatti e interventi che interessano ampie superfici, quali:

- a) nuovi insediamenti urbani civili o industriali;*
- b) ristrutturazione di insediamenti esistenti, reti idriche e fognarie urbane e reti di sottoservizi di qualsiasi tipo;*
- c) strade, ferrovie ed idrovie;*
- d) opere marittime e difese costiere;*
- e) aeroporti;*
- f) bacini idrici artificiali e sistemi di derivazione da corsi d’acqua;*
- g) sistemi di impianti per l’estrazione di liquidi o gas dal sottosuolo;*

h) bonifiche e sistemazione del territorio;

i) attività estrattive di materiali da costruzione.

6.12.1. INDAGINI SPECIFICHE Gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica devono essere estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare che la destinazione d'uso sia compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi devono caratterizzare la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) e devono consentire di individuare gli eventuali limiti imposti al progetto di insiemi di manufatti e interventi (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo).

Lo studio ha, quindi, previsto l'esecuzione di tutti i rilievi, le indagini e le prove tecniche necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che possono interferire con le opere in progetto;
- indicare, in linea di prima approssimazione, eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la realizzazione ottimale delle opere in progetto;

- determinare, in linea di prima approssimazione, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con maggiore interesse a quelle che più da vicino riguardano gli aspetti progettuali;
- verificare l’eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di liquefazione;
- indicare un programma di indagini geognostiche e geotecniche da eseguire nelle successive fasi di progettazione esecutiva.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

a) Studio geologico dell’area interessata comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l’indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

b) Studio geomorfologico dell’area interessata comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

c) Studio idrogeologico dell’area interessata comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche ed all’individuazione delle aree soggette ad esondazione.

d) Studio delle pericolosità geologiche dell’area interessata comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da “pericolosità geologiche” quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, rappresentando, cioè, un’attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

e) Studio della pericolosità sismica locale atto ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati realizzati n. 8 indagini di sismica attiva “Masw” per definire le velocità delle onde sismiche Vs nei primi 30 m di profondità dal p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione.

Tali indagini si ritengono sufficienti ai fine della presente fase di studio ma si rende necessario, a valle dell’AU, eseguire le necessarie indagini geognostiche e geotecniche (vedi capitolo specifico) nei siti degli aerogeneratori effettivamente autorizzati.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

- a. ***Parco eolico*** costituito da n. 8 aerogeneratori;
- b. ***Cavidotto*** di collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica;
- c. ***Sottostazione elettrica***.

Con i dati in nostro possesso, abbiamo redatto la presente relazione geologico-tecnica corredata dai seguenti elaborati:

- ✓ n. 1 carta geologica ed idrogeologica eseguita in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 4 carte, fuori testo, relative al piano di assetto idrogeologico (P.A.I.) ed al Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);
- ✓ le colonne stratigrafiche tipo, inserite nel testo;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica attiva “Masw”.

I risultati e le ipotesi geologiche formulate in questa sede sono da confermare con l'esecuzione delle indagini indicate nell'apposito capitolo, nella successiva fase di progettazione esecutiva.

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini ed i rilievi eseguiti in questa prima fase con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati.

2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

I tipi litologici affioranti in corrispondenza delle opere in progetto sono riferibili ad un ampio periodo di tempo e che distinguiamo dal più recente al più antico:

- ⇒ **ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI (Pleistocene medio-sup.):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Interessano alcuni tratti di cavidotto e la sottostazione.
- ⇒ **COMPLESSO SABBIOSO – CONGLOMERATICO (Pleistocene sup.):** Si tratta di sabbie da fini a grossolane, ghiaie, conglomerati e sabbioni e/o di antiche conoidi di deiezione bruno rossastri. Interessano alcuni tratti di cavidotto.
- ⇒ **DEPOSITI TERRAZZATI (Pleistocene inf.):** Si tratta di conglomerati e sabbie di terrazzi marini. Interessano alcuni tratti di cavidotto.

⇒ **COMPLESSO SABBIOSO (Pliocene sup.):** si tratta di sabbie da fini a grossolane, con inclusi di colore ocre, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie e livelli e strati calcarenitici. Interessano l'aerogeneratore SC02 in progetto ed alcuni tratti del cavidotto.

⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO (Pliocene medio-inf.):** Si tratta di silt, argille siltose talora marnose da scarsamente a mediamente consistente quando alterate, mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente. Interessano gli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 in progetto ed alcuni tratti del cavidotto. Detto complesso costituisce il substrato impermeabile del complesso pliocenico sabbioso.

⇒ **COMPLESSO IGNEO-METAMORFICO (Paleozoico):** Si tratta di para-gneiss e scisti biotitici, spesso con granati visibili ad occhio nudo, scisti filladici grigi lucenti e scisti e gneiss biotitici. Detti terreni non interessano alcuna opera in progetto.

In definitiva, dall'analisi della carta geologica e dai rilievi eseguiti in campagna, nonché dalle indagini sismiche eseguite per il presente studio è stata ricostruita la colonna stratigrafica rappresentativa del modello geologico in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione di seguito allegata.

Le aree interessate dagli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Pliocenico formato da argille siltose talora marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando

alterate di spessore variabile tra 5-8 m, mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente.

L'area interessata dall'aerogeneratore SC02 è afferente al Complesso sabbioso costituito da sabbie fini limose, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 7 m, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Detto complesso è caratterizzato da uno spessore pari a circa 40-50 m.

La sottostazione è ubicata in area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale.

Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche.

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 1.00 e 2.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

Si mette in evidenza che il cavidotto esterno al parco e di collegamento alla sottostazione verrà realizzato esclusivamente su strade asfaltate e, vista la limitata profondità di scavo pari a circa 1.20 m, interesserà esclusivamente la fondazione/rilevato stradale e non interferisce con i terreni in posto sottostanti.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1
(AEROGENERATORI SC01-SC03-SC04-SC05-SC06-SC07-SC08)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m)
		Argille siltose e marnose - Frazione alterata - Complesso Argilloso Plieocenico (spessore variabile tra 5-8 m) $\varphi' = 25^\circ, C' = 1,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$
		Argille siltose e marnose - Frazione inalterata - Complesso Argilloso Plieocenico $\varphi' = 25^\circ, C' = 2,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2 (AEROGENERATORE SC02)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m)
		Sabbie fini limose - Frazione alterata - Complesso sabbioso (spessore pari a circa 7 m) $\varphi' = 25^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3.$
		Sabbie fini limose - Frazione inalterata - Complesso sabbioso $\varphi' = 30^\circ, C' = 0,0 \text{ t/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ t/m}^3.$



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3 SOTTOSTAZIONE

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)
		Ghiaie, sabbie e sabbie limose - Depositi alluvionali $\phi' = 25^\circ$, $C' = 0,0 \text{ t/m}^2$, $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$.

3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

Da un punto di vista geomorfologico, l'area vasta in cui sono ubicate le opere in progetto può essere divisa in tre settori:

- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico irregolare, caratterizzato versanti da media e alta pendenza dove prevalgono i litotipi metamorfici (gneiss, scisti e filladi) con rotture di pendenza;
- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico irregolare, caratterizzato da un'alternanza di aree sub-pianeggianti a rilievi dolci, intercalati ad aree ad elevata attività erosiva con impluvi molto incisi con valli strette e spesso a carattere calanchivo, dove prevalgono i litotipi argillosi e sabbiosi;
- ⇒ una zona di fondovalle stabile dove affiorano i termini alluvionali caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie

Sono essenzialmente i processi fluviali quelli che hanno esplicito e tutt'ora esplicitano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta avere, con un pattern molto articolato essendo costituito prevalentemente da numerosi impluvi che drenano le acque sul torrente Malfrancato, Mizzofato, Occhio di Lupo Muzzolito che scorrono in direzione SW-NE.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente studio, in generale si evince che *i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i*

cavidotti interni ed esterni non sono interessati da fenomeni di instabilità ma molti fenomeni geodinamici sono limitrofi sia ad alcuni tratti del cavidotto ed altri si rinvengono in prossimità degli aerogeneratori 2, 3 e 4 (vedi carte geomorfologiche di dettaglio).

"Tali condizioni, non ostante alla realizzazione degli aerogeneratori e del cavidotto, presuppongono la necessità di prevedere, una volta confermata in fase di Autorizzazione Unica la posizione degli aerogeneratori ed eseguite le necessarie indagini geognostiche e geotecniche, opere di ingegneria naturalistica atte ad evitare che l'evoluzione geodinamica di tali fenomenologia possa, eventualmente, interferire in un futuro con il sedime degli aerogeneratori e dei tratti di strada dove viene collocato il cavidotto."

Da evidenziare che il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico.

Dal punto di vista idrogeologico le aree in studio sono caratterizzate dall'affioramento di terreni diversi che abbiamo suddiviso in 3 tipi di permeabilità prevalente:

⇒ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso sabbioso Pliocenico, al Complesso Sabbioso-Conglomeratico Pleistocenico, ai Depositi alluvionali ed ai Depositi terrazzati.

⇒ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dalle argille che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso Argilloso Pliocenico.

⇒ **Rocce permeabili per fratturazione:** Si tratta di rocce coerenti caratterizzate da una permeabilità per fratturazione che varia al variare del grado di tettonizzazione e di scistosità. In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione poco fratturata mentre tende ad aumentare nelle porzioni intensamente fratturate. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso Igneo-Metamorfico,

Nello specifico, l'affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 non consente la formazione di falde freatiche di interesse.

In corrispondenza del complesso sabbioso-calcarenitico è presente una falda freatica evidenziata da una serie di sorgentelle di scarsa potenzialità ma di interesse idrogeologico.

Nello specifico, come si evince dai pochi pozzi presenti in zona, le aree degli aerogeneratori ubicati nella cresta della collina ed in una posizione tale che le acque sotterranee vengono drenate verso il Torrente Piepo che la circonda con i suoi affluenti.

Si mette in evidenza che permeabili poggianti su un substrato impermeabile consente la formazione una falda freatica il cui livello freatico si trova alla profondità variabile in funzione dello spessore del complesso permeabile, comunque generalmente superiore a 15 metri.

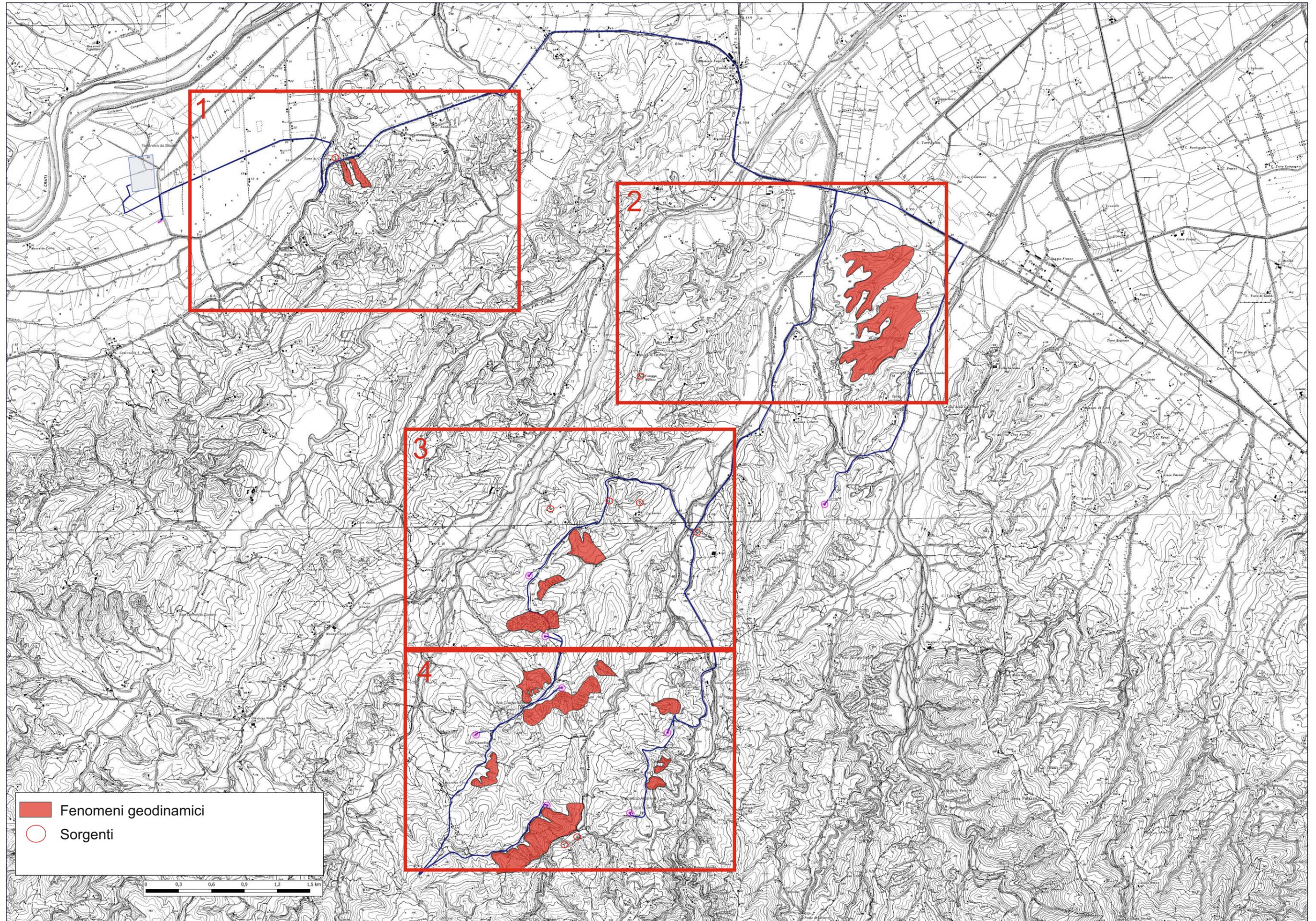
Nel solo caso dell'aerogeneratore SC02 che interessa il complesso sabbioso (gli altri aerogeneratori sono su depositi argillosi in assenza di falda), si ipotizza una profondità della falda piuttosto elevata, considerato che il fronte sabbioso a vista sulle sponde del torrente è di oltre 80 metri senza che si individua alcuna sorgente.

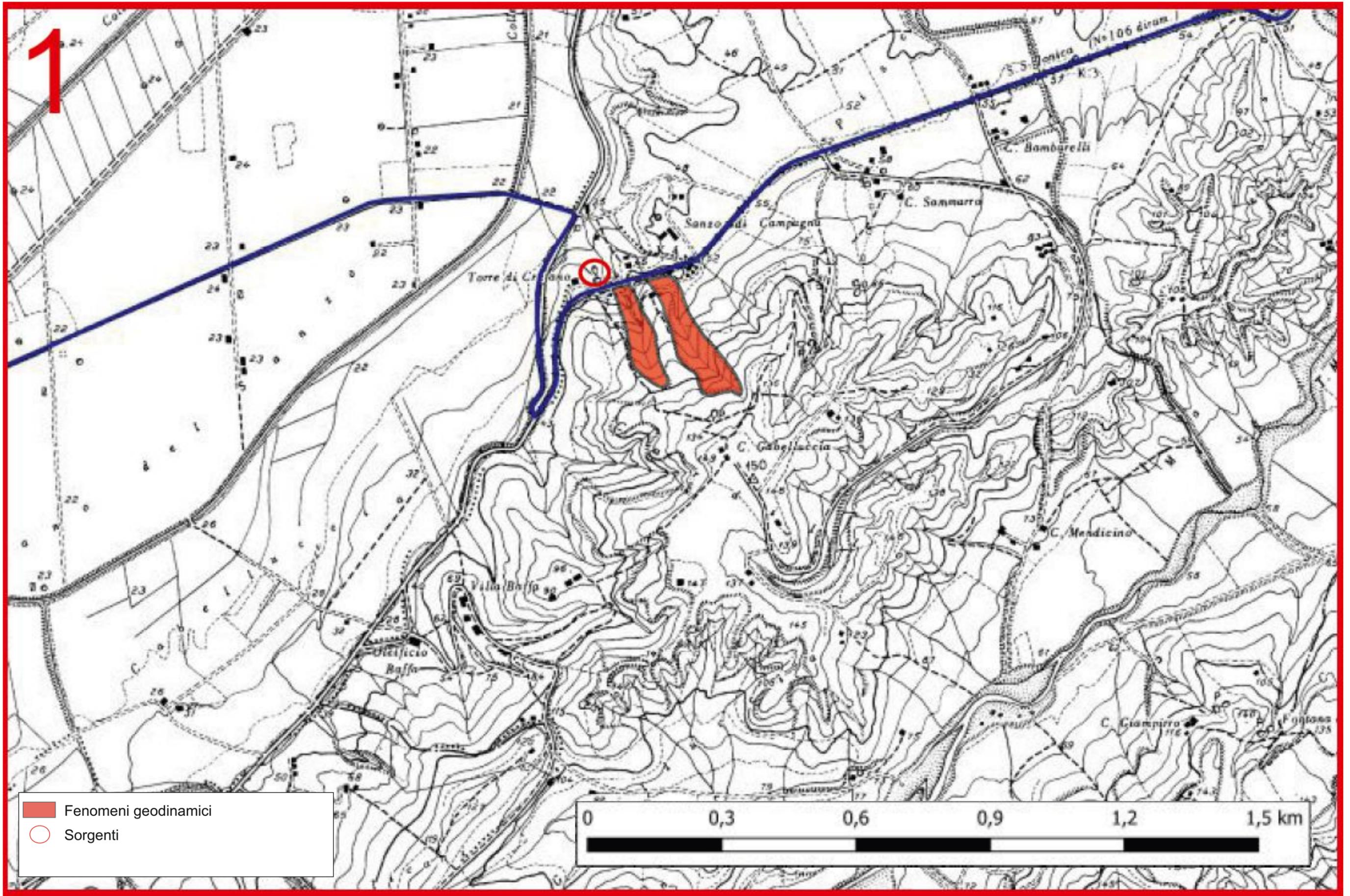
L'area in cui verrà realizzata la sottostazione è invece caratterizzata dalla presenza di una falda freatica il cui livello si attesta a circa 3-4 m dal p.c.

In ogni caso si evidenzia che l'impianto in fase di esercizio e cantiere non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda sostanze inquinanti di nessun tipo.

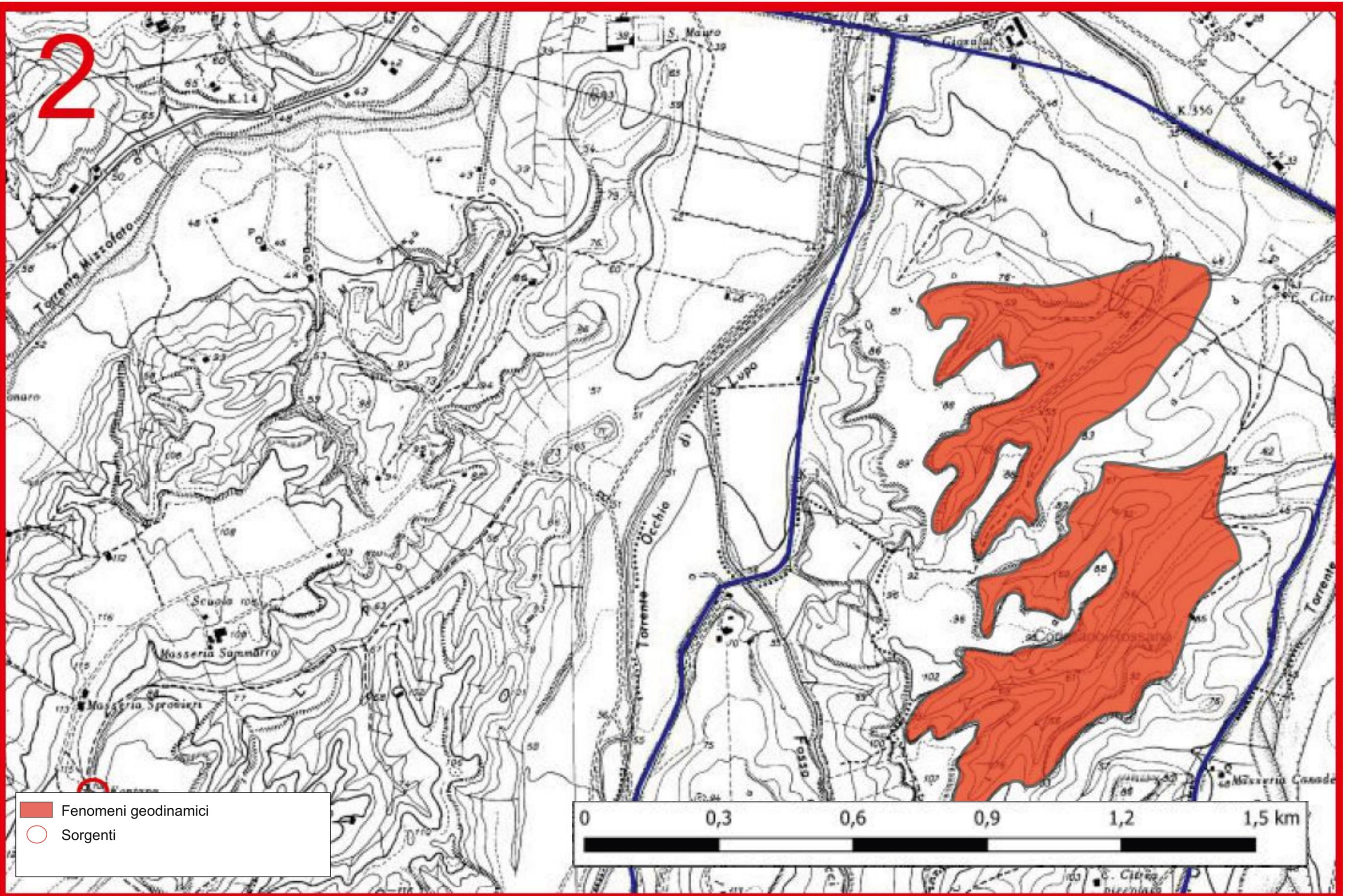
Da un punto di vista idraulico le aree a pericolosità/rischio individuate dal P.A.I. e dal P.G.R.A. non interferiscono con le opere in progetto.

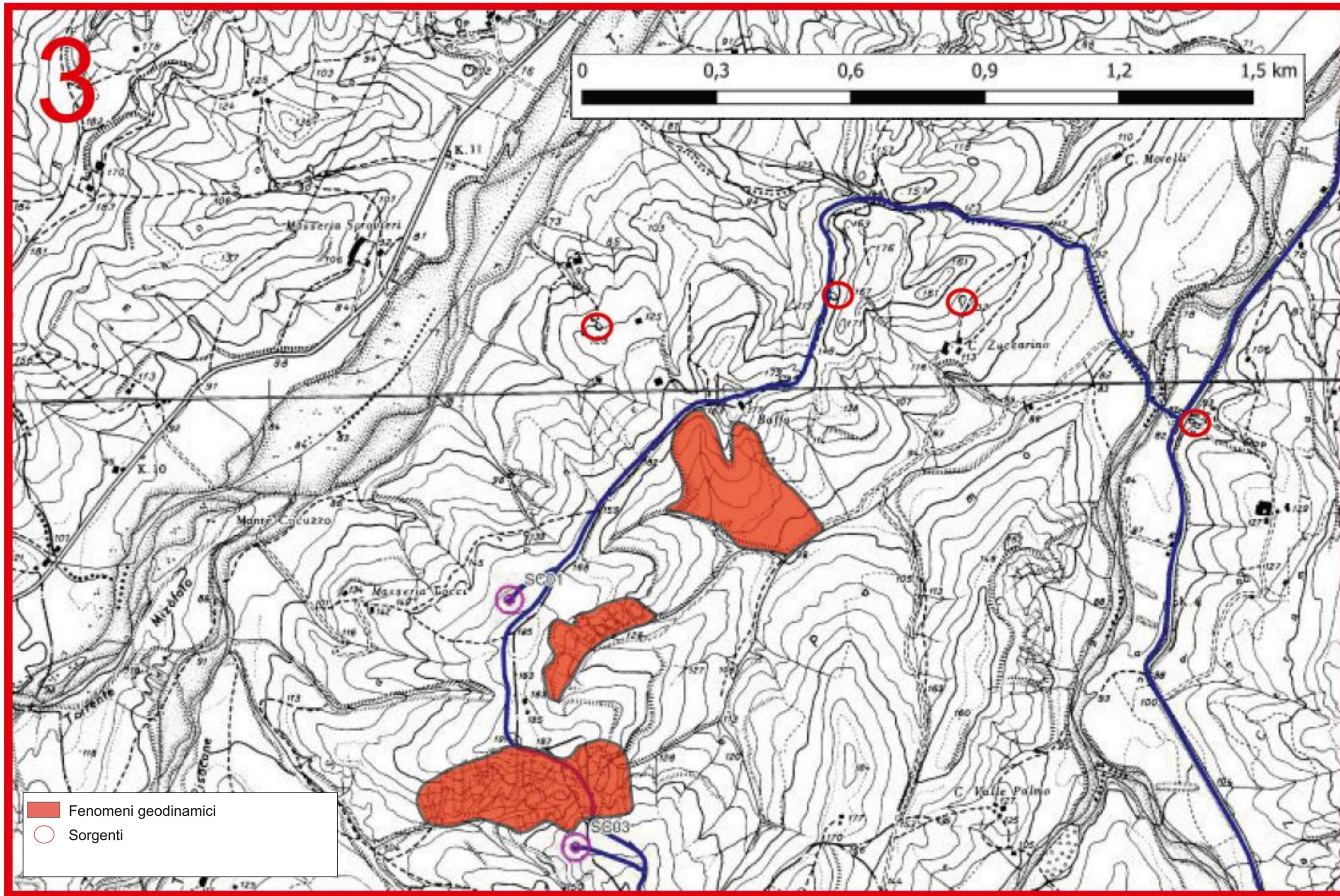
CARTA GEOMORFOLOGICA

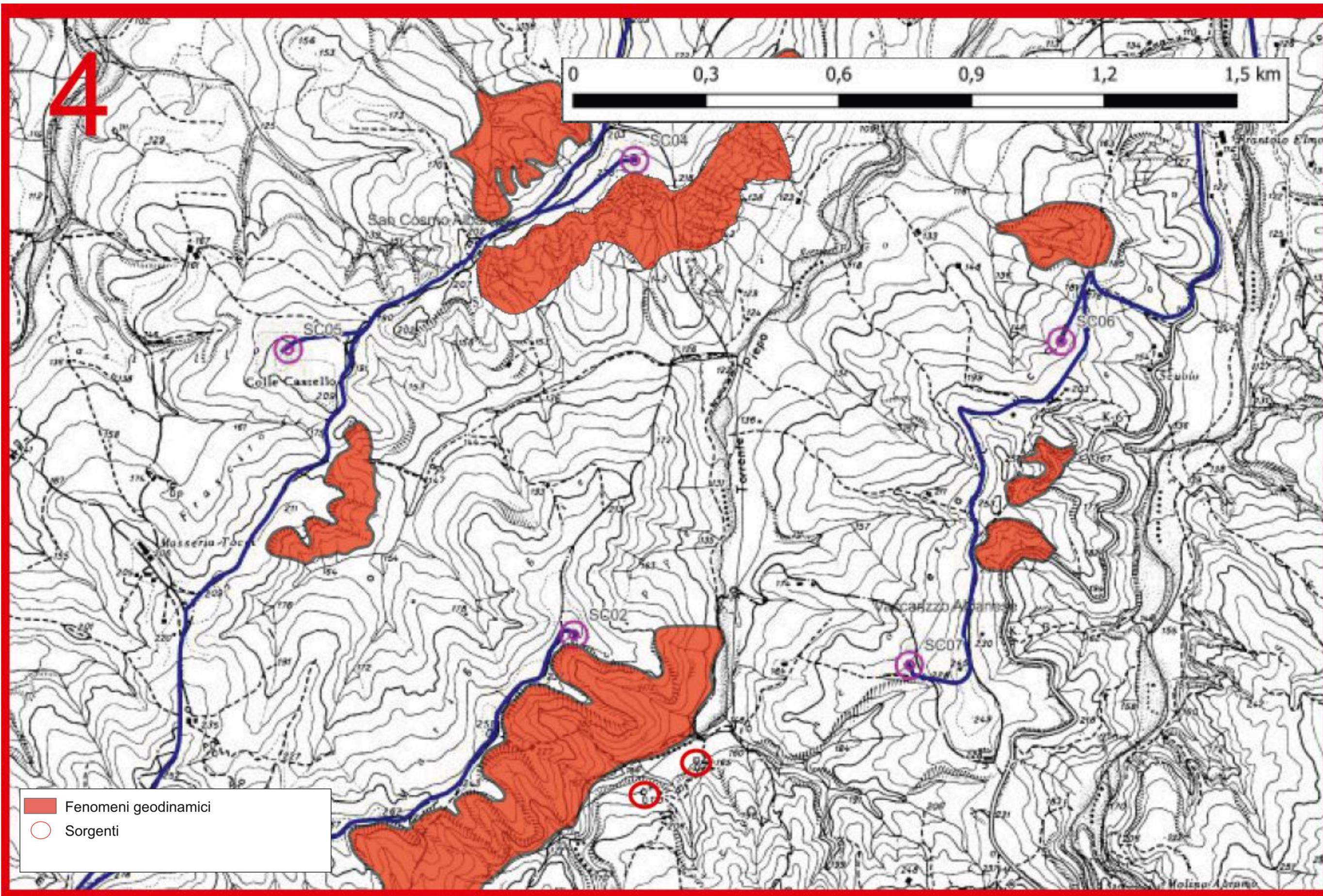




2







4. INDAGINI DI SISMICA ATTIVA “MASW”

Si è ritenuto necessario l'utilizzo della tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (tomografia) allo scopo di determinare le velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni presenti, in corrispondenza delle opere progettate.

In particolare sono state eseguite n. 15 misure di microtremore ambientale, con un tomografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

Allo scopo di caratterizzazione della serie stratigrafica locale e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati realizzati n. 8 indagini di sismica attiva “Masw” per definire le velocità delle onde sismiche V_s nei primi 30 m di profondità dal p.c.

Dette indagini sono state eseguite su incarico del Committente dal Dott. Geol. Adriano La Barbera (vedi report allegato) che ci ha consegnato gli esiti del suo lavoro.

Di seguito si riportano la sintesi dei risultati ottenuti.

- Masw 1: Nel profilo sismico Masw 1 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-8,40 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 253,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 9,30 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 301,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 8,60 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 454,00$ m/s. L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 603,00$ m/s.

- Masw 2: nel profilo sismico Masw 2 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-7,60 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 273,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 8,40 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 442,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 8,30 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 450,00$ m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 1068,00$ m/s.

- Masw 3: nel profilo sismico Masw 3 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-5,20 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 255,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 6,50 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 396,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 6,50 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 451,00$ m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 891,00$ m/s.

- Masw 4: nel profilo sismico Masw 4 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-5 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 264,00$ m/s. Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 5,60 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 354,00$ m/s. Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 5,50 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 453,00$ m/s. L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 731,00$ m/s.
- Masw 5: nel profilo sismico Masw 5 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-6,50 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 208,00$ m/s. Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 7,20 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 300,00$ m/s. Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 7,20 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 457,00$ m/s. L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 889,00$ m/s.
- Masw 6: nel profilo sismico Masw 6 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-7,10 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 154,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 3,60 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 449589,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 6,70 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 639,00$ m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 690,00$ m/s.

- Masw 7: nel profilo sismico Masw 7 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-4,50 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 160,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 9,20 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 311,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 9,00 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 512,00$ m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 890,00$ m/s.

- Masw 8: nel profilo sismico Masw 8 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici. In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-7,60 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio $V_s = 261,00$ m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 8,30 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 442,00$ m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 7,00 m, si incontra un intervallo caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 517,00$ m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio $V_s = 991,00$ m/s.

MASW 1

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

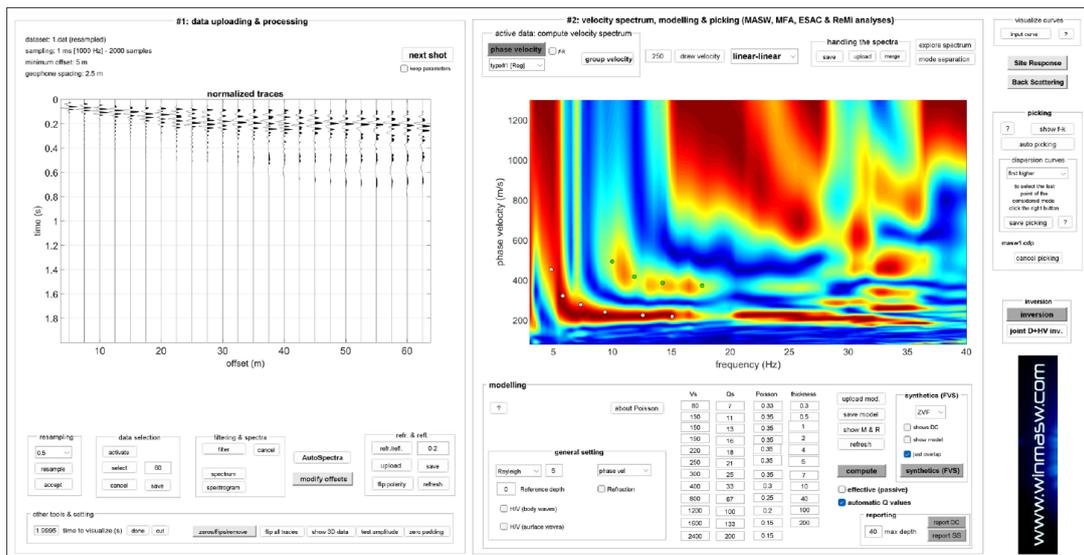
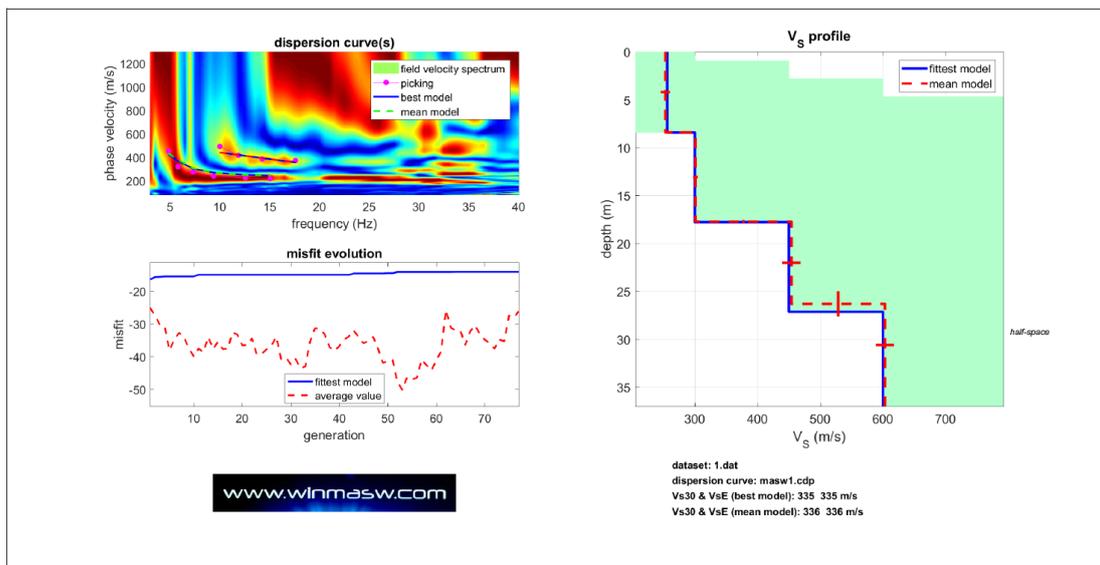
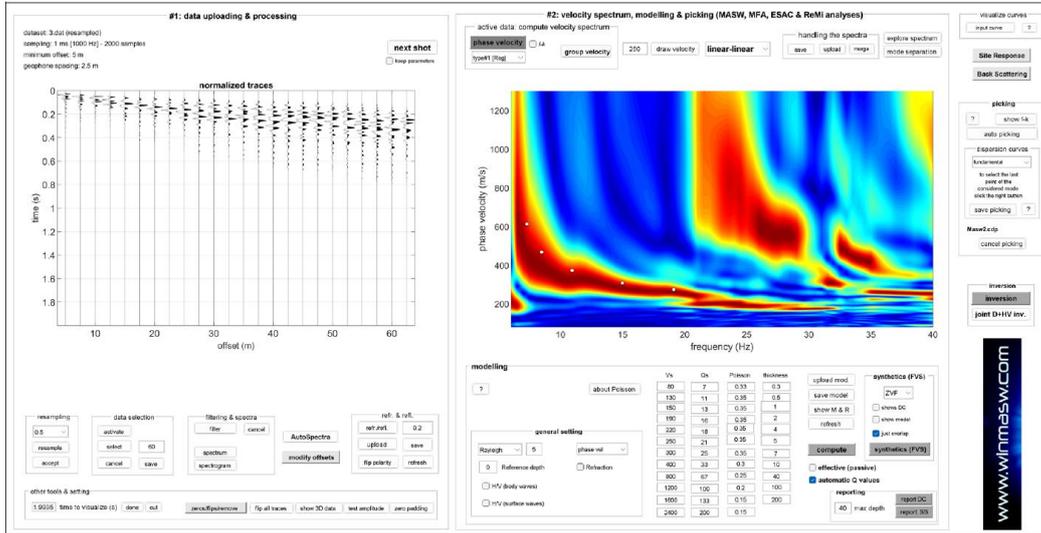


Figura 9. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

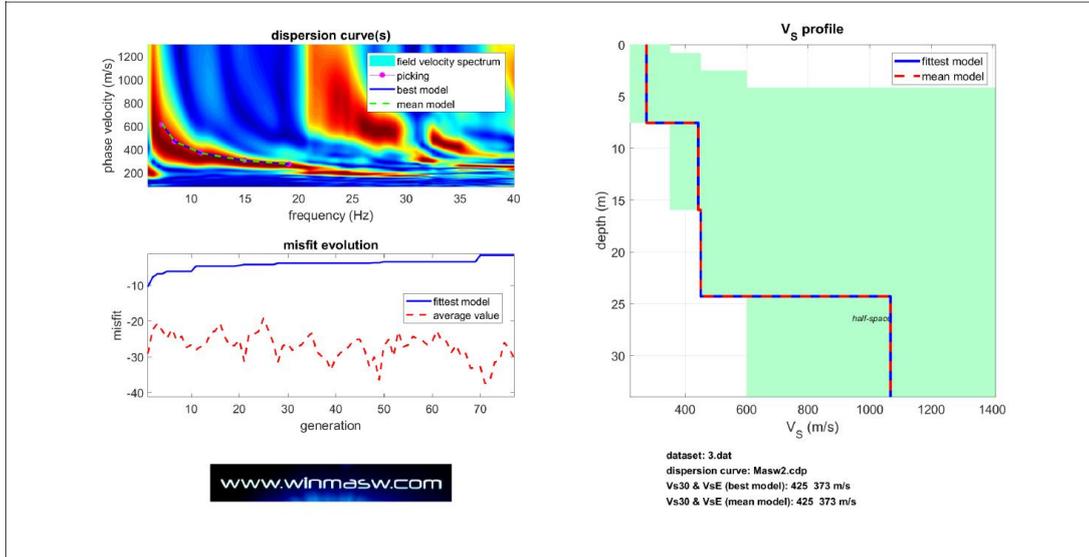


MASW 2

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

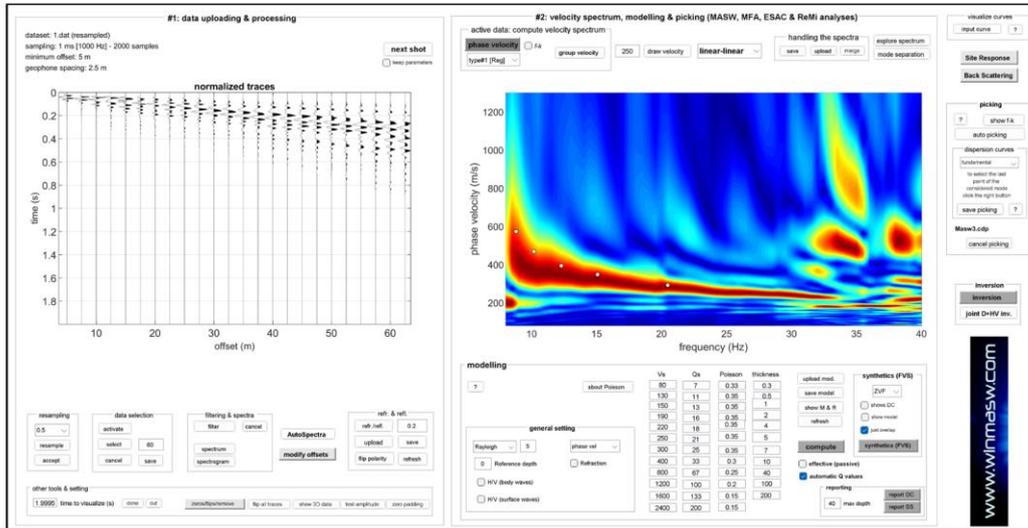


PICCHING E PROFILO ONDE S

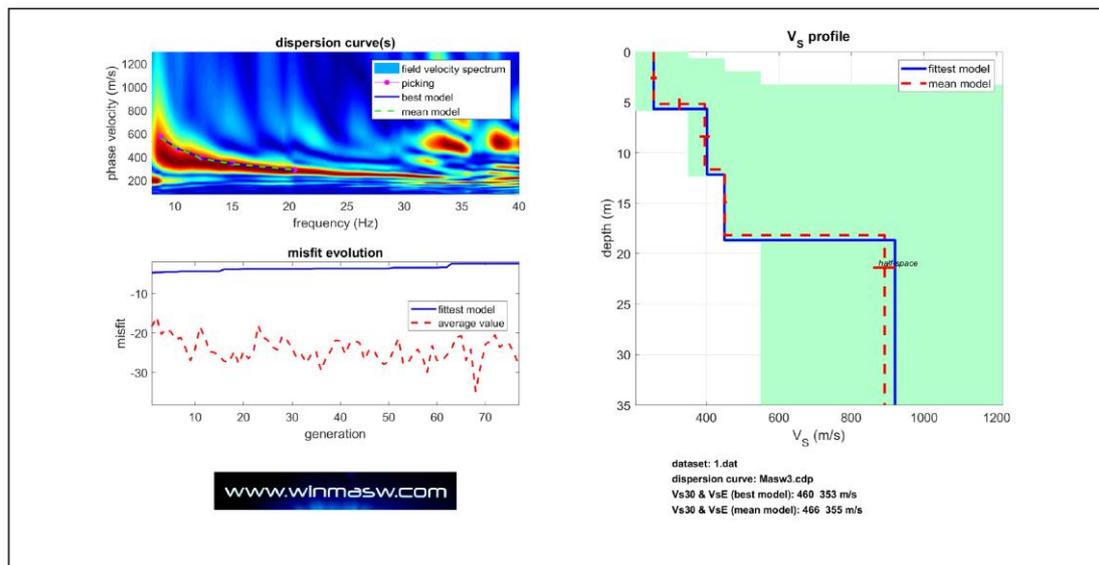


MASW 3

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

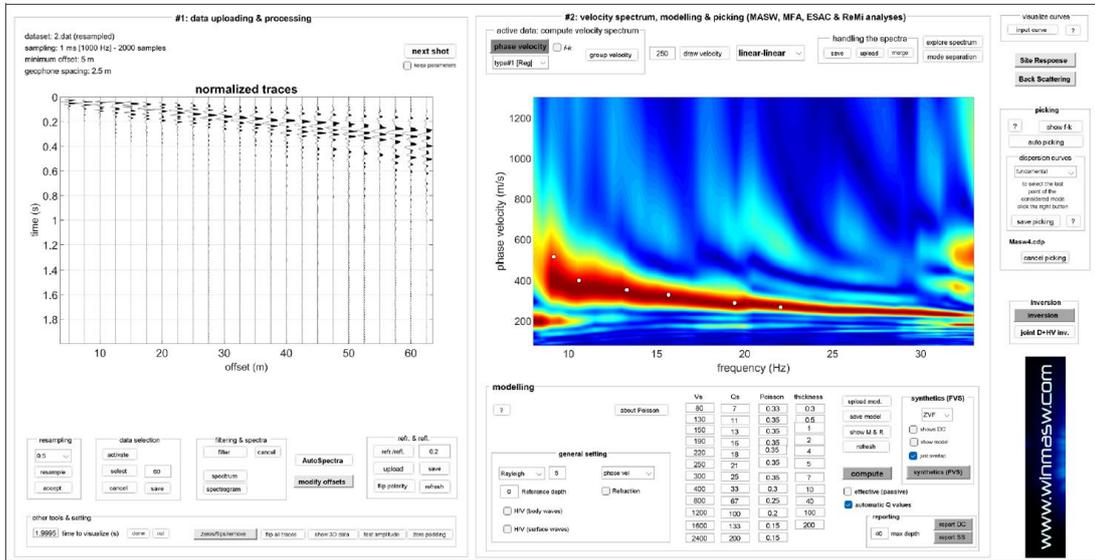


PICCHING E PROFILO ONDE S

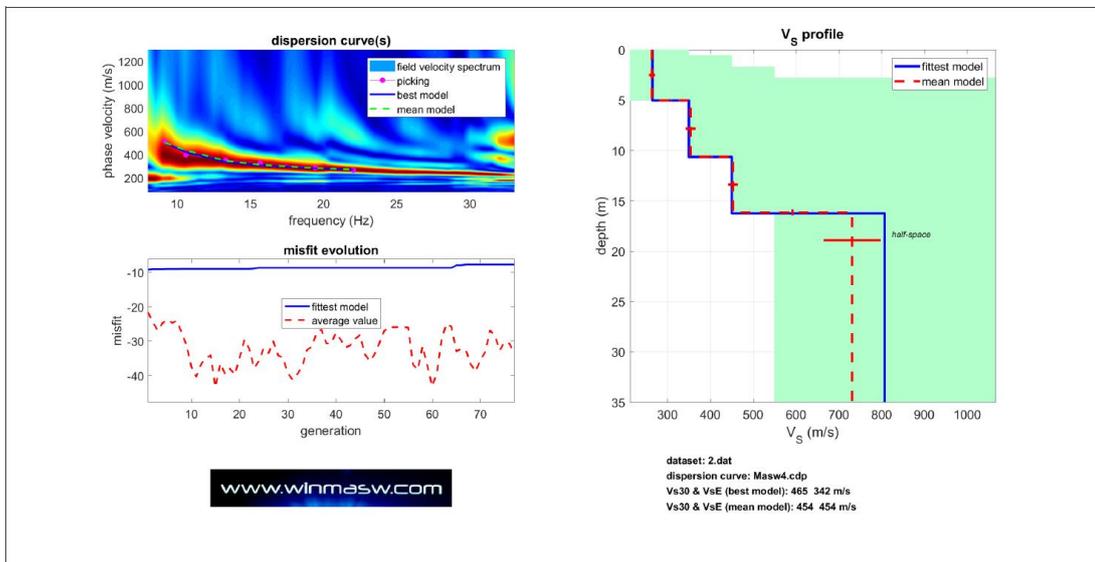


MASW 4

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

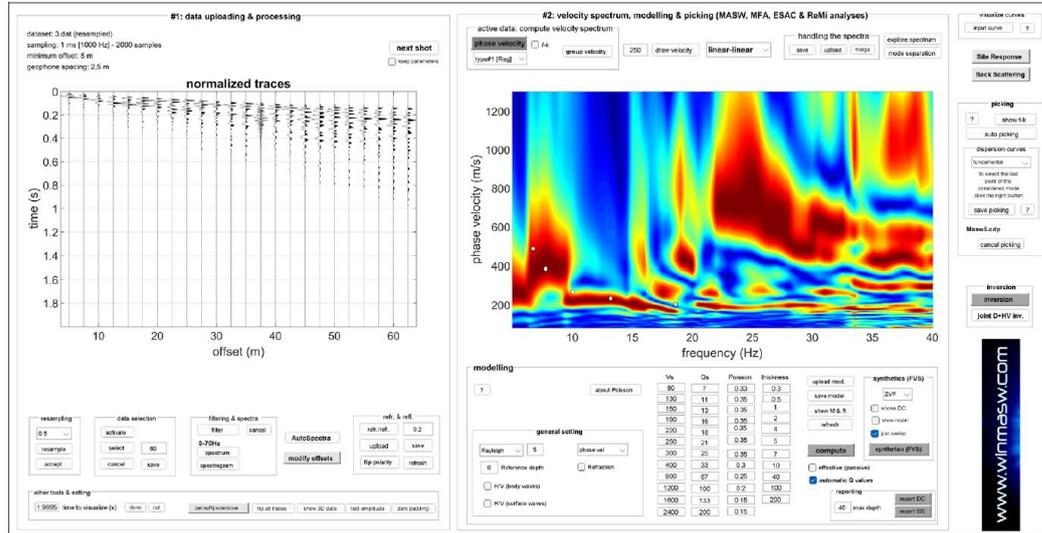


PICCHING E PROFILO ONDE S

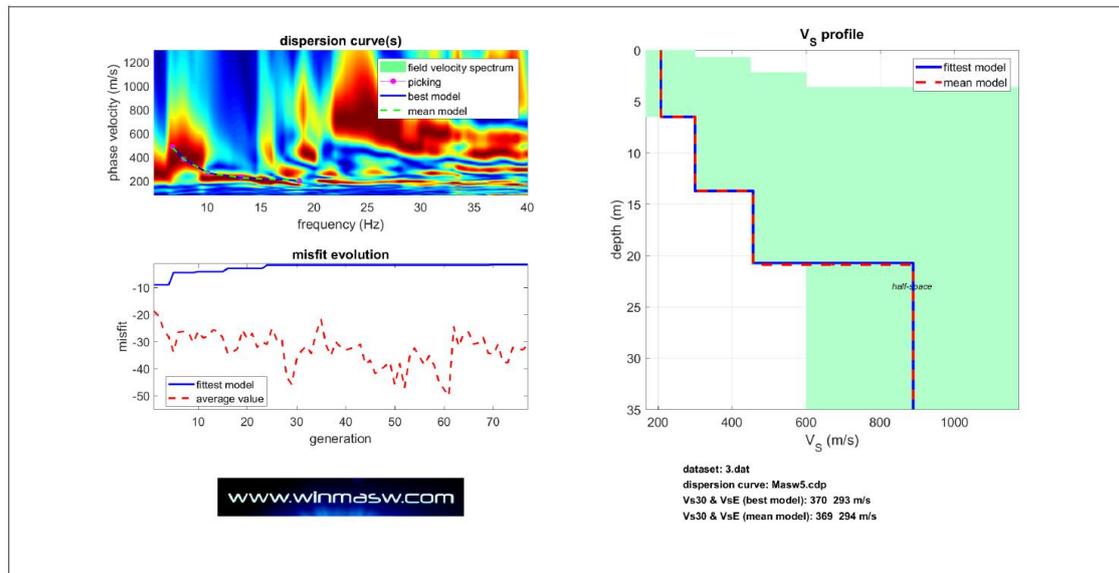


MASW 5

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

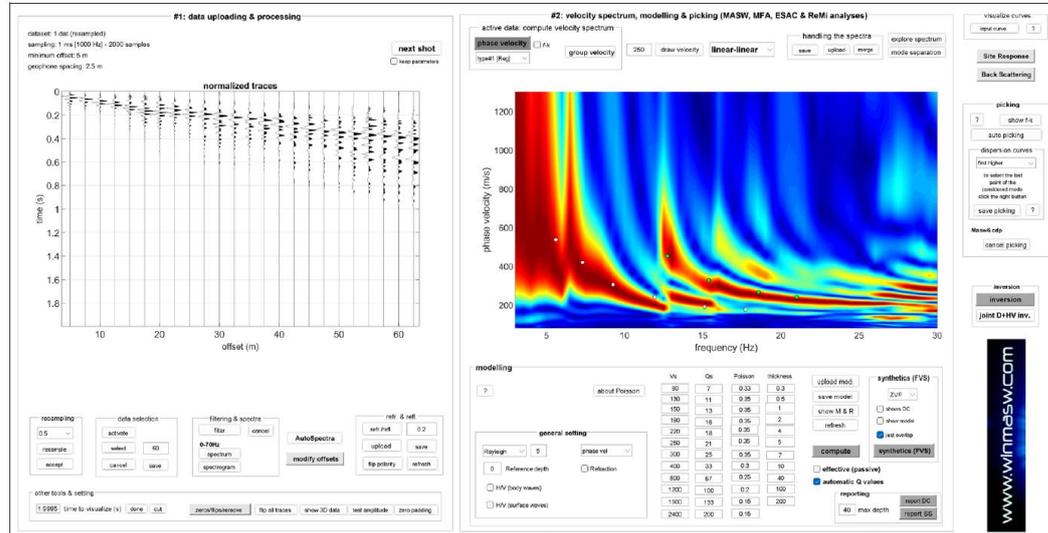


PICCHING E PROFILO ONDE S

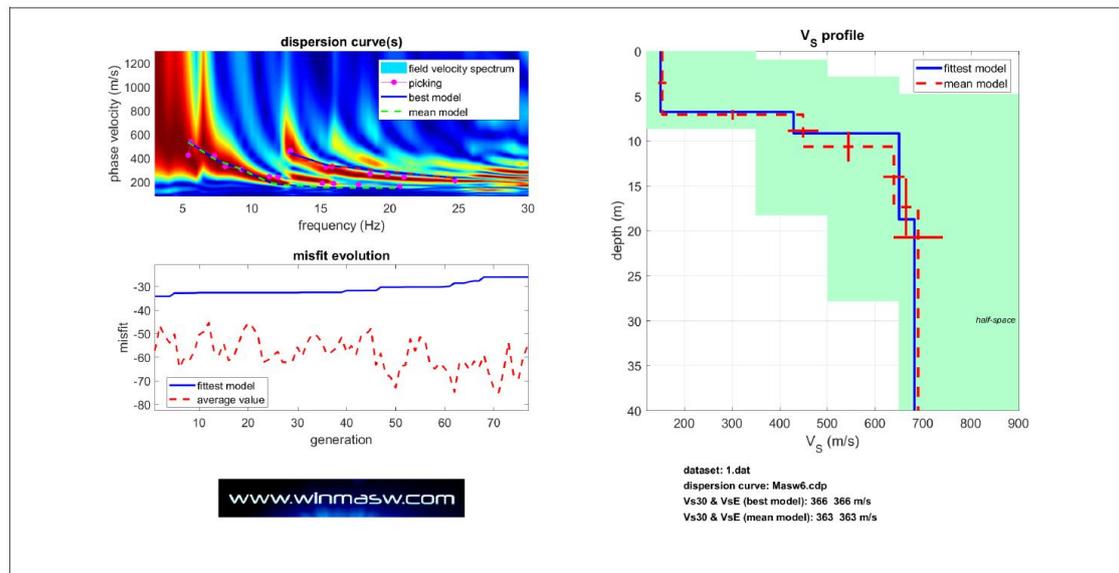


MASW 6

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

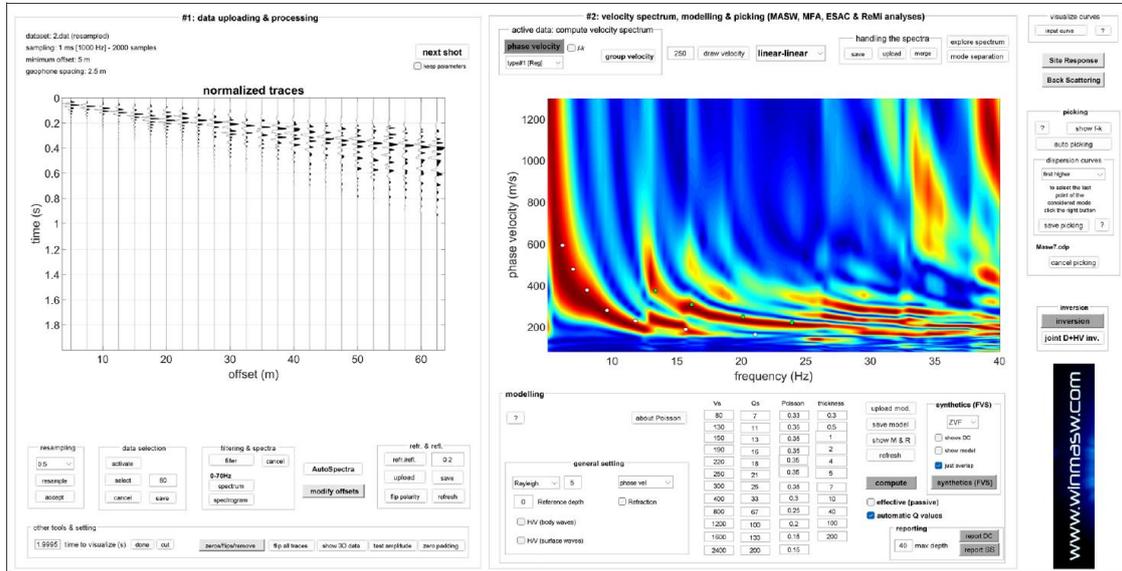


PICCHING E PROFILO ONDE S

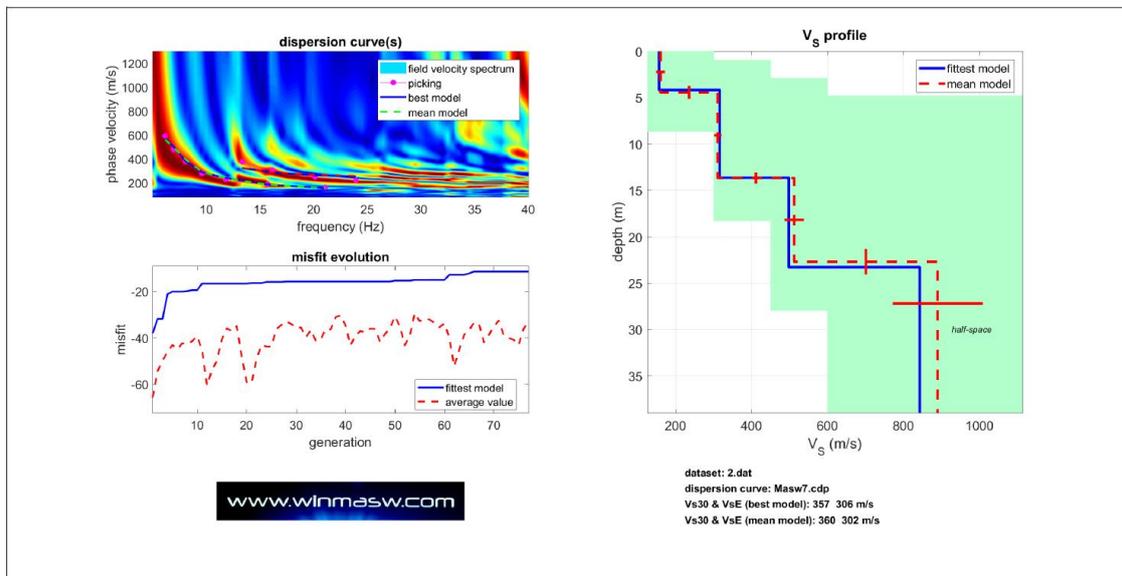


MASW 7

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

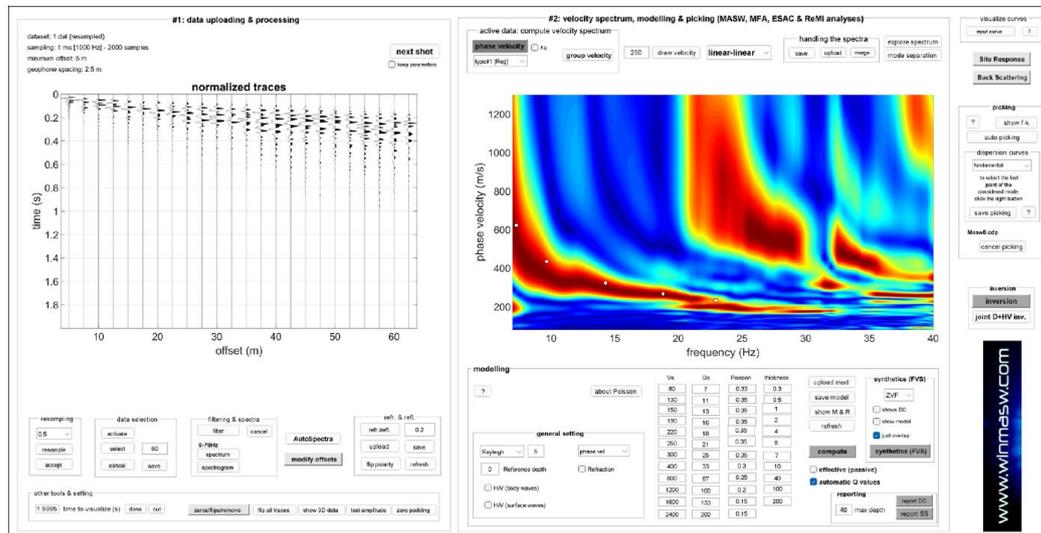


PICKING E PROFILO ONDE S

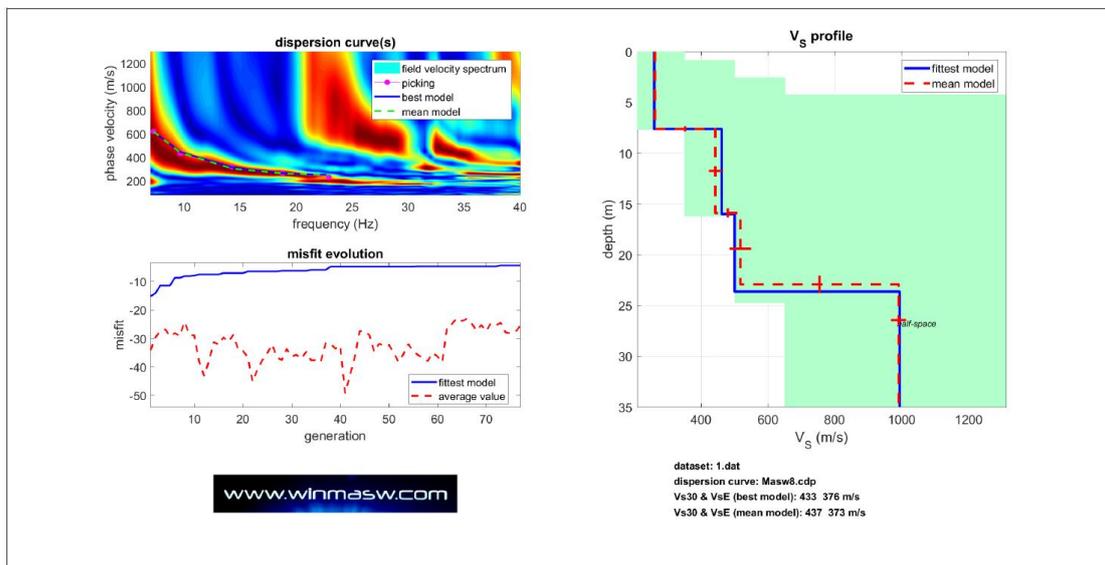


MASW 8

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'



PICCHING E PROFILO ONDE S



5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2.

Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e dall'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519 e recepita dalla Regione Calabria (DGR 10/02/2004, n. 47).

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bedrock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti in corrispondenza delle opere in progetto appartengono alle categorie indicate nella tabella seguente.

OPERA	Categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018
AEROGENERATORE SC01	C
AEROGENERATORE SC02	B
AEROGENERATORE SC03	C
AEROGENERATORE SC04	B
AEROGENERATORE SC05	C
AEROGENERATORE SC06	B
AEROGENERATORE SC07	C
AEROGENERATORE SC08	B
SOTTOSTAZIONE	C

6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia $\sigma = u$, viene $\tau_f = 0$ e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire

mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle Vs30.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ❖ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- ❖ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;

- ❖ frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 - S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,00000371 4 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per FC} > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato $(N_{1,60})_{cs}$, si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse

di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{0,72} \right)^{3,1}}$$

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza degli aerogeneratori in progetto sono presenti i litotipi argillosi per cui non è possibile la formazione di fenomeni di liquefazione.

Lo stesso si può affermare in corrispondenza dell'unico aerogeneratore (SC02) che interferisce con il complesso sabbioso-conglomeratico sia per le caratteristiche fisico-meccaniche dello stesso, sia per la presenza di strati cementati intercalati, sia infine in considerazione che il livello freatico è, presumibilmente, localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c.

In corrispondenza della sottostazione dove affiorano le alluvioni il problema non sembra esserci vista l'eterogeneità del litotipo.

I primi calcoli preliminari sulla liquefazione ci confermano tale ipotesi, avvalorata anche dal fatto che il sito non è stato interessato, nel passato, da fenomeni di liquefazione anche in presenza di terremoti piuttosto importanti.

In ogni caso si è prevista una campagna di indagini esecutiva che servirà a confermare tale ipotesi.

7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

I dati in nostro possesso hanno messo in evidenza che le aree interessate dagli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Pliocenico formato da argille siltose talora marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate di spessore variabile tra 5-8 m, mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente.

L'area interessata dall'aerogeneratore SC02 è riferibile al Complesso sabbioso costituito da sabbie fini limose, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 7 m, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Detto complesso è caratterizzato da uno spessore pari a circa 40-50 m.

La sottostazione è ubicata in area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche.

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche.

1) *Terreno vegetale:* si tratta di limi e limi sabbiosi, di colore marrone, scarsamente consistenti e plastici. Per la caratterizzazione fisico-

meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall’esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 17^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.7 \text{ t/mc.}$$

- 2) **Complesso Alluvionale:** si tratta di ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall’esperienza maturata su questi terreni:

$$\text{Frazione alterata: } \varphi' = 25^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 \text{ t/mc.}$$

- 3) **Complesso sabbioso pliocenico:** si tratta di sabbie fini e grossolane a tratti limose, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 7 m, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall’esperienza maturata su questi terreni:

$$\text{Frazione alterata: } \varphi' = 25^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 \text{ t/mc.}$$

$$\text{Frazione inalterata: } \varphi' = 30^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc.}$$

- 4) **Complesso Argilloso:** si tratta di argille siltose talora marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate di spessore variabile tra 5-8 m, mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente. Per la

caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sopra citati, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

Frazione alterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 1.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.8 \text{ t/mc}$.

Frazione inalterata: $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 2.0 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.0 \text{ t/mc}$.

7. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Fermo restando che il piano di indagini sotto indicato sarà individuato in modo definitivo prima della redazione della progettazione esecutiva utile per la realizzazione dell'impianto, sulla base di un'analisi preliminare si ritiene opportuno eseguire, nelle successive fasi di progettazione, le indagini di seguito elencate.

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 40 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;
- ✓ prelievo di n. 3 campioni indisturbati, per ciascun sondaggio, sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 6 S.P.T. in foro per ciascun sondaggio;

In corrispondenza della sottostazione:

- ✓ n. 1 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 15 mt. dal p.c. con installazione di piezometro a tubo aperto;
- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 4 S.P.T. in foro.

8. CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che:

- ❖ le aree interessate dagli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 sono caratterizzate dall'affioramento del Complesso Argilloso Pliocenico formato da argille siltose talora marnose da scarsamente a mediamente consistente e di colore marrone chiaro quando alterate di spessore variabile tra 5-8 m, mentre la frazione inalterata di colore grigio si presenta consistente;
- ❖ l'area interessata dall'aerogeneratore SC02 è riferibile al Complesso sabbioso costituito da sabbie fini limose, da scarsamente a mediamente addensate quando alterate di spessore pari a circa 7 m, mentre la frazione inalterata è costituita da sabbie addensate e livelli e strati calcarenitici cementati e fratturati. Detto complesso è caratterizzato da uno spessore pari a circa 40-50 m;
- ❖ la sottostazione è ubicata in area dove affiorano i Depositi Alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose addensate con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche.
- ❖ in corrispondenza degli aerogeneratori in progetto sono presenti i litotipi argillosi per cui non è possibile la formazione di fenomeni di liquefazione. Lo stesso si può affermare in corrispondenza dell'unico aerogeneratore (SC02) che interferisce con il complesso sabbioso-conglomeratico sia per le caratteristiche fisico-meccaniche dello

stesso, sia per la presenza di strati cementati intercalati, sia infine in considerazione che il livello freatico è, presumibilmente, localizzato a profondità superiori di 15 m dal p.c;

- ❖ in corrispondenza della sottostazione dove affiorano le alluvioni il problema non sembra esserci vista l’eterogeneità del litotipo. I primi calcoli preliminari sulla liquefazione ci confermano tale ipotesi, avvalorata anche dal fatto che il sito non è stato interessato, nel passato, da fenomeni di liquefazione anche in presenza di terremoti piuttosto importanti. In ogni caso si è prevista una campagna di indagini esecutiva che servirà a confermare tale ipotesi.
- ❖ l’affioramento prevalente di terreni argillosi impermeabili e la limitata estensione degli affioramenti dei terreni permeabili in corrispondenza degli aerogeneratori SC01, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 non consente la formazione di falde freatiche di interesse;
- ❖ nel solo caso dell’aerogeneratore SC02 che interessa il complesso sabbioso (gli altri aerogeneratori sono su depositi argillosi in assenza di falda), si ipotizza una profondità della falda piuttosto elevata, considerato che il fronte sabbioso a vista sulle sponde del torrente è di oltre 80 metri senza che si individua alcuna sorgente;
- ❖ l’area in cui verrà realizzata la sottostazione è invece caratterizzata dalla presenza di una falda freatica il cui livello si attesta a circa 3-4 m dal p.c. In ogni caso si evidenzia che l’impianto in fase di esercizio e cantiere non produce emissioni in suolo/sottosuolo/falda sostanze inquinanti di nessun tipo;

- ❖ da un punto di vista idraulico le aree a pericolosità/rischio individuate dal P.A.I. e dal P.G.R.A. non interferiscono con le opere in progetto;
- ❖ i versanti dove sono ubicati gli aerogeneratori, la sottostazione ed i cavidotti interni ed esterni non sono interessati da fenomeni di instabilità ma molti fenomeni geodinamici sono limitrofi sia ad alcuni tratti del cavidotto ed altri si rinvengono in prossimità degli aerogeneratori 2, 3 e 4 (vedi carte geomorfologiche di dettaglio). Tali condizioni, non ostative alla realizzazione degli aerogeneratori e del cavidotto, presuppongono la necessità di prevedere, una volta che l’AU ha individuato con precisione la posizione degli aerogeneratori ed eseguite le necessarie indagini geognostiche e geotecniche, opere di ingegneria naturalistica atte ad evitare che l’evoluzione geodinamica di tali fenomenologia possa, eventualmente, interferire in un futuro con il sedime degli aerogeneratori i tratti di strada dove viene collocato il cavidotto;
- ❖ il Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) esclude le aree interessate dalle opere in progetto da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico;
- ❖ in definitiva, gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica sono stati estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare che la destinazione d’uso è compatibile con il territorio in esame sia in termini di vulnerabilità ambientale, sia in relazione ai processi geodinamici presenti (sismicità, vulcanismo, stabilità dei pendii, erosione, subsidenza)