



# REGIONE CAMPANIA

## PROVINCIA DI NAPOLI

### COMUNE DI GIUGLIANO IN CAMPANIA

**IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PRODUZIONE AGRICOLA UBICATO NEL COMUNE DI GIUGLIANO IN CAMPANIA (NA) IN LOCALITA' PROVVIDENZA, LA PIGNA, CINISTRELLI DELLA POTENZA NOMINALE DI 86.626,10 KW IN AGGIUNTA AD UN SISTEMA DI ACCUMULO DI 23.040 KWDC PER UNA POTENZA COMPLESSIVA AI FINI DELLA CONNESSIONE DI 109.666,10 KW COMPRESIVO DELLE OPERE DI RETE PER LA CONNESSIONE DELL'IMPIANTO ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE DI TERNA SPA**



## PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE COMPRESIVO DELLE OPERE DI RETE PER LA CONNESSIONE

**ELABORATO** **Relazione geologica, idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione**  
(DPR 328/01, art. 41; D.M. 17/01/2018, 3.2.2, 6.2.2)

**DATA:** Dicembre 2021

**Scala:**

**Nome file: D7**

**PROPONENTE**

**NP Terra del Sole**

**TERRA DEL SOLE S.R.L.**  
Via San Marco, 20121 Milano  
(MI)  
Partita IVA 12080400968  
PEC: npterraddelsole@legalmail.it

**NP TERRA DEL SOLE S.R.L.**  
Via San Marco, 21  
20121 Milano  
P. IVA e C.F. 12080400968

**ELABORATO DA:**



**Ing. Anello Romano - Geol. Mattia Lettieri - Geol. Antonio Viggiano**  
Via Firenze, 41 - 84085 Mercato San Severino (SA) tel. e fax. 089826537

*Il geologo*  
**dott. Mattia Lettieri**



*Il geologo*  
**dott. Antonio Viggiano**



revisione	descrizione	data	Elab. n.
A			<b>D7</b>
B			
C			

## INDICE

1. Premessa .....	4
2. Individuazione geografica e cartografica dell'area .....	9
3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica .....	24
3.1 Caratteri litologico-strutturali e geomorfologici dell'area di studio .....	24
3.2 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame .....	34
3.3 Idrologia e idrogeologia di dettaglio dei siti esaminati .....	37
3.4 Geomorfologia e stabilità dell'area di studio .....	42
4. Pericolosità geologica dell'area di studio .....	43
4.1 Normativa di riferimento .....	43
4.2 Rischio vulcanico .....	46
5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica .....	48
5.1 Assetto stratigrafico generale dell'area di studio .....	48
5.2 Stratigrafia generale del sottosuolo delle aree esaminate .....	54
5.3 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito .....	58
5.4 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo .....	64
5.5 Prove Standard Penetration Test (S.P.T.) .....	69
5.6 Prelievo dei campioni di terreno indisturbato .....	71
5.7 Prove geotecniche di laboratorio .....	72
5.8 Prove penetrometriche statiche del tipo C.P.T. (Cone Penetration Test) .....	77
5.9 Prove penetrometriche dinamiche continue .....	80
6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni .....	85
6.1 Unità litotecniche riscontrate e caratteristiche geotecniche dei terreni .....	90
7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche .....	96
7.1 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) .....	96
8. Considerazioni sul rischio sismico .....	138
8.1 Indicazione della zona sismogenetica .....	138
8.2 Sismicità della Campania .....	145
8.3 Sismicità storica dell'area di studio .....	147

8.4	Classificazione sismica di Giugliano in Campania .....	152
9.	Risposta sismica locale .....	158
9.1	Categoria di sottosuolo .....	159
9.2	Categoria topografica .....	169
9.3	Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica .....	169
10.	Caratterizzazione sismica secondo le N.T.C. 2018 (D.M. 17.01.2018) .....	171
11.	Verifica delle pericolosità dovuti agli effetti cosismici .....	186
11.1	Stabilità nei confronti della liquefazione .....	186
12.	Compatibilità geologica del progetto proposto .....	190
13.	Considerazioni conclusive .....	194

**Allegati alla relazione fuori testo:**

- *Tavola Ga: Fascicolo delle indagini geognostiche, località Cinistrelli - Campo 1 Nord*
- *Tavola Gb: Fascicolo delle indagini geognostiche, località La Pigna e Provvidenza - Campo 2 Sud*
- *Tavola G.1: Planimetrie di inquadramento territoriale e zone di P.R.G. scala 1:25.000*
- *Tavola G.2: Stralcio aerofotogrammetrico C.T.R. scala 1:5.000*
- *Tavola G.3: Carta geolitologica scala 1:5.000*
- *Tavola G.4: Carta geomorfologica e della stabilità scala 1:5.000*
- *Tavola G.5: Carta idrogeologica scala 1:5.000*
- *Tavola G.6: Carte del Piano di tutela delle acque Regione Campania scala 1:50.000*
- *Tavola G.7: Carte dell'ex Autorità di bacino Campania Centrale scala 1:75.000*
- *Tavola G.8: Carta di ubicazione delle indagini geognostiche Campo 1 Nord scala 1:2.000*
- *Tavola G.9: Carta di ubicazione delle indagini geognostiche Campo 2 Sud scala 1:2.000*
- *Tavola G.10: Carta della zonazione sismica e della categoria di sottosuolo scala 1:5.000*
- *Tavola G.11: Sezioni di correlazione litostratigrafica Campo 1 Nord scala 1:100/1:1.000*
- *Tavola G.12: Sezioni di correlazione litostratigrafica Campo 2 Sud scala 1:100/1:1.000*

## 1. Premessa

Su incarico ricevuto dalla soc. **NP Tella del Sole S.r.l.**, con sede in Milano alla Via San Marco n°11 – P.IVA 12080400968, i sottoscritti geologi dott. Mattia Lettieri, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania con n°1448 e dott. Antonio Viggiano, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con n°2397, con studio in Mercato San Severino (SA) alla Via Firenze n°41, redigono la presente relazione geologica, idrogeologica, di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione (DPR 328/01, art. 41; D.M. 17/01/2018, 3.2.2, 6.2.2;) per il progetto denominato "Impianto agro-fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e produzione agricola ubicato nel Comune di Giugliano in Campania (NA) in Località Provvidenza, La Pigna, Cinistrelli della potenza nominale di 86626,1 kW e comprensivo delle opere di rete per la connessione dell'impianto alla rete elettrica nazionale".

Come si evince dalla documentazione tecnica progettuale fornita agli scriventi dalla committenza, il progetto prevede la realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico, ovvero un impianto caratterizzato da un utilizzo "ibrido" di terreni che saranno infatti utilizzati sia per la produzione agricola che per la produzione di energia elettrica del tipo ad inseguitori monoassiali, con sistema di accumulo (energy storage system). Il progetto mira a coniugare produzione fotovoltaica con produzione agricola e rigenerazione/riqualificazione del territorio. Agro-fotovoltaico, anche nella variante fito-voltaica, è far coesistere generazione elettrica ed economia agricola senza sottrarre territorio utile all'agricoltura.

Per quanto riguarda l'impianto di produzione, esso è suddiviso in due campi: **CAMPO 1 NORD** e **CAMPO 2 SUD** ed avrà potenza nominale di 86.626,10 kW, pari alla somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici installati, comprensivo delle opere di rete per la connessione ricadenti nel medesimo comune di Giugliano in Campania.

Le aree dove sorgerà l'impianto fotovoltaico sono attualmente utilizzate ai fini agricoli, ricadono in aree a destinazione Agricola secondo il PRGC del Comune di Giugliano in Campania ed hanno un'estensione complessiva di circa 144 ha.

L'impianto è configurato con un sistema ad inseguitore solare monoassiale di tilt. L'inseguitore solare orienta i pannelli fotovoltaici posizionandoli sempre nella direzione migliore per assorbire più radiazione luminosa possibile. Prevede l'installazione di 142010 pannelli fotovoltaici bifacciali da 610 W per una potenza complessiva di generazione di 86.626,10 kWp, raggruppati in stringhe e collegate ai rispettivi inverter.

Per l'impianto saranno realizzate n°32 cabine elettriche per la conversione DC/AC e per l'elevazione della potenza a media tensione 30 kV. Sono previste inoltre cabine storage per il sistema di accumulo, cabine ad uso promiscuo e locale tecnico, cabine ad uso locale O&M (gestione e manutenzione) a servizio dell'intero impianto, e cabine di raccolta e sezionamento dei cavidotti di vettoriamento dell'energia fino alla stazione Utente MT/AT.

In un'ottica di efficientamento degli impianti e degli investimenti, il progetto prevede la realizzazione di un sistema di accumulo agli ioni di litio di circa 23 MW di potenza e con una capacità di circa 80 MWh. Il sistema di accumulo, alloggiato in nove cabine del tipo container standard ISO 20', sarà alimentato sia dall'impianto di produzione che dalla rete di e- distribuzione.

L'impianto sarà idoneamente dotato dei dovuti sistemi di allarme e videosorveglianza. Saranno realizzati una rete di cavidotti interrati, interni al campo fotovoltaico, per la distribuzione della corrente continua e per la distribuzione della corrente alternata in bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari. Saranno realizzati una rete di cavidotti interrati interni al campo fotovoltaico in media tensione ed esterni al campo fotovoltaico per il vettoriamento dell'energia fino alla stazione Utente MT/AT.

È prevista la costituzione di un'ampia fascia arborea-arbustiva perimetrale con la finalità di mitigazione e schermatura paesaggistica.

Ai fini dell'allacciamento di detto impianto alla rete elettrica nazionale, si prevede il collegamento in antenna a 220 kV su un nuovo stallo a 220 kV della sezione a 220 kV della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/220/150 kV di Patria, previa realizzazione di una sottostazione utente MT/AT ubicata nei pressi della SE Terna Patria. Terna Spa ha comunicato che, al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete, sarà necessario condividere lo stallo in stazione con la iniziativa della società MC Consulting S.r.l. codice pratica 202001988. La potenza richiesta ai fini della connessione alla RTN è pari a 109,829 MW in immissione.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici questo studio geologico-tecnico è stato redatto secondo le disposizioni della L.R. 9/83 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico", nonché in accordo con quanto previsto dalle più recenti normative in materia di rischio sismico (D.G.R. 5447/02 "Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania", O.P.C.M. n. 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"; D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") e con le disposizioni del D.M. 11.03.88 e relativa Circolare Applicativa.

Inoltre, lo studio ha tenuto presente anche le disposizioni delle *Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI)* predisposto dall'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015) a seguito dei lavori della Conferenza Programmatica alla quale hanno partecipato i Comuni e le Province interessate, ai sensi della normativa vigente in materia, oggi *Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale*.

La presente analisi fornisce un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell'area oggetto di studio ed è supportata dalle risultanze delle indagini geognostiche

eseguite dagli scriventi nell'area oggetto d'intervento, nonché dagli studi tematici effettuati dalla citata ex Autorità di Bacino Campania Centrale.

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

1. *Fase preliminare*: la prima fase ha riguardato la raccolta di tutti i dati disponibili presso gli enti pubblici preposti (ex Autorità di Bacino Campania Centrale, Comune di Giugliano in Campania) e del materiale bibliografico riguardante l'area in esame.
2. *Fase conoscitiva di base*: durante la seconda fase è stato effettuato il riconoscimento dei lineamenti geologici, geomorfologici e dell'assetto strutturale della zona, dello stato idrogeologico superficiale e sotterraneo, controllo, integrazioni o aggiornamenti delle cartografie di base già redatte per la zona di studio).
3. *Fase degli accertamenti di dettaglio*: la terza fase si è svolta prima mediante il rilevamento geologico di campagna, al fine di verificare e aggiornare con rilievi di dettaglio gli aspetti geologici e geomorfologici relativi al territorio in studio, e successivamente con l'analisi delle indagini geognostiche eseguite e disponibili con la successiva elaborazione ed interpretazione dei dati.
4. *Elaborazione dei dati*: infine si è pervenuti alla stesura della relazione geologica, idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione, che illustra le conclusioni cui si è approdati in fase di sintesi al fine di verificare la compatibilità dei lavori di progetto in relazione alla stabilità della zona ed alle condizioni di assetto idrogeologiche attualmente presenti.

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

- inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area;
- analisi e considerazioni sulle indagini geognostiche e sismiche eseguite sui siti di specifico interesse e su quelle disponibili per l'area di studio;
- caratterizzazione dei parametri geotecnici medi dei litotipi del sottosuolo in esame;
- indicazione della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale e della sismicità storica dell'area di studio;

- indicazione della fattibilità dell'intervento in relazione all'assetto idrogeologico della zona ed in base ai risultati ottenuti dai punti precedenti.

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

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

Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito di specifico interesse, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito consistente nella realizzazione di n°4 sondaggi a carotaggio continuo, n°15 prove penetrometriche statiche del tipo CPT, n°19 prove penetrometriche dinamiche continue e n°6 prospezioni sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*).

In particolare, le indagini in sito sono state distribuite nelle aree dove sarà realizzato l'impianto nel seguente modo:

#### **Campo 1 Nord**

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2)
- N°7 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT1 a CPT7)
- N°9 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd1 a Pd9)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw1 a Mw3).

#### **Campo 2 Sud**

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S3, S4)
- N°8 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT8 a CPT15)
- N°10 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd10 a Pd19)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw4 a Mw6).

Ad integrazione delle suddette indagini sono stati presi in considerazione anche gli studi specifici eseguiti in zone limitrofe a quella di specifico interesse e riportate nei seguenti lavori:

- *Progetto CARG Foglio 446-447 "Napoli".*
- *"Interventi urgenti di messa in sicurezza e bonifica delle aree di Giugliano in Campania e dei laghetti di Castel Volturno (SOGESID)".*
- *"Studio del sito contaminato di Masseria Del Pozzo-Schiavi nel Comune di Giugliano in Campania. Considerazioni quantitative sull'efficacia della tecnologia pump and treat (A. Di Nardo, I. Bortone, D. Musmarra)".*
- *"Comprensorio irriguo in sx Regi Lagni: Lavori di costruzione della rete di adduzione primaria, secondaria e terziaria per il completamento dell'impianto irriguo in sinistra Regi Lagni – I Lotto 2° Stralcio, Sub Comprensorio Alto – II Lotto – Sub Comprensorio Medio (Consorzio generale di bonifica del Bacino Inferiore del Volturno)".*
- *"Piano Comunale di Protezione Civile – Aggiornamento Dicembre 2011 (Comune di Giugliano in Campania)".*
- *"Piani finanziari delle opere degli impianti di acquedotto e fognatura nel mezzogiorno d'Italia - Piano d'Ambito A.T.O. N°2 Napoli-Volturno (SOGESID)".*
- *"Proprietà geologico-tecniche della pozzolana flegrea ed effetto della suzione sulla stabilità dei fronti di scavo (P. De Vita, A.C. Angrisani, E. Di Clemente)".*

Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico e sismico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.

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



## 2. Individuazione geografica e cartografica dell'area

Il Comune di Giugliano in Campania (NA) è posto nella zona nord-occidentale della Provincia di Napoli, in un territorio compreso tra l'agro aversano a nord e i Campi Flegrei a sud. Il territorio si trova pressoché sul livello del mare. Il tratto costiero, basso e sabbioso, si estende sul litorale domitio per circa 3 Km, da Marina di Varcaturò a Lido di Licola. All'interno del territorio si trova il Lago Patria, lago di origine vulcanica con l'omonima località sulle sue sponde.

L'intero territorio comunale si estende per circa 94 kmq e confina con i Comuni di: Aversa (CE), Casapesenna (CE), Castel Volturno (CE), Lusciano (CE), Melito di Napoli (NA), Mugnano di Napoli (NA), Parete (CE), Pozzuoli (NA), Qualiano (NA), Quarto (NA), San Cipriano d'Aversa (CE), Sant'Antimo (NA), Trentola-Ducenta (CE), Villa Literno (CE), Villaricca (NA).

I siti esaminati sono ubicati nella porzione centro-settentrionale del territorio comunale e si sviluppano a Ovest del capoluogo in un'area a vocazione agricola, delimitata a Sud dalla Strada Statale 162 NC Asse Mediano.

Le aree oggetto di studio si sviluppano su una superficie complessiva di circa 140 ettari con quote mediamente comprese tra i 35 e i 60 metri s.l.m. nel settore Nord-Ovest del nucleo abitativo principale del Comune di Giugliano e si presentano con forma in pianta irregolare; esse si estendono tra l'area del Nuovo Mercato Ortofrutticolo di Giugliano e il comune di Parete (a est) e l'agglomerato Industriale ASI di Giugliano-Qualiano (a sud) (Figg.1-2).

Il carattere paesaggistico dell'area, tipica piana alluvionale, è simile a quello delle aree limitrofe: si tratta di un paesaggio agricolo, coltivato, estremamente parcellizzato, scarsamente urbanizzato e totalmente pianeggiante.

Nell'ambito della Carta Tecnica Numerica Regionale, in scala 1:5.000, la zona di studio è compresa nei seguenti quadranti (Figg. 5-6):

- *Elemento n°447022 - Parete;*
- *Elemento n°447023 - Santa Maria a Cubito;*
- *Elemento n°447051 - Giugliano in Campania;*
- *Elemento n°447061 - Quadrivio di Qualiano;*
- *Elemento n°447063 - Giugliano in Campania;*
- *Elemento n°447064 - Giugliano in Campania;*

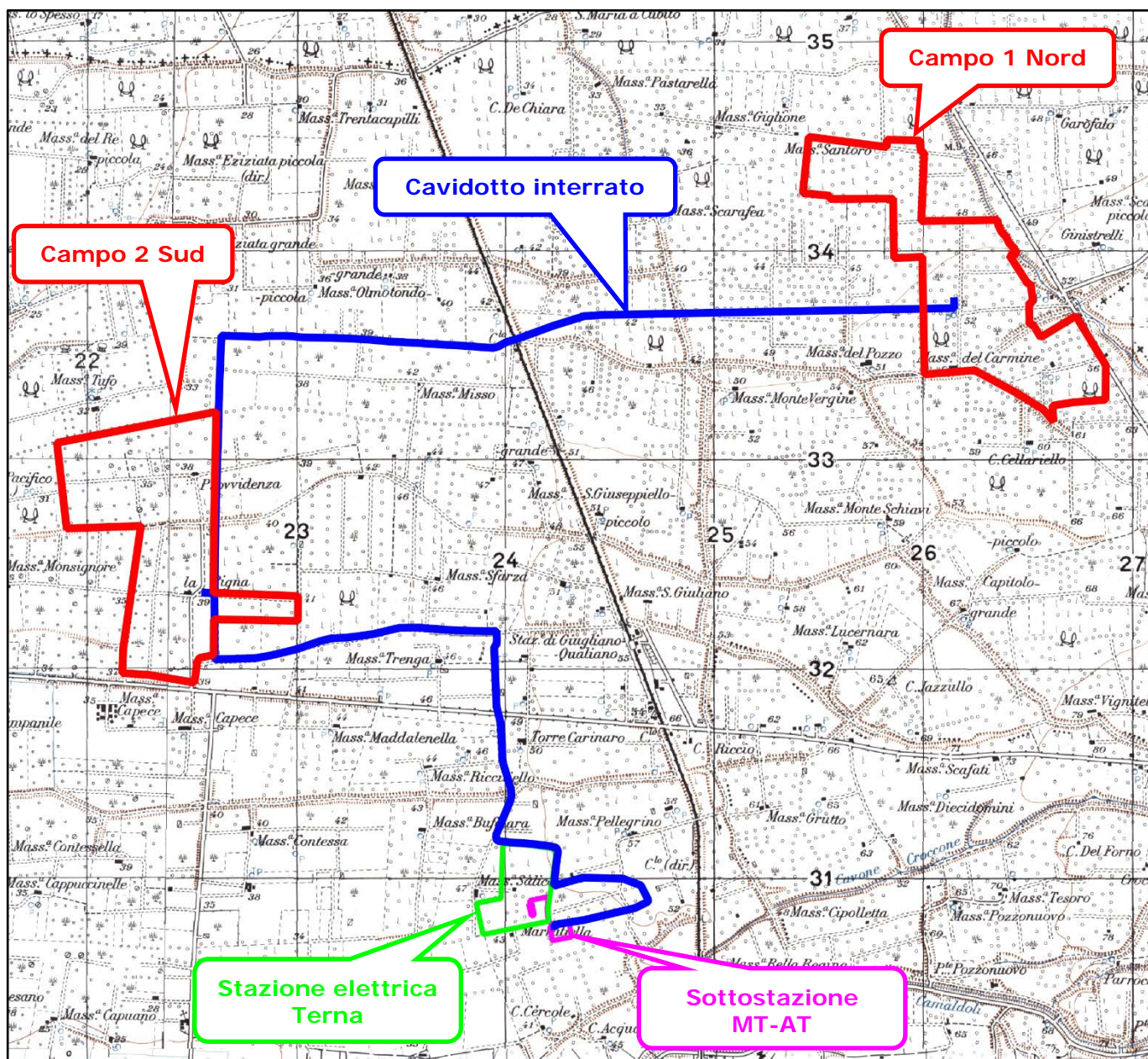


Fig. 1 - Stralcio carta I.G.M. in scala 1:25.000

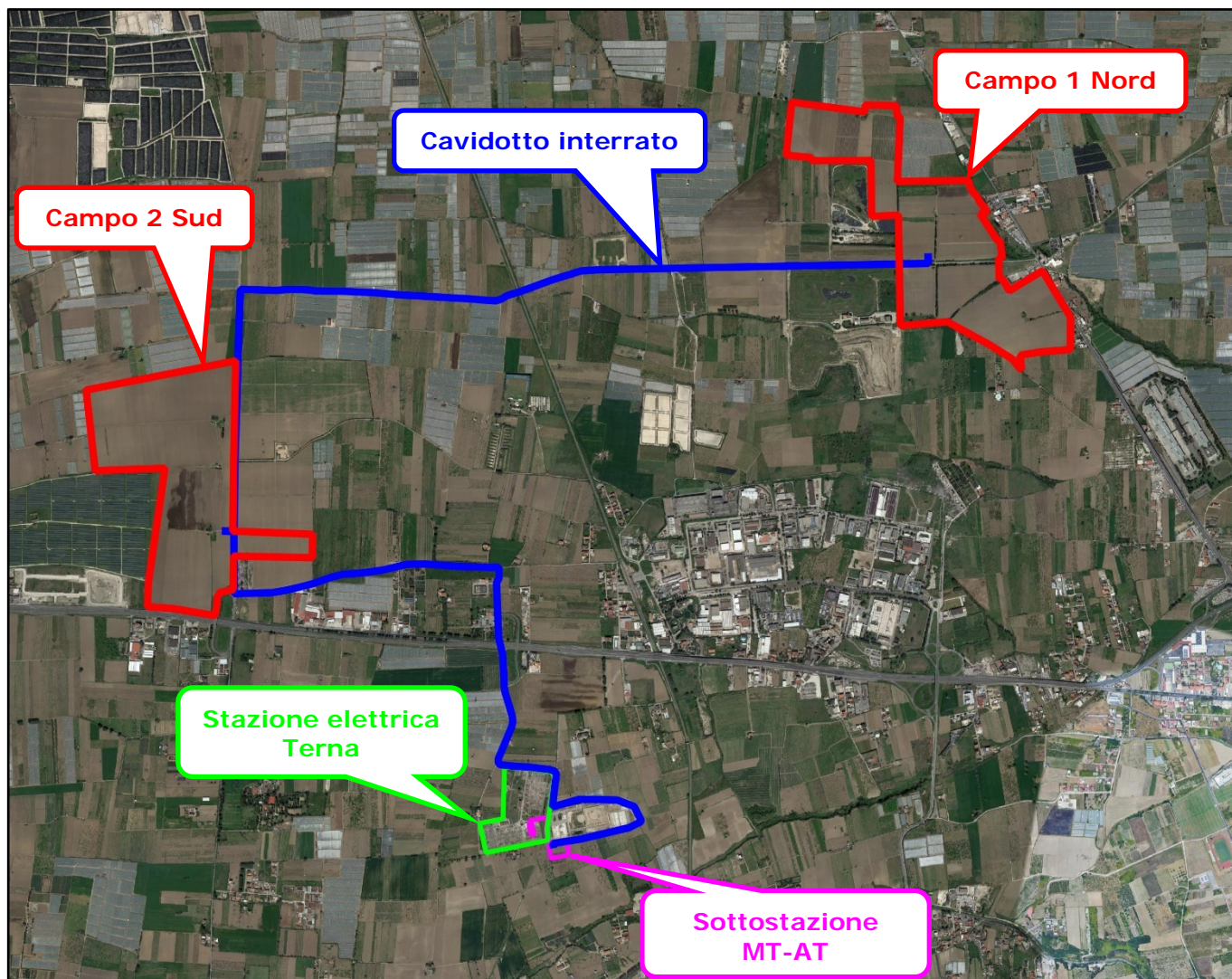


Fig. 2 - Ortofoto delle aree di studio ubicate nel Comune di Giugliano in Campania - Fonte Google Satellite

Lo strumento urbanistico relativo al Comune di Giugliano in Campania (NA) è il Piano Regolatore Generale. Dalla consultazione del SIT di Giugliano in Campania si evince che il territorio che sarà interessato dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico risulta classificato come Zona Omogenea E1 "Agricola Normale" e non è sottoposto a vincoli di tipo paesaggistico–archeologico, paesaggistico e idrogeologico (Figg. 3-4).

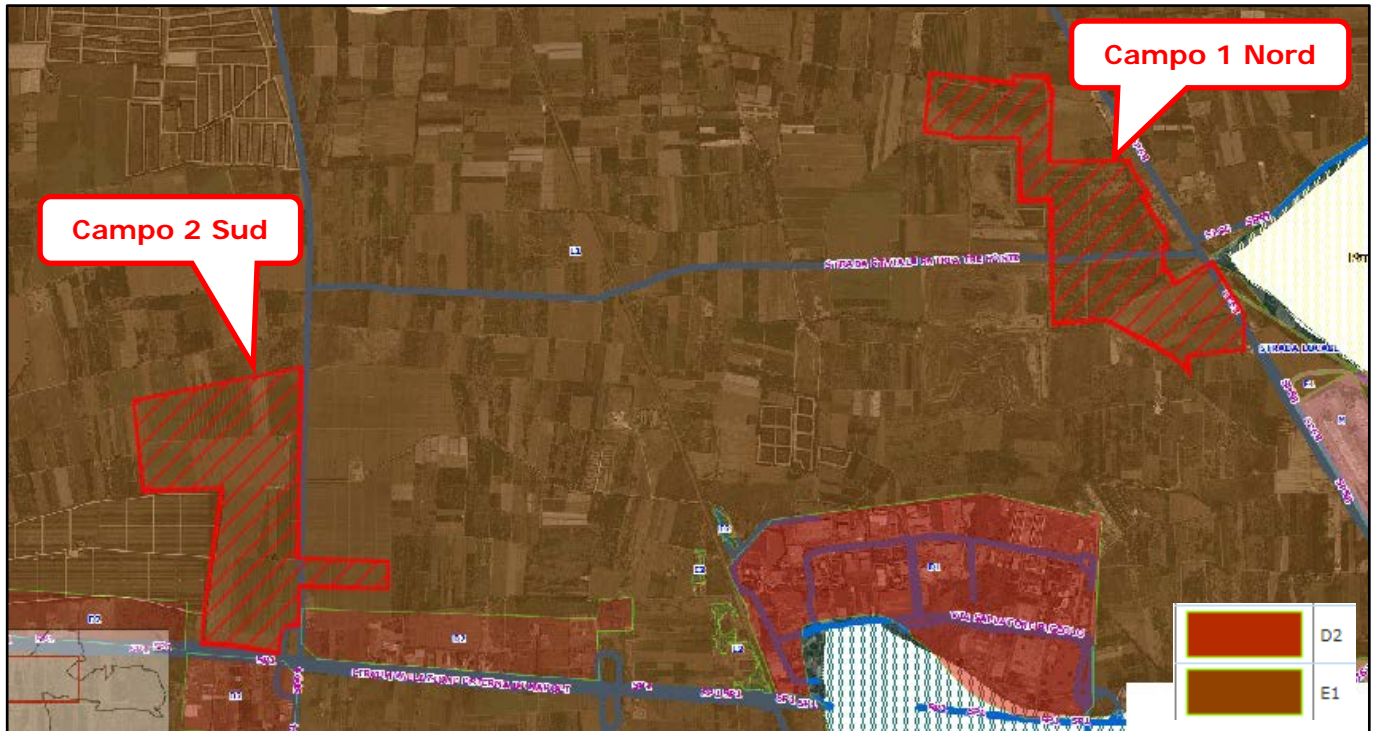


Fig. 3 - Stralcio delle zone omogenee del P.R.G. di Giugliano in Campania (fonte, SIT Giugliano in Campania)

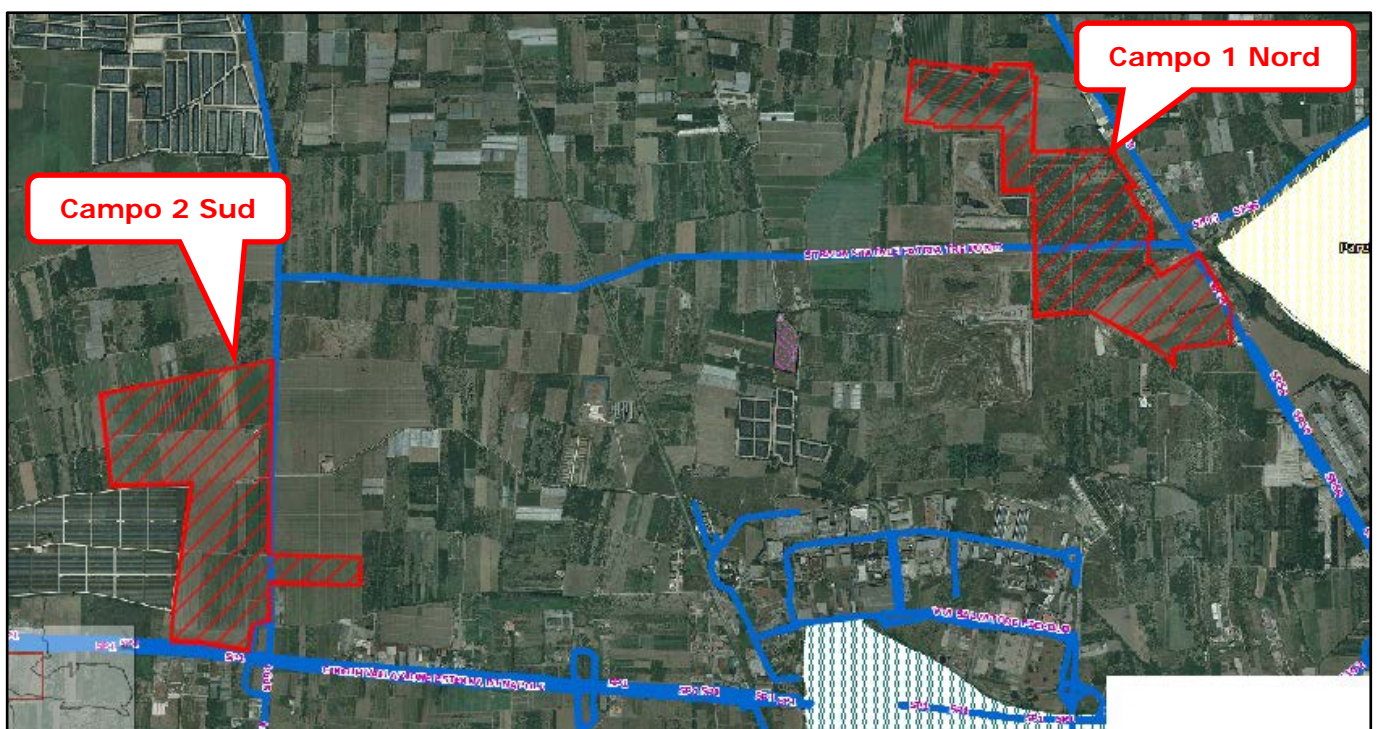


Fig. 4 – Stralcio della carta dei vincoli (fonte, SIT Giugliano in Campania)

Nell'ambito della Carta Tecnica Numerica Regionale, in scala 1:5.000, la zona di studio è compresa nei seguenti quadranti (Figg. 5-6):

- *Elemento n°447022 - Parete;*
- *Elemento n°447023 - Santa Maria a Cubito;*
- *Elemento n°447051 - Giugliano in Campania;*
- *Elemento n°447061 - Quadrivio di Qualiano;*
- *Elemento n°447063 - Giugliano in Campania;*
- *Elemento n°447064 - Giugliano in Campania;*

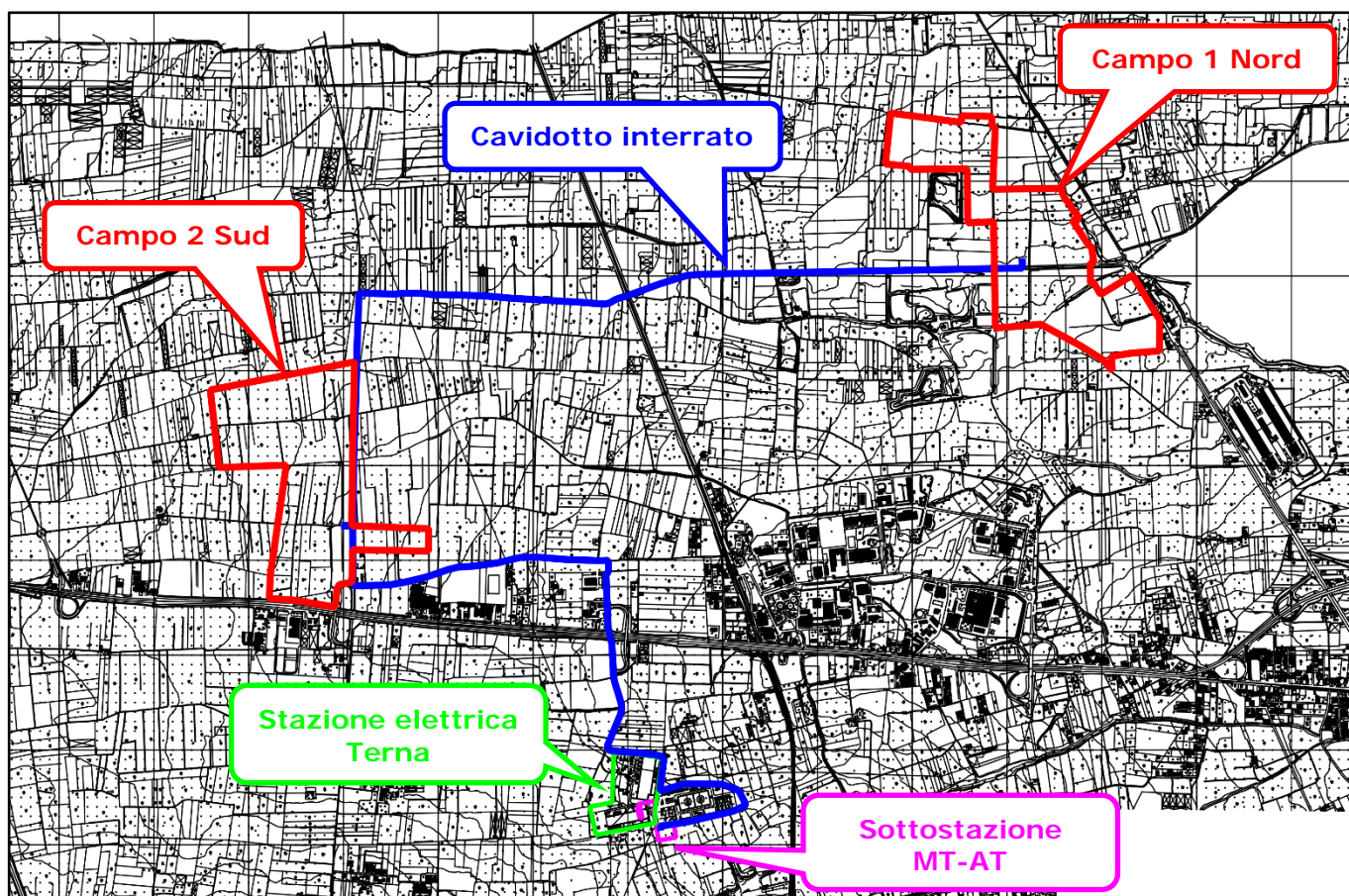


Fig. 5 - Stralcio aerofotogrammetrico della Carta Tecnica Numerica Regionale

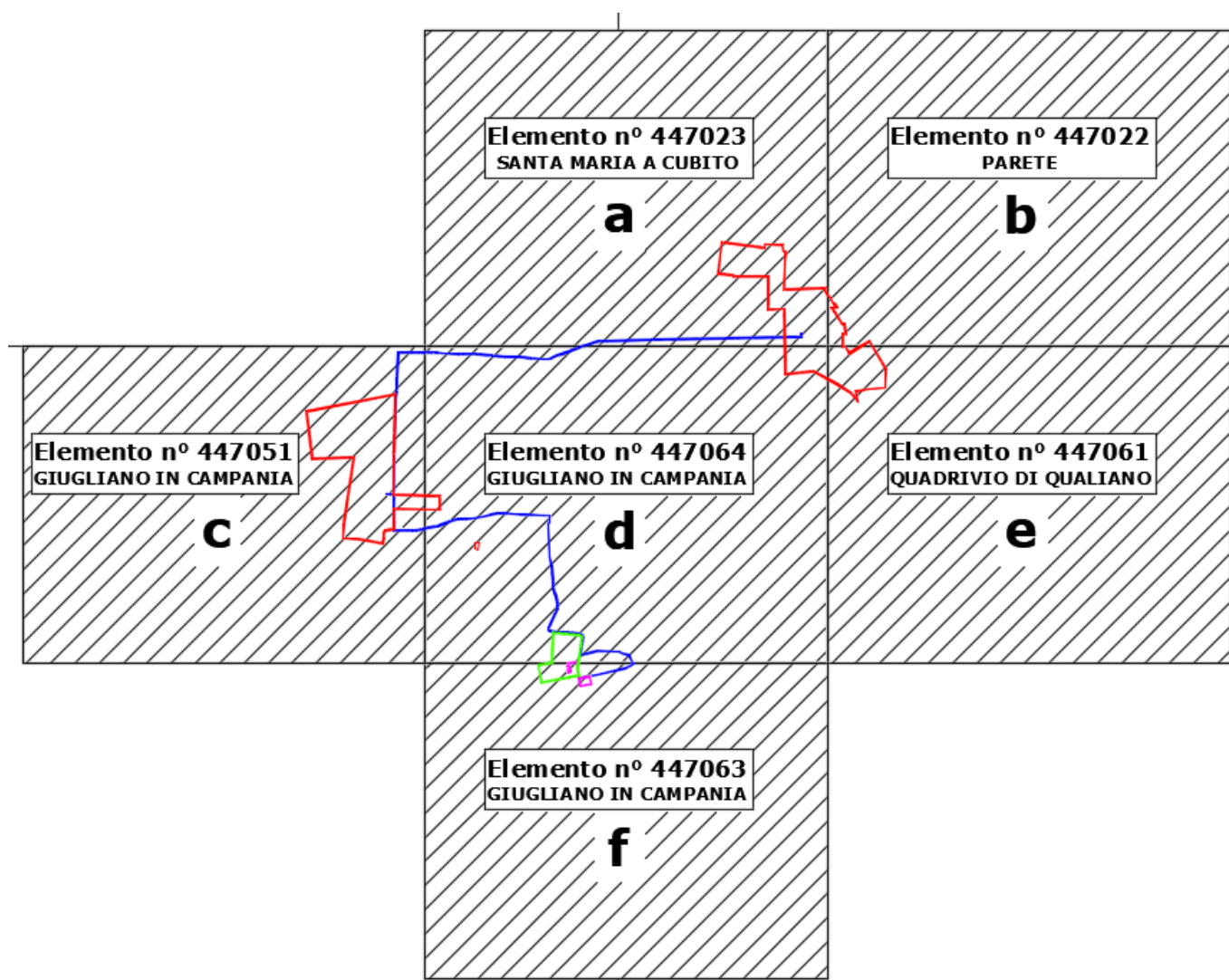


Fig. 6 – Quadranti della Carta Tecnica Regionale interessati dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico

L'impianto agro-fotovoltaico denominato "**Campo 1 Nord**" sarà realizzato in località Cinistrelli su un appezzamento di terreno, di circa 67 ettari (Fig. 7), confinato ad est dalla Strada Provinciale Santa Maria a Cubito–Giugliano e ad ovest dai siti di discarica denominati Masseria del Pozzo-Schiavi e Giuliani (Foto 1-2-3-4-5-6).

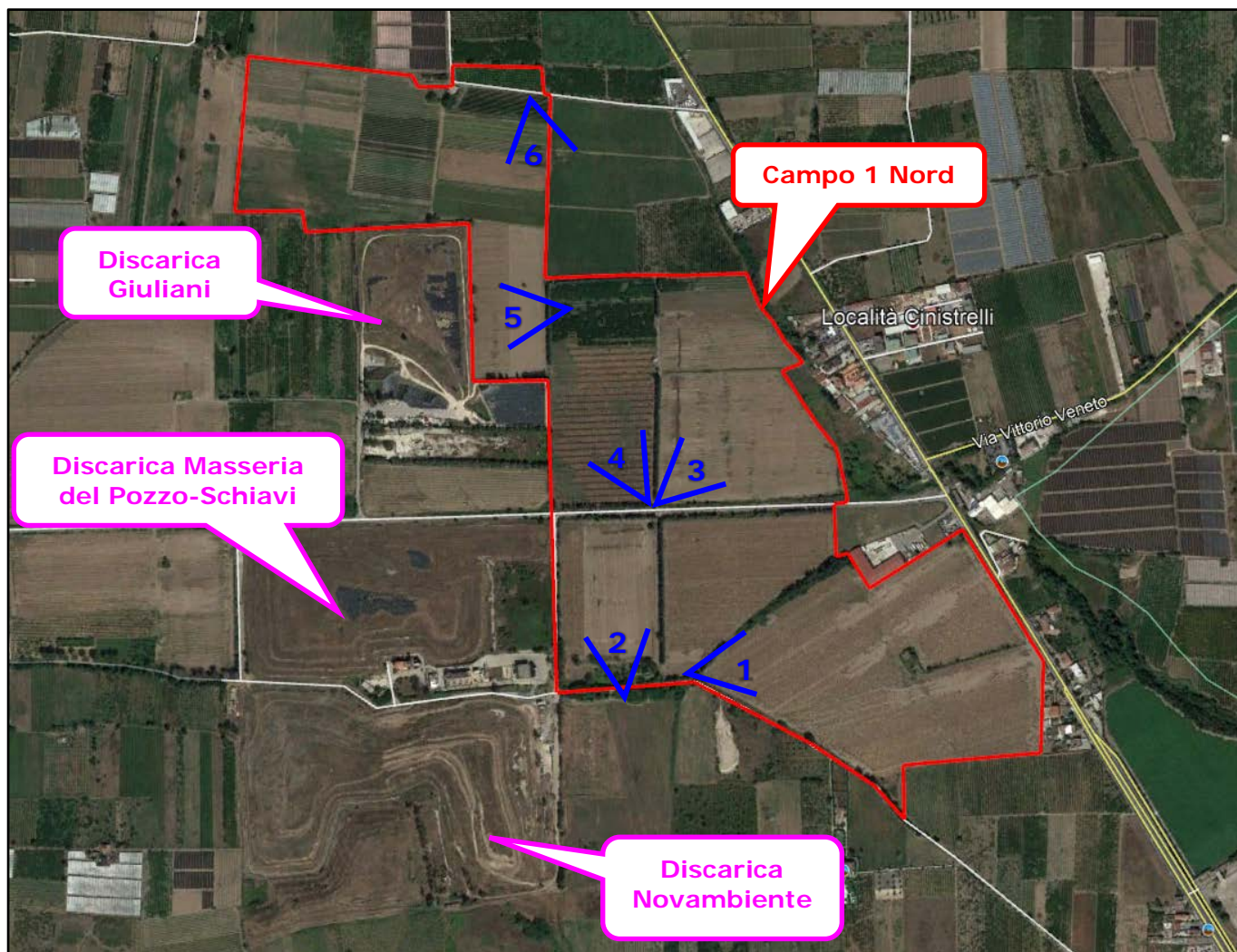



Fig. 7 - Ortofoto dell'area di studio ubicata in località Cinistrelli (Campo 1 Nord) - Fonte Google Earth

### Legenda

 **3** Punto di scatto della foto e relativo numero



*Foto 1 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*



*Foto 2 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*





*Foto 3 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*



*Foto 4 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*



*Foto 5 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*



*Foto 6 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 1 Nord"*

Nelle immediate vicinanze di questo sito (sul lato ovest del lotto di terreno interessato dall'impianto fotovoltaico) sono presenti vari impianti di trattamento dei rifiuti. Di seguito si citano le discariche presenti nell'area di studio (*Fonte: Studio del sito contaminato di Masseria del Pozzo-Schiavi nel Comune di Giugliano in Campania, Di Nardo-Bortone-Musmarra*) (Fig. 8).

- **Discarica Giuliani.** Essa è situata in località Giuliani ed è rappresentata da un'ex cava di pozzolana riempita con sovvalli solidi e frazione organica stabilizzata proveniente dal limitrofo impianto di produzione C.D.R.
- **Discarica "Masseria del Pozzo-Schiavi".** Il sito ospita discariche controllate di rifiuti solidi urbani indifferenziati di proprietà del Comune di Giugliano. Originariamente il sito era caratterizzato dalla presenza di cave di materiale piroclastico profonde, rispetto al piano campagna, dai 18 ai 28 metri. Dopo la cessazione dell'attività estrattiva è cominciata, tra il 1995 e il 1996, l'attività di sversamento nella cava denominata "Schiavi"; successivamente è iniziata l'attività a "Masseria del Pozzo" e successivamente si sono avuti vari ampliamenti. Il sito in oggetto si sviluppa su una superficie di oltre 17 ettari con forma in pianta irregolare.
- **Discarica Novambiente s.r.l.** La discarica Novambiente è una discarica di I Categoria per rifiuti solidi urbani e speciali assimilabili agli urbani e si estende su una superficie di circa 46.731 m<sup>2</sup> di cui solo 36.917 m<sup>2</sup> sono adibiti a piani di coltivazione di rifiuti, mentre il rimanente spazio è adibito a strade, zone di rispetto, impianti, ecc. La discarica è parzialmente in cava e parzialmente in rilevato con un'altezza massima dal piano campagna di circa 17,70 metri ed un'altezza media di circa 6,60 metri.




Fig. 8 – Localizzazione dei siti di discarica ubicati nelle vicinanze dell'Impianto 1 di progetto

L'impianto agrivoltaico denominato "**Campo 2 Sud**" sarà realizzato, invece, in località Provvidenza e La Pigna, su un appezzamento di terreno di circa 71 ettari che si sviluppa immediatamente a Nord della Strada Statale 162 NC Asse Mediano (Fig. 9), ad ovest della località Ponte Riccio (Foto 7-8-9-10-11-12).



Fig. 9 - Ortofoto dell'area di studio ubicata in località Provvidenza e La Pigna (Campo 2 Sud) - Fonte Google Earth

### Legenda

 8 Punto di scatto della foto e relativo numero



*Foto 7 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*



*Foto 8 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*



*Foto 9 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*



*Foto 10 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*



*Foto 11 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*



*Foto 12 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico "Campo 2 Sud"*

### 3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica

#### 3.1 Caratteri litologico-strutturali e geomorfologici dell'area di studio

Il territorio comunale di Giugliano in Campania (NA) si inserisce nell'ambito dell'unità fisiografica e geologica della Piana Campana, vasta area subpianeggiante compresa tra il mar Tirreno ad ovest, il M. Massico a Nord, i M.ti di Avella e di Sarno ad est ed i M.ti Lattari a sud, che ingloba le due notevoli strutture vulcaniche del Somma–Vesuvio e dei Campi Flegrei (Fig. 10).



Fig. 10 - Carta geologico-strutturale schematica della Campania; [da Vitale e Isaia, 2014].

La Piana Campana rappresenta uno dei più estesi bacini quaternari dell'Italia meridionale; è delimitata da rilievi carbonatici che furono smembrati e ribassati dalla tettonica pleistocenica. Il graben risultante continuò a sprofondare nel Quaternario con un rigetto compreso tra i 3 ed i 5 km. Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto tale sprofondamento sono evidenziate lungo i



margini della Piana da ripidi versanti di faglia, apparentemente dirette, orientati prevalentemente NW–SE e SW–NE.

Proprio lungo queste strutture recenti, che si estendono ben oltre la regione Campania, si è impostato il vulcanismo potassico della Provincia Romana e Campana (Fig. 11).

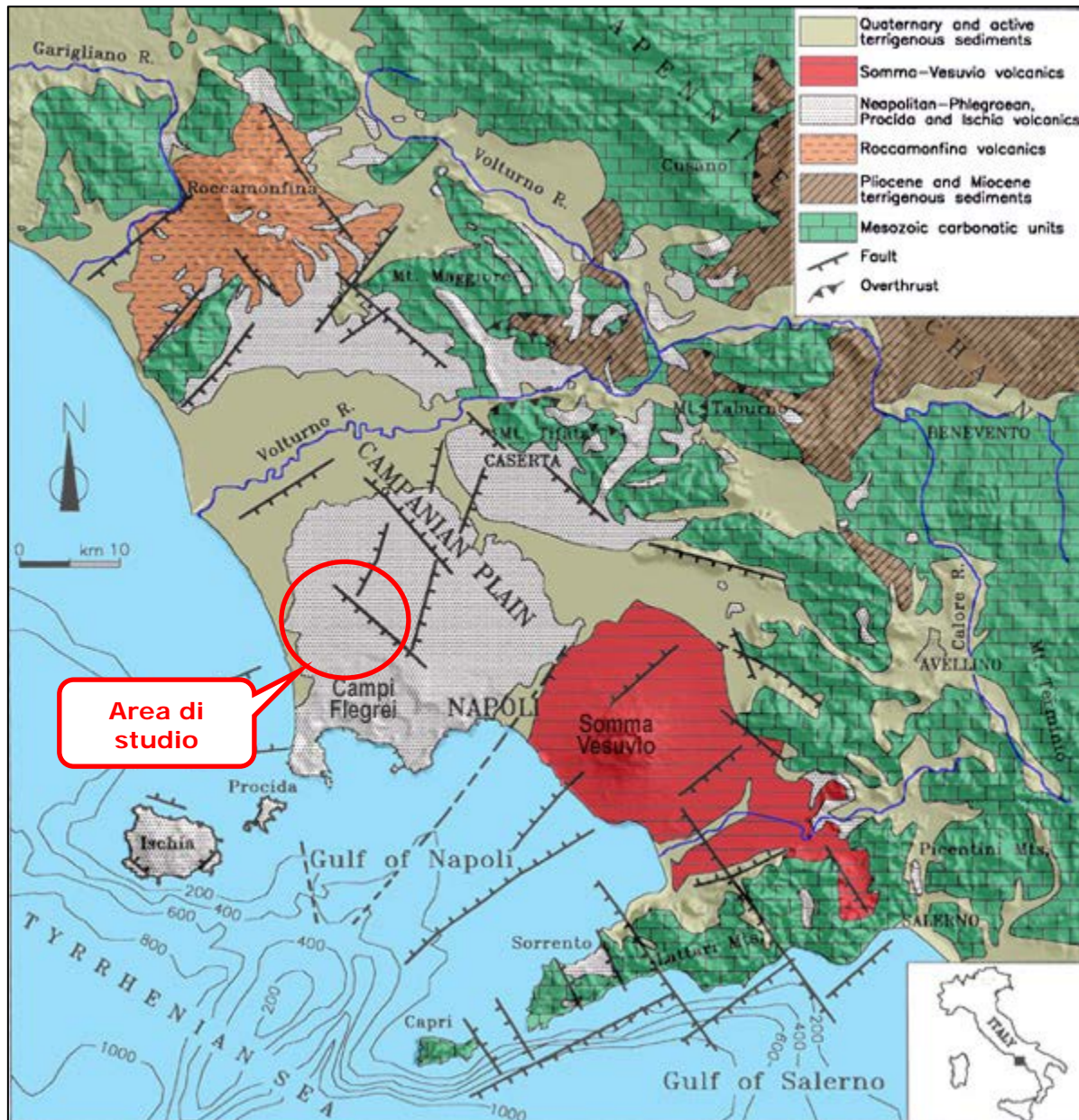


Fig. 11 – Schema strutturale della Piana Campana e delle strutture bordiere

Nel settore orientale della Piana Campana, e più precisamente quello comprendente il Somma-Vesuvio e la Piana del Sarno, indagini geofisiche hanno permesso di ricostruire a grandi linee l'andamento del tetto del substrato carbonatico al di sotto della potente copertura vulcanica e sedimentaria. Il substrato risulta smembrato in vari blocchi da faglie con andamento prevalentemente appenninico ed antiappenninico, che lo ribassano verso il centro della piana del Sarno fino alla profondità di 2000 metri.

Tale ribassamento continua verso ovest al di sotto del vulcano strato del Somma–Vesuvio dove, in corrispondenza del bordo occidentale del vulcano, la presenza di faglie, orientate SW–NE, determina un gradino strutturale tra la piana del Sarno e quella Napoletano–Volturnina.

Le rocce più antiche, affioranti lungo i margini della Piana, appartengono alla serie carbonatica dell'Appennino Campano. Esse sono costituite da calcari grigi e bianchi, compatti, con frequenti intercalazioni dolomitiche.

Questi terreni restituiscono abbondanti resti fossiliferi quali livelli biostromali a rudiste ed anche gasteropodi e lamellibranchi. Dal punto di vista stratigrafico tali depositi sono caratteristici di un ambiente sedimentario in facies di scogliera; pertanto rappresentano una porzione di piattaforma carbonatica, frammentata e poi variamente dislocata dalle diverse fasi tettoniche che hanno caratterizzato la formazione dell'Appennino Centro-Meridionale.

La serie carbonatica risulta essere ricoperta da imponenti coltri piroclastiche derivati dai vari centri eruttivi campani a cui l'area di interesse è particolarmente esposta. Tali piroclastiti, spesso rimaneggiate, dilavate e sottoposte a gradi variabili di pedogenesi, sono costituite da successioni di tufi, ceneri, pomici e lapilli. Questi materiali sono talvolta interessati da fenomeni di rimobilizzazione e deposizione rapida a seguito di eventi meteorologici particolarmente intensi.

L'area in esame si colloca nella porzione centro settentrionale della piana, e risulta interessata dalla messa in posto delle piroclastiti flegree. I Campi Flegrei sono una caldera risorgente complessa formatasi attraverso due principali episodi di sprofondamento avvenuti rispettivamente durante l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, circa 39.000 anni fa, e l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, circa 14.000 anni fa (Fig. 12).

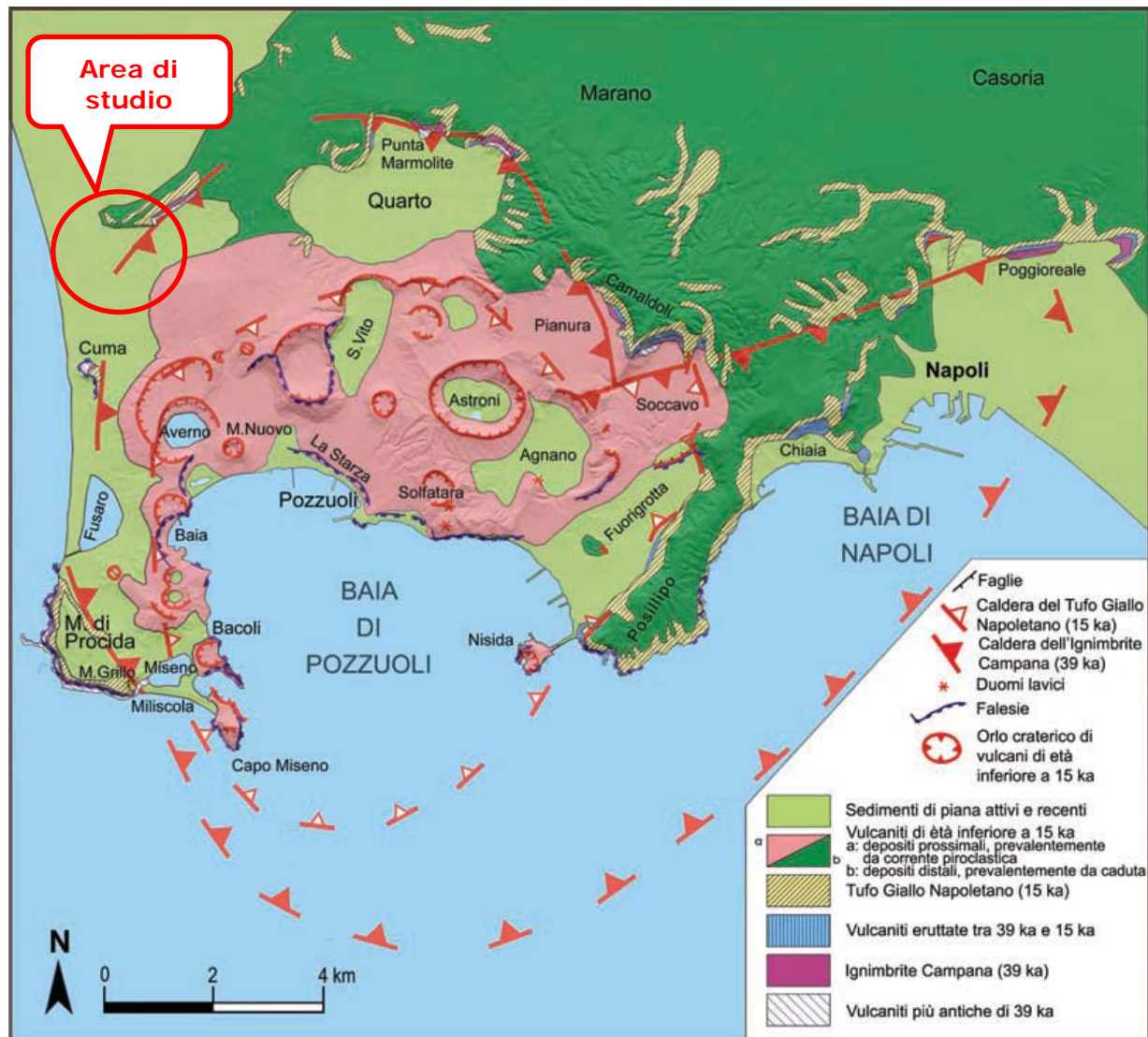


Fig. 12 – Carta geologica schematica della caldera dei Campi Flegrei (semplificata da Orsi et al., 1996)

L'età di inizio del vulcanismo nell'area flegrea non è nota (Fig. 13). I prodotti vulcanici più antichi in affioramento hanno 60.000 anni. La maggior parte delle rocce più vecchie dell'Ignimbrite Campana è stata prodotta da eruzioni esplosive e solamente una minima parte da eruzioni effusive. Solo alcuni degli edifici vulcanici che si formarono in questo periodo più antico sono oggi esposti. Sulla base delle caratteristiche di alcuni depositi, si può ipotizzare che l'area vulcanica attiva doveva essere più ampia dell'attuale caldera.

Ad esempio Monte Grillo a Miliscola è il relitto di un cono piroclastico e, verosimilmente, ulteriori centri di eruzioni effusive si trovavano nelle vicinanze dei duomi lavici di Punta Marmolite e di Cuma.

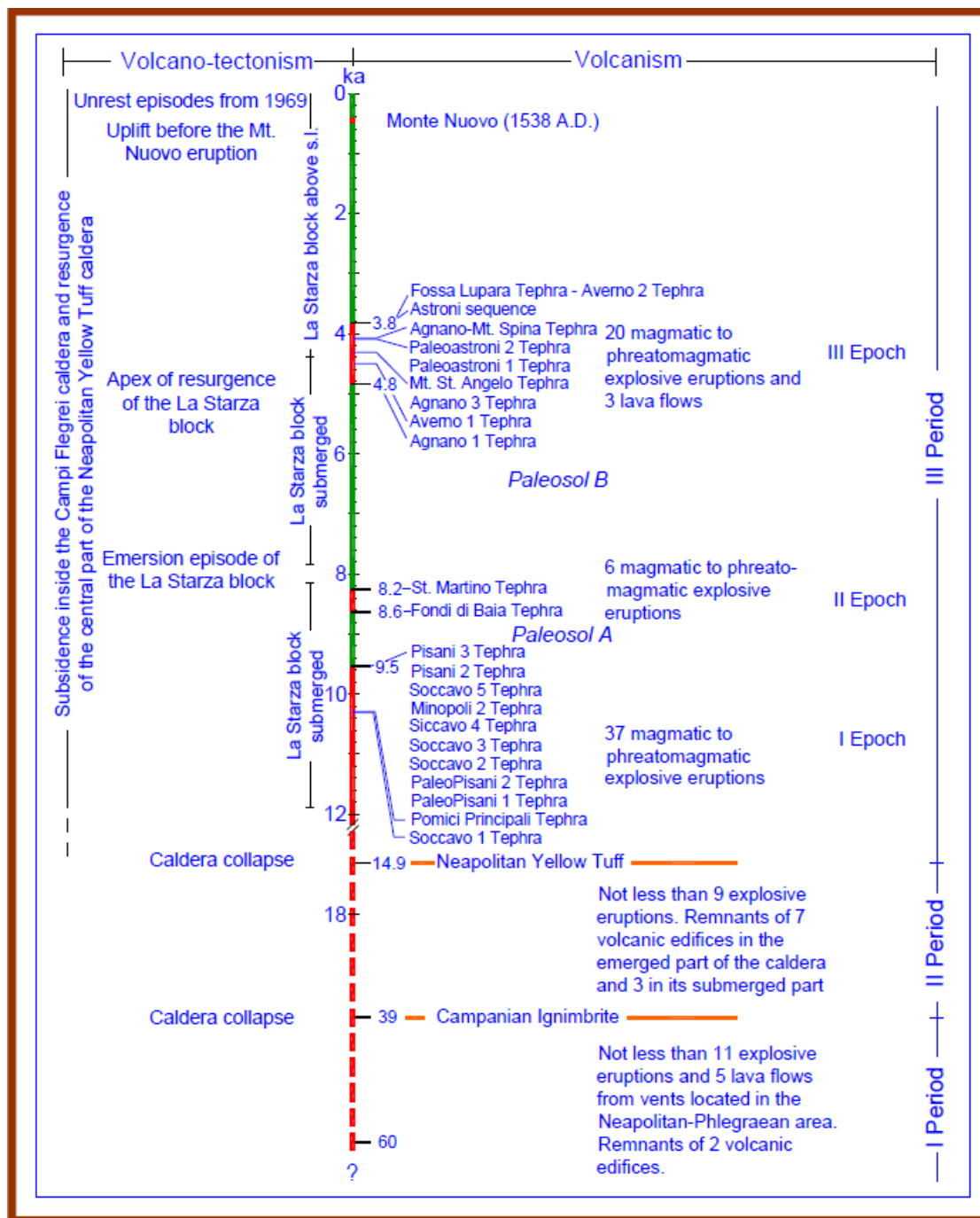


Fig. 13 – Cronologia dell'attività dei Campi Flegrei

Il territorio flegreo è un sistema vulcanico costituito da numerosi centri craterici e tuttora attivo, ma in stato di quiescenza, compreso tra l'edificio vulcanico del M. Somma-Vesuvio a sud-est, i due sistemi litorali del Golfo di Pozzuoli a sud e del Litorale Domitio ad ovest, i rilievi carbonatici del M. Massico a nord e del M. Maggiore a nord-ovest separati dal vulcano di Roccamonfina.

Quest'ultimo è un edificio vulcanico ormai inattivo interessato nell'arco del Pleistocene da manifestazioni a carattere sia effusivo che esplosivo, i cui prodotti hanno età comprese tra 700.000 e 300.000 anni prima del presente.

Il bacino dei Campi Flegrei diede origine ad un'intensa attività eruttiva a carattere esplosivo con formazione di prodotti prevalentemente alcalitrachitici.

L'attività vulcanica flegrea è stata suddivisa da vari Autori in quattro cicli eruttivi, in base alle sequenze stratigrafiche e alle determinazioni delle età assolute eseguite con metodi radiometrici ( $^{14}\text{C}$ ). Il primo ciclo inizia oltre 35.000 anni prima del presente, l'ultimo termina con l'eruzione storica di M. Nuovo del 1538. Una serie di violente eruzioni esplosive manifestatesi tra circa 42.000 e 35.000 anni prima del presente (I ciclo) nella zona flegrea ad occidente di Quarto produssero l'*Ignimbrite Campana (Tufo grigio campano AUCT.)*, ampiamente diffusa in affioramento e nel sottosuolo dell'intera regione.

La morfologia sepolta del tetto del substrato carbonatico profondo e delle sovrastanti piroclastiti, invece, risulta complessa a causa dei fenomeni erosivi, delle dislocazioni tettoniche e vulcano-tettoniche che hanno interessato la regione sia prima che durante il periodo di stasi intercorso fra i 35.000 ed i 20.000 anni prima del presente (I e II ciclo), ovvero dopo l'eruzione e la messa in posto dell'*Ignimbrite Campana*. Circa 13.000 anni prima del presente (III ciclo) una o più eruzioni esplosive diedero origine alla formazione piroclastica del tufo giallo napoletano (Auct.), diffusa ampiamente in affioramento e nel sottosuolo di Napoli, ai margini della cosiddetta caldera flegrea estesa fino a Pozzuoli e Baia ed in minor grado a Quarto, costituente in un certo senso l'ossatura di questi centri abitati.

Durante il post-glaciale, ed in particolare negli ultimi 10.000 anni (Olocene), l'azione modellante del mare in risalita è stata intensificata o ridotta dalle oscillazioni verticali del suolo puteolano (bradisisma) o dagli eventi vulcanotettonici che in alcuni periodi hanno determinato la sommersione o l'emersione di ampie zone costiere. Le tracce di tali episodi sono rappresentate dalla successione stratigrafica del terrazzo marino de La Starza, esteso lungo la costa da Gerolomini fino alle pendici orientali di M. Nuovo, costituita da alternanze di depositi continentali e marini (11.000-5.000 anni prima del presente) a giacitura suborizzontale ed organizzati in quattro cicli che riflettono gli eventi vulcanici e vulcano-tettonici dell'area puteolana.

Quest'ampia superficie spianata è bordata verso mare da una ripida scarpata, alta da circa 25 a 40 m, che rappresenta una falesia costiera inattiva sottratta all'azione del moto ondoso dalla presenza di una fascia di depositi di spiaggia e detritici. Altre testimonianze di questi eventi che hanno interessato la costa puteolana sono costituite dalla presenza in ambiente sommerso di ruderi d'epoca romana e medievale, rispettivamente a profondità di circa -10 e -5 m.

I prodotti piroclastici incoerenti flegrei degli ultimi 10.000 anni (IV ciclo) hanno livellato i solchi e la morfologia accidentata del paesaggio, ammantandolo e raddolcendone i rilievi.

Una fase vulcanica più recente ha determinato un sollevamento (terrazzo marino de La Starza-vulcano di M. Spina, circa 4000 anni fa) al quale è seguita la formazione degli ultimi edifici vulcanici (M. Spina, circa 3600 anni fa). Successivamente a tali eruzioni piroclastiche si è verificato lo sprofondamento dell'area orientale e l'individuazione della depressione costiera di Bagnoli-

Fuorigrotta. Intensi eventi vulcano-tettonici, localizzati fenomeni bradisismici (crisi del 1970-72 e 1982-84) e fenomeni erosionali si sono manifestati anche in età storica.

Tutti i prodotti vulcanici di quest'area sono stati generati da apparati scaturiti sia in ambiente subaereo che subacqueo e la loro deposizione si è alternata a quella di sedimenti marini, oggi fossiliferi, in parte direttamente in ambiente sommerso (cineriti), in parte in quello emerso.

Questa caratteristica è connessa alle oscillazioni verticali del suolo puteolano (bradisisma) ed ai movimenti vulcano-tettonici (collassi calderici, sismi) che hanno preceduto o seguito le manifestazioni eruttive, riesumando fondali un tempo sommersi anche a -50 m di profondità (terrazzo de La Starza).

Nel territorio circostante il Comune di Giugliano in Campania, pertanto, affiorano le seguenti principali formazioni vulcaniche, limniche e continentali:

- terre nere palustri, torbifere, con molluschi dolcicoli; di età storica e recente; nelle platee vulcaniche (Piano di Quarto, Cigliano, Campiglione, Astroni);
- prodotti di dilavamento dei recinti craterici flegrei, di natura piroclastica; di età storica e recente; nelle zone perimetrali collinari a nordovest dell'abitato (S. Antonio);
- lapilli chiari non differenziati, depositi piroclastici e loro suoli nella pianura circumflegrea; di età storica e recente; diffusamente nell'area a nord;
- prodotti piroclastici indifferenziati provenienti dai centri eruttivi flegrei: cineriti e pozzolane chiare; lapilli pozzolanici straterellati, ceneri e pomice grigie, suoli di età storiche, ghiaie fluviali, limo e terre torbose; passanti a depositi litoranei (sabbie grossolane); di età olocenica; diffusamente a nord-ovest e nord-est, a lembi ad est, sudest e sudovest;
- prodotti piroclastici dell'Astroni, pomice e lapilli on paleosuoli intercalati; di età ~3.700 anni prima del presente; localmente a nord-est;
- lapilli pozzolanici con paleosuoli fossiliferi intercalati, sovrastanti ai prodotti piroclastici di Agnano; di età olocenica superiore; a nord-est, est e sud-est;
- lave e scorie trachitiche plagioclasiche di M. Olibano, Cava Regia; lave fonolitiche e breccia piroclastica di M. Spina-Agnano; di età olocenica media; rispettivamente ad est e nord-est;
- tufo giallo napoletano (Auct.) in facies litoide, con pomice alterate e scorie, in banchi; di età ~13.000 anni prima del presente; a nord, nord-ovest, est e diffusamente nell'area cittadina (Rione Terra).

In particolare, i terreni affioranti nel territorio comunale sono costituiti in prevalenza dai prodotti piroclastici indifferenziati, rimaneggiati e dilavati, formati da depositi da caduta (ceneri, sabbie, pomice, lapilli) delle eruzioni flegree tardopleistoceniche-oloceniche, caratterizzati da lenti di sabbia e pomice di colore grigio (pozzolane), materiale detritico e suoli; questi terreni, almeno nell'area in esame, presentano uno spessore variabile fra circa 2 e 30 m. Tali materiali poggiano sulla formazione del tufo giallo napoletano Auct. che rappresenta il substrato stabile dell'area

puteolana. Quest'ultima formazione vulcanica, in facies lapidea a prevalente tessitura massiva, si presenta compatta alla base ed alterata e pseudocoerente nella sua parte sommitale, con spessore di alcune decine di metri e potenza complessiva non nota; inoltre, è dislocata da allineamenti di faglie a prevalente andamento appenninico (nord-ovest – sud-est) che la ribassano verso ovest ed affiora nel centro storico puteolano (Rione Terra) ed estesamente a nord, sud-est e sud-ovest della zona indagata, ai margini del relitto calderico collassato.

In epoca storica e recente questi affioramenti tufacei sono stati intensamente sfruttati mediante la coltivazione di cave per l'estrazione di materiale da costruzione. L'andamento delle isopache del substrato tufaceo e la sua morfologia sepolta appaiono articolati, a causa degli eventi vulcano-tettonici e delle dislocazioni che hanno interessato la zona dopo la messa in posto del tufo; in genere si registra un aumento della profondità dalle aree marginali, dove il tufo si rinviene già a 2-3 m dal piano campagna ed in genere a circa 10-15 m dal p.c., verso il depocentro calderico, dove il tetto tufaceo si rinviene oltre i 30 m dal p.c.

L'erosione più o meno intensa legata alle oscillazioni climatiche postglaciali ha in parte livellato i solchi ed in genere spianato la morfologia accidentata del paesaggio, raddolcendone i rilievi, sebbene numerosi eventi sismotettonici e gravitativi si siano verificati negli ultimi 10.000 anni (Olocene). A questi fenomeni si sono aggiunte le modificazioni storiche e recenti del paesaggio urbano prodotte dall'uomo fin dall'epoca greco-romana. Infine, i sedimenti alluvionali e di riporto, presenti soprattutto nelle depressioni e nei fossi d'incisione, sono costituiti per lo più dai suddetti prodotti rimaneggiati commisti a detriti fittili e di manufatti di età storica e recente.

La successione stratigrafica schematica dei prodotti vulcanici affioranti nel territorio puteolano è appresso descritta (Fig. 14).

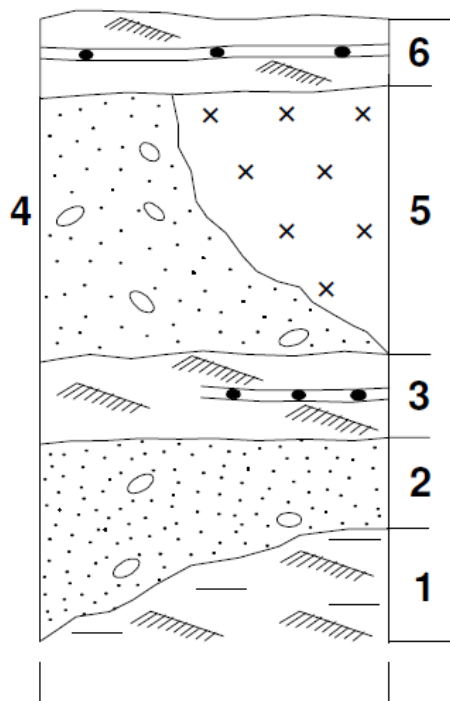


Fig. 14 – Schema stratigrafico dei terreni distribuiti nella zona di Gerolomini (da Di Girolamo et alii, 1984, modificato):

- 1) formazione vulcanica del tufo giallo napoletano Auct.;
- 2) depositi fossiliferi e prodotti del terrazzo de La Starza;
- 3) complesso vulcanico di Agnano, unità di M. Sant'Angelo;
- 4) complesso vulcanico di Agnano, unità di M. Spina;
- 5) cupola lavica di M. Olibano;
- 6) prodotti del vulcano della Solfatara.

Il territorio comunale di Giugliano in Campania ricade nel foglio n° 446-447 "Napoli" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia - ISPRA, 2018) (Fig. 15).

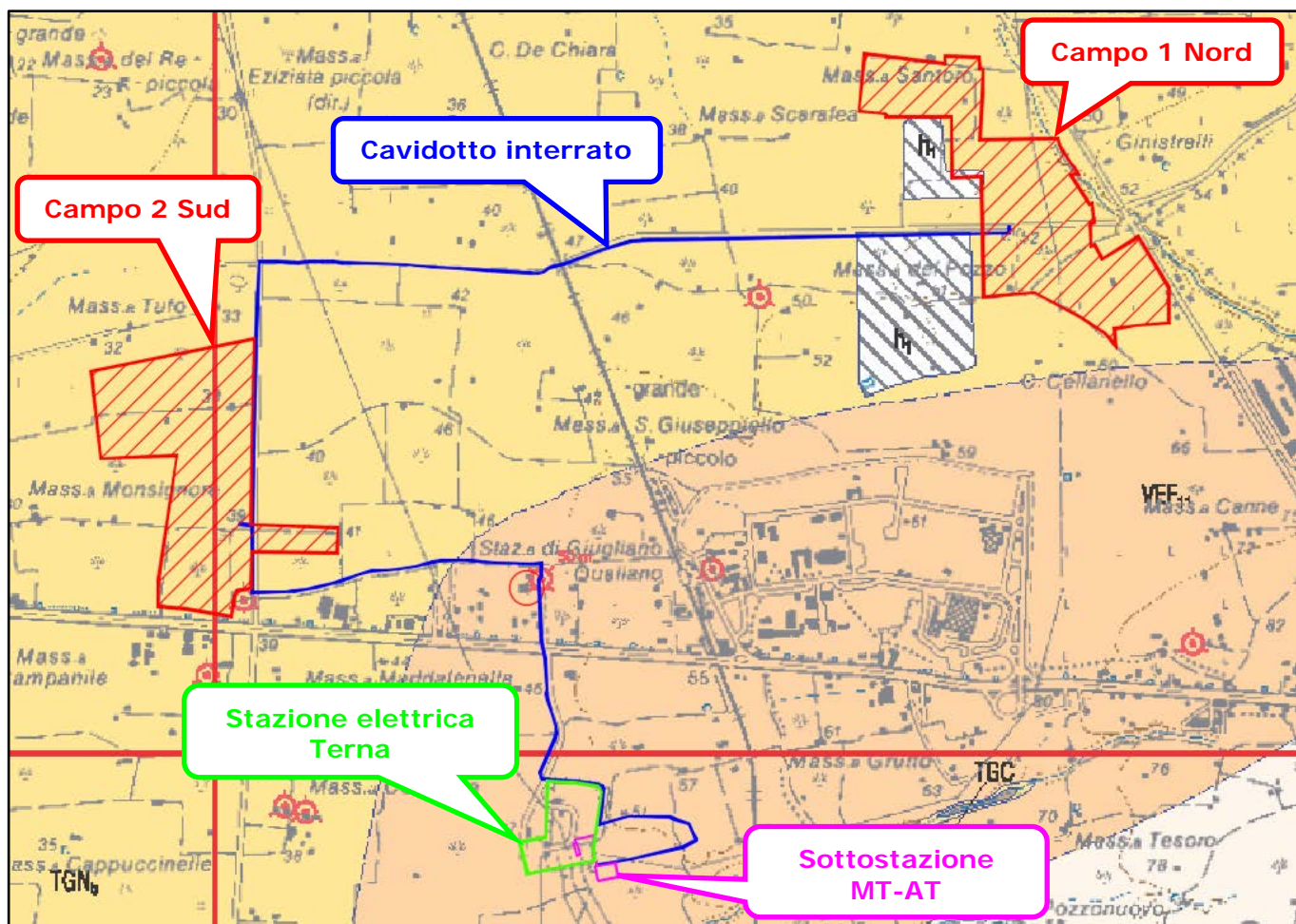
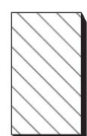


Fig. 15 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 446-447 "Napoli"



**Discariche**

Discariche controllate di rifiuti solidi urbani e rifiuti inerti edili (calcestruzzo, laterizi, malte, ceramiche, pezzame tufaceo).  
**ATTUALE**

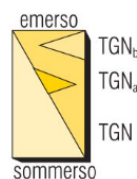
**SUBSISTEMA DI AGNANO-SOCCAVO (VEF<sub>11</sub>)**

Successione di depositi confinata a tetto da uno spesso paleosuolo ocreaceo ampiamente distribuito sia nei settori interni alla caldera flegrea che nelle aree di piana circostanti. La successione poggia sui depositi di tufo del subsistema di Napoli (VEF 10). I depositi sono composti da alternanze di ceneri grigie e verdastre fini e grossolane con lenti di lapilli pomicei e da cineriti giallastre con livelli e lenti di scorie nere. I depositi delle unità litosomatiche o litostratigrafiche sono separate da superfici erosive, paleosuoli o sedimenti continentali non vulcanici, e talora poggiano su depositi marini. L'unità subsistemica comprende inoltre i relitti di duomi di lava e depositi di tufi giallastri. Il subsistema contiene anche l'unità de "La Starza" che comprende la sequenza dell'omonimo terrazzo marino costituito da alternanze di sedimenti marini e di livelli piroclastici.

**TUFO GIALLO NAPOLETANO**

Successione di depositi piroclastici giallastri generalmente litificati nelle zone prossimali (TGN<sub>a</sub>) che variano in verticale e lateralmente a depositi sciolti di colore grigio chiaro (TGN<sub>b</sub>). La sequenza del TGN è suddivisibile in due diversi membri separati da variazioni sedimentologiche e tessiture dei depositi o dalla presenza di una discordanza angolare, ma in questa sede non cartografati singolarmente. Una breccia grossolana lentiforme ricca in scorie nere, lave e tufi si intercala tra i due membri. Il membro inferiore di spessore massimo circa 20 m è formato da una fitta alternanza di livelli cineritici ricchi in lapilli accrezionali e sottili livelli pomicei grossolani. Il membro superiore di spessore massimo di 100 m, è formato da spessi livelli cineritici generalmente massivi, con lenti pomicee. Le pomicee hanno vescicole molto allungate pochi cristalli di feldspato e composizione da latitica a trachitica. I litici sono tufi verdi e tufi epiclastici e lave. I depositi sono stati messi in posto da correnti piroclastiche e subordinatamente per caduta. Età <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 14,9±0.4 ka (D'Errico et alii, 2004).

*PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. (Tardoglaciale)*





Come già detto precedentemente, tale area si colloca all'interno della Piana Campana, vasta depressione tettonico-strutturale posta tra il margine tirrenico e i contrafforti appenninici, ribassata durante il Plio-Pleistocene ad opera delle principali direttrici tettoniche a carattere distensivo ad andamento SO-NE e NO-SE e colmata nel tempo da una successione molto spessa di depositi marini, alluvionali e vulcanici di origine flegrea e vesuviana.

In particolare il territorio di Giugliano in Campania è situato in gran parte nel settore della Piana Campana posto a nord della caldera che borda l'area vulcanica attiva dei Campi Flegrei, una piccola porzione sudoccidentale comprende anche una parte del bordo calderico sepolto.

I terreni che costituiscono il substrato del territorio comunale sono pertanto strettamente connessi alla attività vulcanica dei Campi Flegrei e alle dinamiche fluvio-lacustri-palustri e marino-costiere della Piana stessa, a loro volta influenzate dalle variazioni del livello del mare e dalle fasi vulcano-tettoniche succedutesi da oltre 39.000 anni fino ad oggi.

Infatti in tempi geologicamente recenti (circa 39 e 14 mila anni fa) due grandi eruzioni ignimbriche hanno determinato la formazione di una vasta depressione calderica composita e la deposizione di spesse sequenze piroclastiche (Tufo Grigio Campano TGC e Tufo Giallo Napoletano TGN). È seguita la deposizione di sequenze piroclastiche finemente stratificate originate da eruzioni di tipo freatomagmatico, intercalate da superfici erosive, paleosuoli e sedimenti continentali (subsistema di Agnano-Soccavo, VEF<sub>11</sub>) e, in tempi più recenti, di sequenze di depositi cineritici intercalati da livelli di lapilli di caduta, legati alle eruzioni avvenute nell'area flegrea tra 5 e 3,8 mila anni fa (subsistema di Contrada Romano, VEF<sub>12</sub>).

Un doppio sistema di cordoni dunari di età storica si è sviluppato a partire dal lago costiero di Patria verso sud. Depositi sabbioso-limosi di colmata e di bonifica ne costituiscono l'area retrodunare. Nella matrice dei depositi olocenici e attuali limoso-argillosi lagunari e palustri nell'intorno di Lago Patria è anche possibile riconoscere depositi piroclastici distali e vulcano-sedimentari delle parti esterne dell'edificio del Somma-Vesuvio (VEF<sub>2</sub> e VEF<sub>3</sub>).

La stratigrafia di sottosuolo nell'area in oggetto testimonia la presenza e i rapporti laterali dei depositi piroclastici sopradescritti, intercalati a vari livelli da paleosuoli, depositi continentali rimaneggiati, depositi lagunari e palustri.

Per la realizzazione del foglio geologico "Napoli" sono stati eseguiti, nel territorio comunale di Giugliano in Campania, 3 sondaggi geognostici: nell'area del Lago Patria il sondaggio ha raggiunto i 60 m dal p.c. perforando per intero una sequenza cineritica con inclusi pomicei e scoriacei, attribuibile al TGC; il sondaggio presso la stazione di Giugliano, profondo 50 m, ha perforato terreni piroclastici alternati a paleosuoli, attribuibili al subsistema VEF<sub>11</sub>, al TGN e al TGC.

Il sondaggio ubicato a sud del limite comunale, ha raggiunto la profondità di 57,5 m perforando terreni piroclastici alternati a paleosuoli e depositi continentali rimaneggiati, ascrivibili al VEF<sub>12</sub>, al VEF<sub>11</sub> e al TGC.

Numerose ed estese aree di cava attive, scavate sia nella unità litoide (TGNa) che in quella incoerente pozzolanacea (TGNb) del Tufo Giallo Napoletano, sono diffuse nel settore sudoccidentale del territorio comunale, nell'intorno della caldera sepolta. I fronti di cava possono essere sede di fenomeni di instabilità gravitativa (generalmente crolli), soprattutto in corrispondenza di alvei in incisione.

### 3.2 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame

I corsi d'acqua principali che si riscontrano nell'area d'indagine sono l'Alveo dei Camaldoli, i Cavoni dell'area settentrionale e quelli delle aree costiere sono stati nel tempo estesamente regimati e cementificati sia a scopo idraulico sia estrattivo. Tali corsi d'acqua drenano verso la costa, verso il Lago Patria e verso le aree di affioramento della falda ubicate in corrispondenza di alcuni piani di cava, seguendo l'andamento principale del corpo idrico sotterraneo in quest'area.

La stratigrafia del sottosuolo della Piana Campana è nota con sufficiente dettaglio attraverso i dati di perforazioni eseguite in passato per vari scopi (ricerche di idrocarburi e di forze endogene; ricerche d'acqua).

In particolare è stata accertata, nelle zone prossime ai massicci carbonatici che si snodano con continuità dal "casertano" al "sarnese", la presenza, al di sotto di uno spessore di materiale piroclastico (prima) e limo-sabbioso-ghiaioso (poi), di un substrato prevalentemente calcareo che tende ad approfondirsi abbastanza rapidamente dai -100/150 m dal p.c. (nelle zone pedemontane o nelle valli interne) ai -300/400 m dal p.c. (nelle zone distanti 2-3 Km dal piede dei rilievi).

Man mano che ci si sposta verso Ovest, esso sprofonda a varie migliaia di metri, tanto vero che non è stato raggiunto dalle perforazioni eseguite in passato per ricerche di idrocarburi nel basso Volturno. Quindi, dal punto di vista idrogeologico la Piana Campana, in cui è inserita la zona esaminata, è un'unità idrogeologica costituita da una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro (Fig. 16).

Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, porta all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti.

Le diverse falde possono essere quasi sempre ricondotte ad un'unica circolazione idrica sotterranea, in quanto il particolare tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti, lascia moltissime soluzioni di continuità tra depositi permeabili e depositi relativamente meno permeabili, a cui bisogna aggiungere gli interscambi in senso verticale o sub-verticale dovuti al fenomeno della drenanza.

Caratteristica principale di tutta la piana è la presenza dell'Ignimbrite Campana, eccezion fatta per la zona di Volla, dove la suddetta formazione è praticamente assente e la zona di Marigliano, che presenta una riduzione degli spessori del tufo grigio, da circa quindici metri a pochi metri.

La superficie piezometrica presenta l'asse di drenaggio preferenziale Est-Ovest, con direzione Nola-Villa Literno, ed è separata dalla piana del fiume Sarno da l'unico spartiacque sotterraneo presente nella piana, situato lungo l'asse Nola - Somma Vesuviana, con direzione NE-SW.

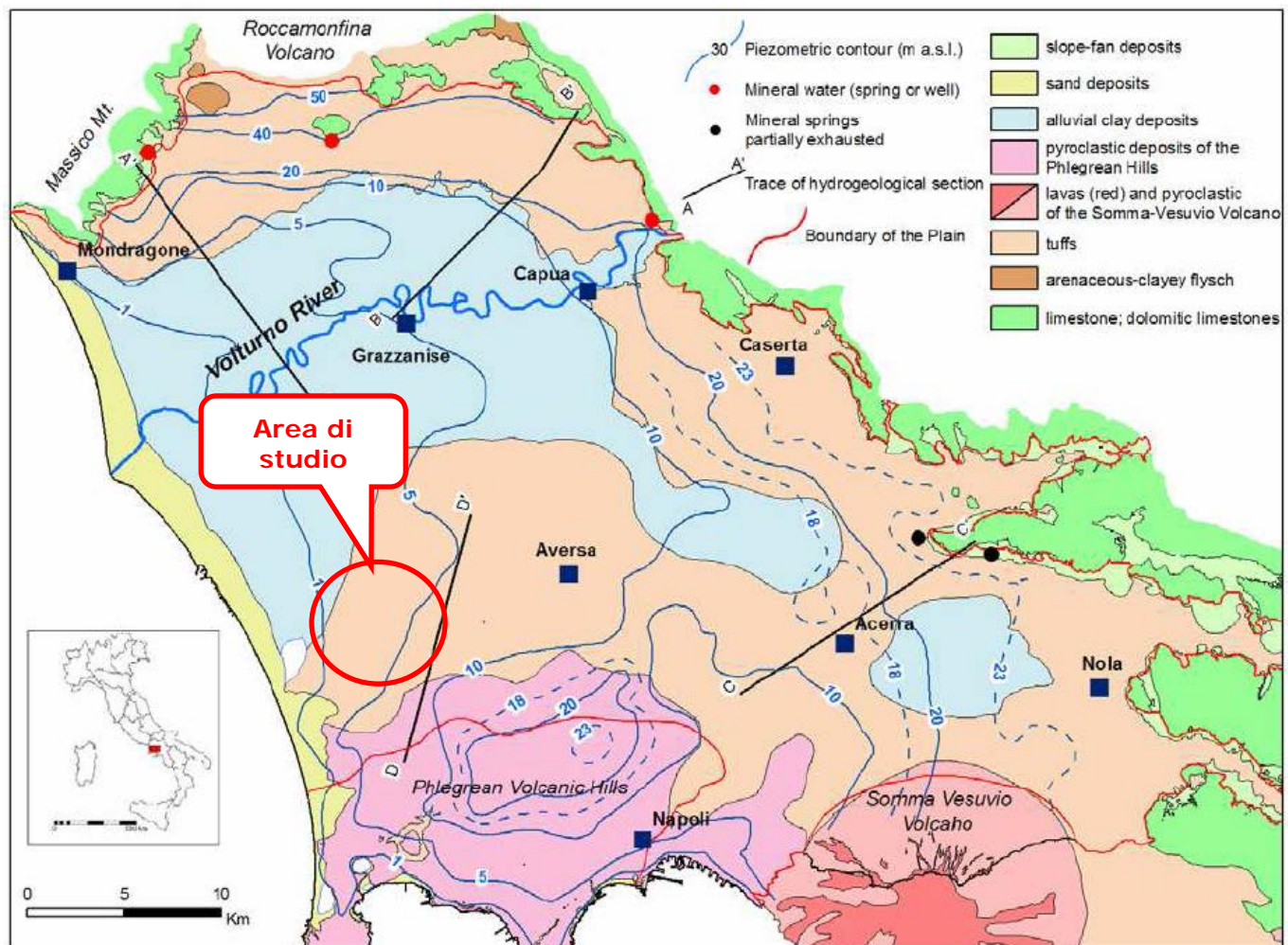


Fig. 16 - Carta idrogeologica della Piana Campana (da Ducci, 2007)

Al tetto ed al letto della suddetta formazione si rinvencono, rispettivamente, depositi piroclastici ed alluvionali e piroclastiti grossolane sciolte. La presenza dell'Ignimbrite Campana, dotata di una notevole continuità spaziale e di un valore di permeabilità relativa inferiore a quello dei terreni ad essa giustapposti, permette di riconoscere due livelli idrici principali e sovrapposti: il primo, freatico, è situato superiormente al tufo, l'altro più profondo, è posto al di sotto della formazione tufacea in condizione di semiconfinamento. I due livelli sono in comunicazione idraulica tra loro attraverso flussi verticali di drenanza diretti, in condizioni di equilibrio idrogeologico naturale, dal basso verso l'alto, attraverso la formazione tufacea.

Di conseguenza, la struttura idrogeologica della Piana Campana è formata dai seguenti complessi idrogeologici:

1. **Complesso sabbioso**, costituito da depositi sabbiosi e limo sabbiosi dunari e di spiaggia. La permeabilità del complesso varia da media a bassa.
2. **Complesso argilloso-torboso**, costituito da limi e argille associati a estesi livelli torbosi con un grado di permeabilità basso.
3. **Complesso piroclastico superiore**, costituito da piroclastici a grana variabile da media a fine. La permeabilità è da media a bassa.
4. **Complesso tufaceo**, costituito da cineriti grigie, scorie nerastre e clasti lavici riconducibile al "Tufo Grigio Campano Auct.". La permeabilità del complesso è bassa e laddove si presenta ben litificato o di maggiore spessore rappresenta l'elemento di confinamento per le acque sotterranee.
5. **Complesso piroclastico inferiore**, costituito da piroclastici sciolte prevalentemente sabbiose con subordinati livelli tufacei. Nell'insieme la permeabilità è alta e di fatto, costituisce l'acquifero produttivo più significativo della Piana Campana.
6. **Complesso argilloso-sabbioso**, costituito da argille e argille con sabbie piroclastiche. Il grado di permeabilità è variabile da molto basso a nullo e rappresenta il livello di base degli acquiferi profondi.

Sempre nell'ambito della idrogeologia regionale, la struttura dell'acquifero profondo, è composita e articolata: i sedimenti piroclastici, permeabili, che lo costituiscono presentano, infatti, frequenti variazioni granulometriche sia in senso verticale sia in senso laterale. Per questo motivo, quindi, è difficile che s'individuino livelli di bassa permeabilità, sufficientemente continui, da frazionare l'acquifero in più strati distinti. La falda tende, comunque, a interdigitarsi in più livelli, corrispondenti ai depositi grossolani distribuiti a varie altezze stratigrafiche e variamente interconnessi, ma conservando sempre carattere di omogenea unicità.

Nell'area di studio, di contro, la sequenza litostratigrafica mette in evidenza la presenza di due corpi acquiferi separati da un livello a permeabilità molto ridotta. Il primo, definito dal complesso delle piroclastiti superiori, caratterizzati da limi prevalentemente sabbiosi e subordinatamente argillosi, ha un regime stagionale con modesti accumuli idrici a volte effimeri e comunque di scarso interesse idrogeologico. La composizione granulometrica determina un grado di permeabilità media tendente al basso per la prevalente presenza, a luoghi, di porzioni a struttura granulare fine. Il livello di base del primo acquifero è definito dal complesso tufaceo grigio che con la sua bassa permeabilità primaria e secondaria consente l'accumulo delle acque d'infiltrazione.

Il secondo acquifero, costituito dal complesso piroclastico inferiore, accoglie la falda principale, più profonda e produttiva ed è caratterizzato da una permeabilità medio-alta.

Il livello di base del secondo acquifero è costituito dal complesso argilloso-sabbioso rappresentato da tipi litologici prevalentemente impermeabili composti da argille e argille con sabbie piroclastiche.

E' possibile, dunque, ritrovare la falda profonda, in pressione, a una quota di circa quaranta metri dal piano campagna con il deflusso idrico che avviene prevalentemente lungo la direzione E-W con quote piezometriche variabili tra 2 e 16 metri sul livello del mare e un gradiente piezometrico pari a circa l'1%.

### **3.3 Idrologia e idrogeologia di dettaglio dei siti esaminati**

La zona in esame ricade nell'unità idrogeologica del Volturno-Regi Lagni la quale è delimitata a NW dalla struttura vulcanica del Roccamonfina e dal monte Massico, a NE dai massicci cartonatici, a SE dai Campi Flegrei e dal Somma-Vesuvio e dal mare a SW.

Nell'area di specifico interesse non sono presenti corsi d'acqua principali o bacini lacustri, i più prossimi sono l'Alveo dei Camaldoli, che scorre circa 3 km a sud dei siti che saranno interessati dagli impianti fotovoltaici, ed il Lago Patria che è posto ad ovest dei siti ad una distanza variabile dai 3 km (Campo 2 Sud) ai 6 Km (Campo 1 Nord). Sono presenti, invece, numerosi fossi e piccoli corsi d'acqua che drenano l'intera zona.

In questa unità idrogeologica è possibile rinvenire una prima falda freatica, che viene alimentata preferenzialmente dagli apporti zenitali diretti e nei settori topograficamente depressi, anche per drenanza. La falda superficiale è in generale poco produttiva in quanto, specie nelle aree di basso morfologico, in affioramento si rinvenivano prevalentemente depositi limoso-argillosi. Al contrario, nelle stesse aree, le falde sottostanti presentano in genere una buona produttività e sono spesso caratterizzate dal fenomeno dell'artesianesimo.

Il complesso piroclastico-alluvionale superiore, costituito da cineriti e depositi fluviali a granulometria variabile da media a fine, è caratterizzato complessivamente da una permeabilità bassa con punte di permeabilità medio-alta in corrispondenza della frazione ghiaioso sabbiosa, coincidente con tasche di pomici e lapilli.

Il Complesso tufaceo è caratterizzato da una permeabilità bassa o nulla in corrispondenza dei tratti a consistenza lapidea, mentre, laddove lo stesso presenta un grado di diagenesi inferiore, o dove sono presenti fessurazioni, il grado permeabilità aumenta. Il complesso tufaceo rappresenta un ruolo idrogeologico di fondamentale importanza, infatti, se nel complesso prevalgono le caratteristiche di minore permeabilità, esso costituisce il substrato per le falde accolte nei materiali che lo sovrastano nonché l'elemento di sconfinamento per acque sotterranee più profonde.

La grande variabilità litologica e strutturale sia verticale che laterale dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area esaminata, sede dell'acquifero, quindi, determina un corpo idrico a falde sovrapposte, variamente tra loro interferenti idraulicamente e solo localmente confinate da depositi più litoidi e/o impermeabili come il TGC.

Tale acquifero presenta caratteristiche di elevata vulnerabilità (Corniello *et al.*, 1999; ENEA, 2002) che, unita all'alta pressione antropica e al fenomeno dello smaltimento incontrollato dei rifiuti e conseguenti roghi degli stessi (Terra dei Fuochi) in aree permeabili e non isolate idraulicamente dalla falda acquifera, costituisce un forte elemento di criticità per ambiente e salute dell'area comunale.

Uno studio eseguito dalla *Geoproject s.a.s.* per l'elaborazione del *Piano di Caratterizzazione della discarica "Masseria del Pozzo"*, posta nell'area limitrofa a quella di specifico interesse, ha eseguito indagini specifiche per la ricostruzione dell'andamento della falda, quali una tomografia geoelettrica e dei Sondaggi Elettrici Verticali (SEV).

La tomografia geoelettrica permette la misura della resistività dei terreni in cui è stata immessa una corrente continua. I risultati ottenuti sono i seguenti:

- da 0,0 m a -25,0 m la resistività è compresa tra 80 ohm x m e 50 ohm x m, strato attribuibile a materiale di natura piroclastica;
- da -25,0 m a circa -45,0 m il valore della resistività risulta essere compreso tra i 50 ohm x m e i 15 ohm x m. Anche in questo caso strato attribuibile a materiale di natura piroclastica;
- tra i -45,0 m e i -55,0 m si registra un abbassamento della resistività dai 15 ohm x m ai 5 ohm x m, che denota la presenza di falda idrica.

Anche i risultati dei SEV hanno fornito l'andamento della variazione di resistività con la profondità ottenendo una conseguente sismostratigrafia. Tale elaborato conferma le evidenze dirette e i risultati della suddetta tomografia, individuando un unico livello di resistività compreso tra 0 m e -50 m e un netto decremento al disotto di tale quota. Tale abbassamento è correlabile alla presenza della falda idrica, attestata quindi, ad una profondità dal piano campagna di circa 50 m.

L'area in esame, come già detto, fa parte dell'acquifero della Piana Campana, caratterizzato da trasmissività media dell'ordine di  $10^{-2} - 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  e con un livello dell'altezza di falda, compreso tra 2 e 12,4 m s.l.m (Di Nardo et al., 2009). Il limite inferiore dell'acquifero coincide col passaggio al complesso argilloso-sabbioso. I valori della conducibilità idraulica K dei dati disponibili per l'area in esame risultano non univoci, variando tra  $10^{-4} \text{ m/s}$  (Di Nardo et al., 2009) e  $10^{-6} \text{ m/s}$  (ARPAC, 2008). Prove in cella edometrica, disponibili in letteratura, hanno restituito un valore della conducibilità pari a  $10^{-6} \text{ m/s}$ ; tali prove sono tipicamente effettuate su provini di dimensioni ridotte che non possono rappresentare la complessità dell'intero strato di terreno.

Di conseguenza, tale valore potrebbe risultare poco realistico, essendo, inoltre, presenti sul territorio numerosi pozzi ad uso agricolo dai quali gli agricoltori sono in grado di emungere acqua per irrigazione in portate ben superiori a quelle che sarebbe possibile emungere con un tale valore di K.

Ciò fa pensare che il terreno presenta un alto grado di fratturazione e che tali fratture, di conseguenza, aumentano sensibilmente il valore della conducibilità idraulica (Viparelli, 1978).

Al fine di effettuare valutazioni sul verso di deflusso della falda e sulla piezometria dell'area oggetto di studio, sono state effettuate diverse campagne di misura in due punti di prelievo presenti nei lotti di terreno interessati dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico.

A partire dal piano campagna, si è individuato una Falda di base ad una profondità media dal piano campagna di circa quaranta metri, ospitata da uno strato di sabbia limosa. Il deflusso ha direzione principale si ha verso mare (Fig. 17).

Tale falda, la principale del complesso idrogeologico Occidentale-Flegreo, trae alimentazione da un'area di alto piezometrico compreso tra l'abitato di Marano ed il retroterra di Pozzuoli, dove si rinvengono numerose conche endoerliche responsabili della riduzione delle aliquote d'acqua di ruscellamento.

Ciò è confermato dalla misura diretta effettuata dagli scriventi in alcuni pozzi presenti nei lotti di terreno interessati dalla realizzazione degli impianti fotovoltaici.

In particolare, in un pozzo ubicato nell'area denominata "Campo 1 Nord" (Foto 7), posto ad una quota di 54 m s.l.m., è stata riscontrata la falda ad una profondità di 38 m dal piano campagna attuale, mentre in due pozzi presenti nell'area denominata "Campo 2 Sud" (Foto 8-9), posti ad una quota di 40 m s.l.m., la falda è stata rinvenuta alla profondità di 37,5 m dal piano campagna.



*Foto 7 – Misura della falda freatica in un pozzo ubicato nel lotto di terreno "Campo 1 Nord"*



*Foto 8 – Misura della falda freatica in un pozzo ubicato nel lotto di terreno “Campo 2 Sud”*



*Foto 9 – Misura della falda freatica in un pozzo ubicato nel lotto di terreno “Campo 2 Sud”*



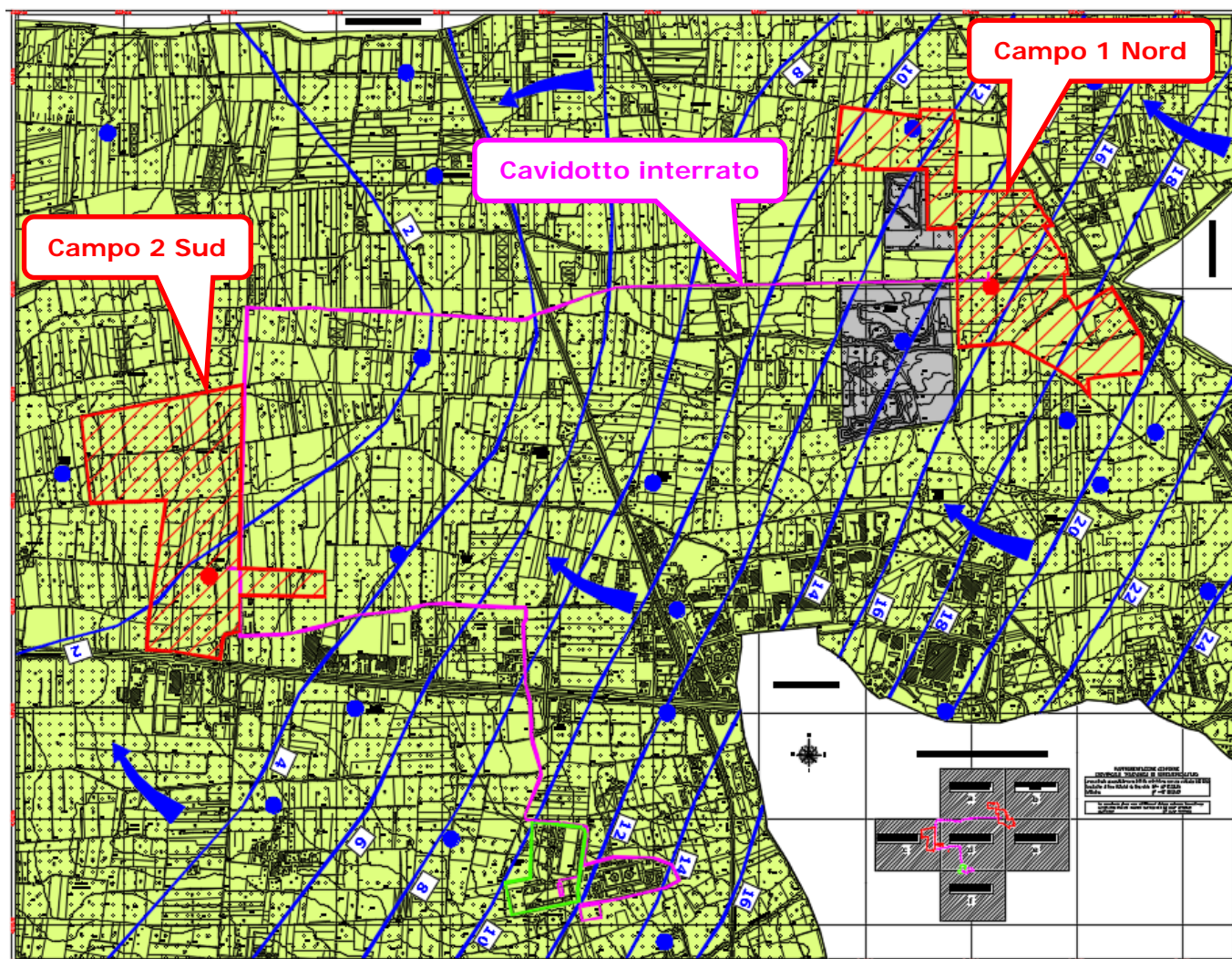
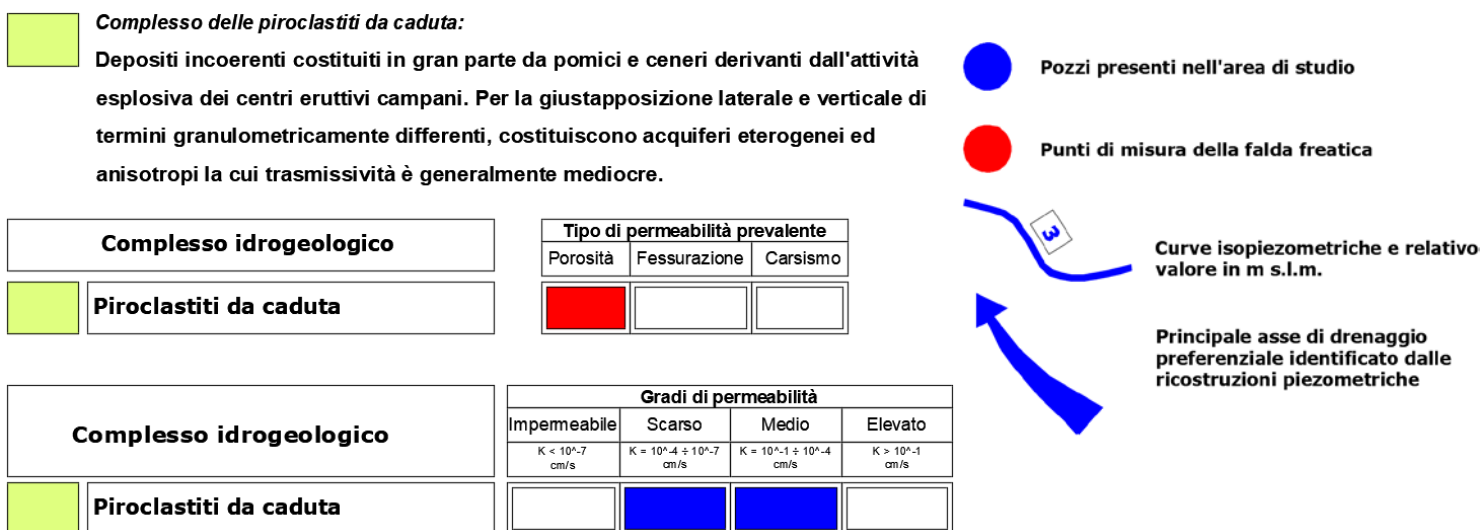


Fig. 17 - Carta idrogeologica dell'area in esame

### Legenda



### 3.4 Geomorfologia e stabilità dell'area di studio

Il territorio comunale, con un'estensione di circa 94 kmq, si presenta morfologicamente pressoché pianeggiante e rientra in quella che costituisce la cosiddetta Piana Campana, leggermente degradante verso ovest, a partire dalla quota 100 metri s.l.m. in prossimità dell'abitato di Giugliano, fino a 5-10 metri s.l.m. in corrispondenza delle aree depresse del Lago Patria. Il contesto pianeggiante dell'area in esame risulta interrotto da diversi siti, cavità createsi a seguito dell'estrazione di pozzolana, adibiti a discarica e che a causa della continua coltivazione, assumono la tipica conformazione a "rilevato".

L'area di studio, in quanto parte dell'unità fisiografica della Piana Campana, presenta una superficie topografica sub-orizzontale con quote assolute intorno ai 40-55 metri sul livello del mare; le pendenze medie sono intorno all'1%. Non sono presenti rotture di pendenza né movimenti di tipo tettonico in atto, infatti tale morfologia si mantiene inalterata verso N e W fino al mare con pendenze inferiori all'1% mentre verso S termina in corrispondenza dei rilievi dei Campi Flegrei. La suddetta morfologia del territorio, in generale piuttosto dolce, diventa aspra in corrispondenza di numerose piccole incisioni torrentizie che confluiscono nel principale alveo dei Camaldoli, il quale pur essendo un alveo artificiale è impostato lungo una linea di drenaggio preferenziale e demarca, inoltre, il confine naturale con i territori circostanti.

Le incisioni menzionate, denominate localmente *Cavoni*, rappresentano processi di erosione lineare operati dalle acque meteoriche e di ruscellamento, che non potendosi infiltrare nei terreni pozzolanici, poco permeabili, confluiscono verso queste linee preferenziali di drenaggio, approfondendole con un processo molto lento ma costante nel tempo.

Non si notano segni di instabilità superficiale né tanto meno è segnalata la presenza di cavità sotterranee che potrebbero dar luogo a pericolose, anche se molto localizzate, forme di dissesto.

I siti di specifico interesse, soprattutto nella parte più superficiale, come detto nei paragrafi precedenti, sono geologicamente composti da depositi di prevalente natura piroclastica, messi in posto, con meccanismi differenti, sia dalle alterne fasi deposizionali legate al vulcanismo esplosivo che, dal Pleistocene ad oggi, hanno interessato l'area Campana, e sia dai fenomeni di erosione e trasporto e deiezione che hanno agito su tali terreni e sui litotipi che formano i rilievi circostanti.

Gli stessi siti, proprio perché sono a debolissima pendenza, fanno registrare condizioni di equilibrio soddisfacenti in quanto costituiti da coltri di terreni sciolti recenti, con disposizione geomorfica pianeggiante. Le aree che saranno interessate dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono da ritenersi, dunque, stabili sia per le condizioni di giacitura primaria e secondaria delle formazioni geolitologiche presenti nel sottosuolo e sia per il grado di acclività della morfologia (bassissima pendenza).

Ciò è confermato anche dalla Carta Inventario dei Fenomeni Franosi dell'ex Autorità di Bacino regionale Campania Centrale, la quale non individua fenomeni franosi potenziali o in atto nella zona di studio.

## 4. Pericolosità geologica dell'area di studio

### 4.1 Normativa di riferimento

Il **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale** ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, le norme d'uso del suolo e gli interventi riguardanti l'assetto idrogeologico del territorio di propria competenza. Tale Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico, ai sensi della vigente normativa di settore:

- a) *individua le aree a rischio idrogeologico molto elevato, elevato, medio e moderato, ne determina la perimetrazione, stabilisce le relative prescrizioni;*
- b) *delimita le aree di pericolo idrogeologico quali oggetto di azioni organiche prevenire la formazione e l'estensione di condizioni di rischio;*
- c) *indica gli strumenti per assicurare coerenza tra la pianificazione stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico e la pianificazione territoriale della Regione Campania, anche a scala provinciale e comunale;*
- d) *individua le tipologie e la programmazione degli interventi di mitigazione o eliminazione delle condizioni di rischio e delle relative priorità, a completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti.*

Ai fini di una corretta interpretazione delle norme e degli elaborati di piano si assumono le definizioni di seguito riportate:

- a) Pericolosità idrogeologica: probabilità di occorrenza di un fenomeno di tipo idraulico entro un dato intervallo di tempo ed in una data area;
- b) Pericolosità relativa (susceptibilità) da frana: previsione spaziale, tipologica, dell'intensità e dell'evoluzione del fenomeno franoso;
- c) Rischio idrogeologico: entità del danno atteso in una data area ed in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un fenomeno di tipo idraulico e/o gravitativo di versante (frana) secondo la seguente formulazione:

$$R = P \times E \times V = P \times D_p$$

dove:

- P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- E (elementi esposti): persone e/o beni e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
- $D_p$  (danno potenziale): grado naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;

- d) Rischio atteso: il nuovo livello di rischio prodotto dalla variazione, in una data area, di uno o più fattori determinano il grado di rischio esistente;
- e) Rischio accettabile: il livello di rischio conseguente alla nuova realizzazione di opere e/o attività che non superi il valore di R2, secondo la definizione di cui al D.P.C.M. 29 settembre 1998, e tale che i costi che gravano sulla collettività per lo stato di rischio che si andrà a determinare siano minori dei benefici socioeconomici conseguiti dall'opera o dall'attività;
- f) Pericolosità residua: il livello di pericolosità che persiste in una data area a seguito della realizzazione di un intervento di sistemazione idrogeologica;
- g) Ambito morfologico significativo: l'intera area caratterizzata dallo sviluppo di un fenomeno di dissesto idrogeologica, anche potenziale, che determina la pericolosità da frana;
- h) Rischio residuo: il livello di rischio che persiste in una data area a seguito della realizzazione di un intervento di sistemazione idrogeologica;
- i) Area di attenzione: area oggetto di intervento di mitigazione della pericolosità e del rischio, che necessita di continuo monitoraggio per la verifica dell'efficienza delle opere;
- j) Area di cava: area interessata da potenziali fenomeni franosi il cui livello di rischio è assunto precauzionalmente come massimo;
- k) Reticolo idrografico superficiale: l'insieme dei corsi d'acqua e delle aste torrentizie, con esclusione dei sistemi di drenaggio artificiali, che convogliano le acque superficiali e che nella cartografia del presente Piano sono indicati come: "reticolo idrografico", "aste incise", "alveo strada" e "tratto tombato";
- l) Versanti occupati interamente da interventi antropici – aree di versante in cui è venuto meno l'assetto naturale originario per l'esistenza di rilevanti interventi antropici che hanno profondamente modificato e alterato l'originaria configurazione morfologica;
- m) Alveo strada: elemento a rischio idraulico molto elevato per la compresenza di funzioni idrauliche ed antropiche
- n) Opere in sotterraneo: manufatti costruiti totalmente nel sottosuolo mediante operazioni coordinate di asportazione del terreno e/o roccia in posto e di messa in opera degli eventuali interventi di stabilizzazione delle cavità;
- o) Opere interrato: manufatti costruiti al di sotto dell'originario piano campagna previo sbancamento a cielo e successivo rinterro;
- p) Categorie degli insediamenti: nel presente Piano si è utilizzata la classificazione delle tipologie di insediamento in conformità alle definizioni ISTAT;

Case sparse - Case disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.

Nucleo abitato – Località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue o vicine, con almeno cinque famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzi, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purchè l'intervallo tra casa e

casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

Centro abitato - Aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (quali, ad esempio una chiesa regolarmente officiata, una scuola, una stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, un ufficio pubblico, una rivendita di generi di privativa, una farmacia o un dispensario farmaceutico, un negozio e simili) costituenti la condizione autonoma di una forma di vita sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sogliono concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso.

- q) Zone territoriali omogenee: Nell'ambito del presente Piano, anche ai fini della valutazione del danno atteso, si è utilizzata la classificazione convenzionale del territorio in zone omogenee di cui al D.M. 1444/68.
- r) Definizione degli interventi di carattere urbanistico-edilizio: ai fini dell'applicazione della presente normativa, per ragioni di omogeneità a scala di bacino, l'individuazione degli interventi di tipo urbanistico-edilizio ammissibili nelle aree a diversa pericolosità idrogeologica è riferita alla classificazione di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 380 e ss.ii.mm. che per le finalità proprie delle presenti norme, devono intendersi prevalenti rispetto alle prescrizioni contenute negli urbanistici comunali vigenti; infatti i divieti ed i limiti delle presenti norme vanno riferiti alla natura sostanziale dell'intervento, a prescindere dalla classificazione in cui gli stessi sono ascritti in base ai singoli strumenti urbanistici.
- s) Carico insediativo e Carico urbanistico (aumento del): si intende per Carico insediativo tutto quanto riguarda gli insediamenti umani, la distribuzione ed il raggruppamento delle dimore dell'uomo che possono essere di tipo produttivo, residenziale, turistico-ricettivo. Il concetto di carico insediativo può essere legato a quegli aspetti relativi agli "oggetti" fisici realizzati dall'uomo e finalizzati all'espletamento di tutte le attività ad essi connesse, siano esse di tipo abitativo, produttivo o inerenti lo svago ed il tempo libero. Il carico urbanistico, è l'effetto che viene prodotto dall'insediamento primario (residenziale, produttivo, turistico-ricreativo, etc..) come domanda di strutture ed opere collettive, in dipendenza del numero di abitanti insediati su un determinato territorio.

Studi specifici di approfondimento realizzati dall'ex Autorità di Bacino Regionale Campania Centrale hanno individuato aree di pericolo e di rischio da dissesti di versante, nonché differenti pericolosità idrauliche generanti rischio idraulico.

***Nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico predisposto dalla suddetta Autorità di Bacino, adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015), l'area di studio non ricade in aree perimetrate a Pericolosità e/o Rischio da frana, così come non ricade in aree perimetrate a Pericolosità e/o a Rischio idraulico.***

Zone a moderata pericolosità per allagamento ed esondazione sono segnalate in corrispondenza del nuovo Alveo dei Camaldoli, a queste si aggiungono numerosi punti di possibile crisi idraulica (AdB Nord Occidentale della Campania, 2002) generalmente ubicati nell'area dei canali costieri meridionali e lungo l'alveo dei Camaldoli, di solito in corrispondenza di sezioni idrauliche ridotte o parzialmente ostruite.

Pericolosità di tipo idraulico per fenomeni di trasporto liquido e solido da alluvionamento sono inoltre da segnalare nelle aree di cava in cui viene estratta l'unità pozzolanacea del TGN, ad esempio nelle aree poste a NW della loc. Monteleone, dove la suscettibilità a tali fenomeni è alta (cfr. AdB Nord Occidentale della Campania, 2002) e dove altro elemento di criticità è rappresentato dalla presenza di una strada in coincidenza di un alveo (alveo-strada).

## 4.2 Rischio vulcanico

La porzione sud-occidentale del territorio comunale di Giugliano in Campania, rientrando parzialmente nell'area dei Campi Flegrei, risulta ad elevata pericolosità vulcanica perché soggetta alla possibilità di invasione da parte di flussi piroclastici ed è suscettibile di evacuazione in caso di eruzione (*Regione Campania, 2018*).

In questo contesto preme sottolineare che presso l'Osservatorio Vesuviano è attivo un sistema di sorveglianza che consente il controllo continuo dei fenomeni precursori di ripresa dell'attività vulcanica, con l'obiettivo di permetterne una previsione a breve termine.

La mappa di pericolosità vulcanica dei Campi Flegrei (Fig. 18), mette in evidenza, inoltre, le aree comunali flegree che ricadono in Zona Gialla, ovvero che possono essere soggette a carichi di 300 kg/mq per accumulo fino a 30 cm di prodotti piroclastici di caduta nell'eventualità di eruzioni a carattere esplosivo di media intensità.

Il Comune di Giugliano in Campania risulta per la gran parte solo adiacente a tale zona, eccetto per la sua porzione sud-occidentale che rientra anche nell'area di caduta delle piroclastiti.

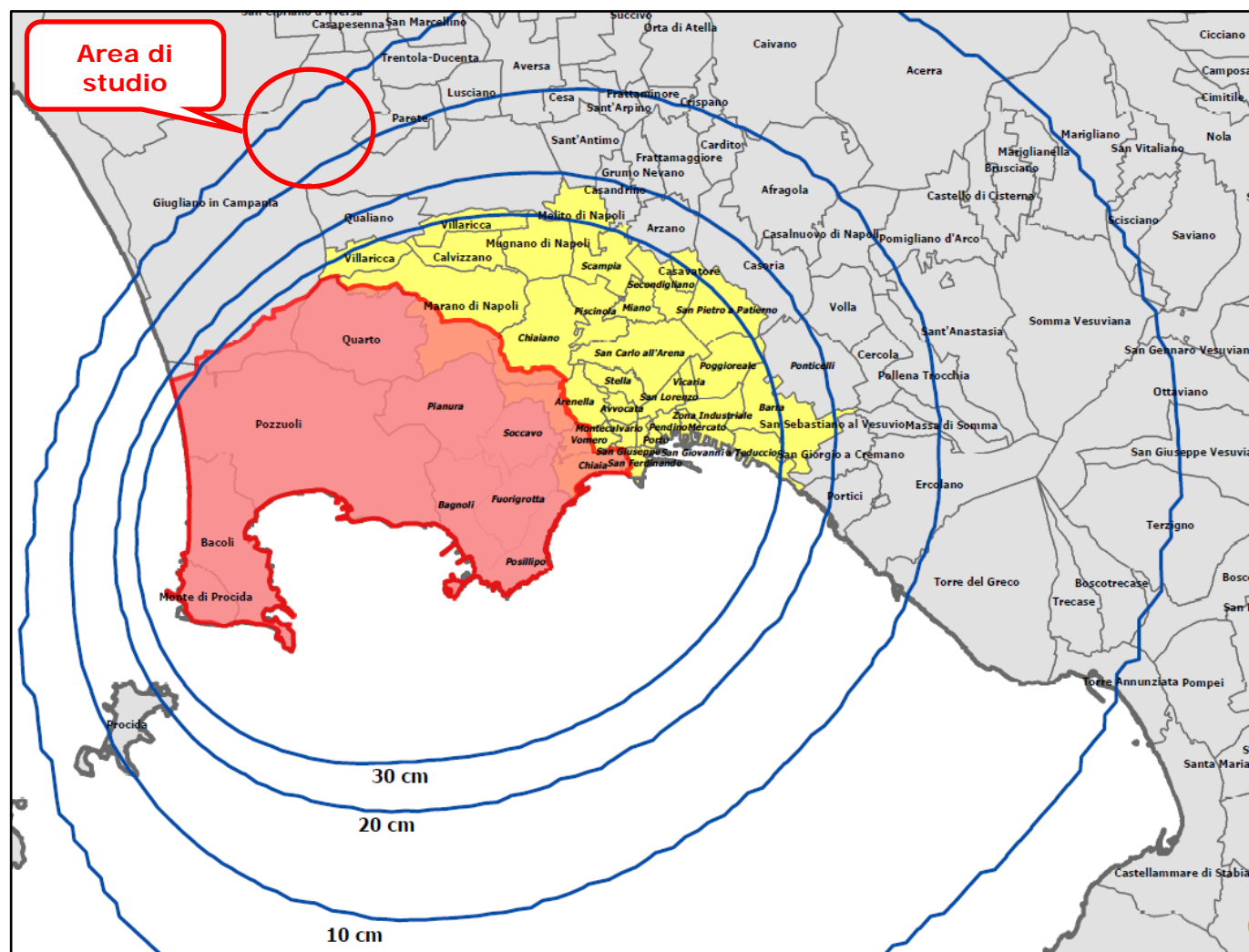


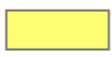





Fig. 18 – Campi Flegrei: Mappa del carico da cenere con probabilità di superamento del 5%  
(Aggiornamento 2015)

### Legenda

-  Curva pericolosità ceneri 300 Kg/m<sup>2</sup> prob. 5% - Eruzione taglia MEDIA
-  Zona rossa Regione Campania (Del. Reg. n.669 del 23/12/2014)
-  Zona Gialla 2015
-  Municipalità del Comune di Napoli (2011)
-  Limiti comunali (2011)
-  Limiti regionali (2011)

## 5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica

### 5.1 Assetto stratigrafico generale dell'area di studio

Una corretta ricostruzione della stratigrafia e della struttura generale della Piana Campana è stata eseguita in precedenti ricerche, attraverso studi geologici regionali finalizzati ad inquadrare l'evoluzione di quest'area in quella del margine occidentale della Catena Appenninica.

Questi studi sono stati integrati, con le ricostruzioni delle stratigrafie di sondaggi profondi e con indagini geoelettriche. L'analisi dei campioni di terreno, dei vari sondaggi presi in esame, hanno messo in evidenza vari elementi stratigrafici e litologici di notevole importanza anche per gli aspetti idrogeologici (Fig. 19).

In tutta l'area, tranne che in una ristretta fascia del basso corso del fiume Volturno, si è rinvenuta nel sottosuolo la formazione ignimbratica del "Tufo Grigio Campano", nota in affioramento specie lungo i margini della Piana Campana e, generalmente, ricoperta da terreni sciolti, piroclastici ed alluvionali recenti, di spessore variabile da qualche metro ad oltre 15-20 metri. L'area da cui si sarebbe originata la formazione ignimbratica (circa 35.000 anni fa) viene posta nella zona compresa tra i Campi Flegrei ed il Lago di Patria.

La presenza di tale formazione, che costituisce un ottimo livello guida nel sottosuolo di tutta la Piana Campana, ha consentito di effettuare la ricostruzione della stratigrafia e della struttura con buona precisione. E' stato così possibile elaborare una carta strutturale del tetto ed una carta delle isopache relative al Tufo Grigio Campano.

L'analisi delle carote prelevate nei sondaggi ha messo in evidenza un altro elemento importante rappresentato dalla presenza di lave scoriacee e compatte, sovrapposte, intercalate e sottoposte al Tufo Grigio Campano, in una vasta area compresa fra il Lago di Patria, Aversa, Giugliano e Casoria. Lo spessore di questi corpi lavici varia da circa 1,0 metri a circa 7,0 metri.

La ricostruzione della stratigrafia e delle caratteristiche dei primi 100-200 metri di sottosuolo ha messo in evidenza che non si hanno, in tutta l'area studiata, livelli di argilla continui arealmente.

Il sottosuolo della Piana Campana è costituito quindi, almeno per i primi 100-200 metri, da terreni caratterizzati da una permeabilità relativa variabile da elevata a medio-bassa e senza livelli impermeabili continui.



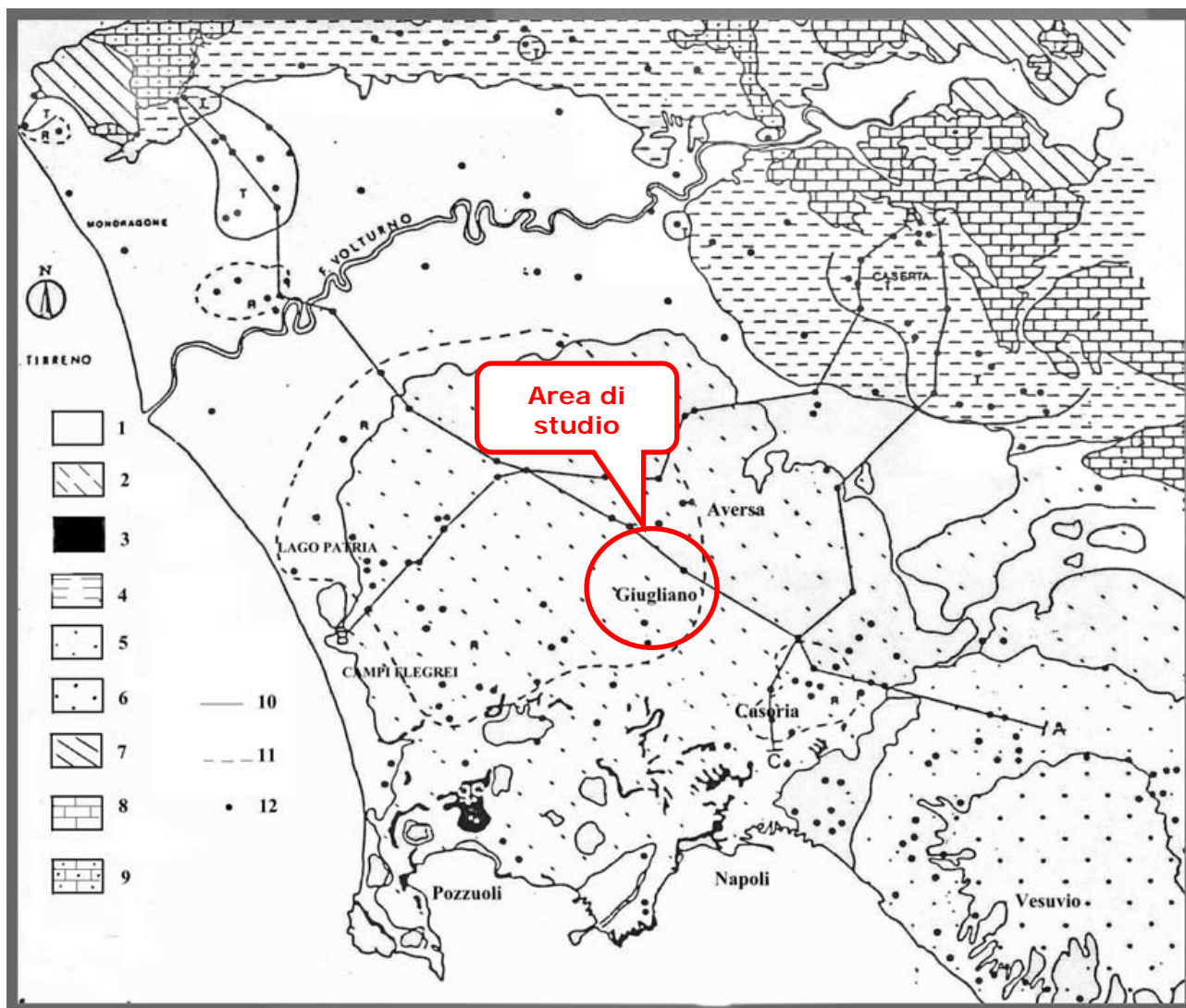


Figura 19 – Schema geologico della Piana Campana (da Ortolani & Aprile, 1985) 1) Alluvioni recenti; 2) Piroclastiti recenti dei Campi Flegrei; 3) Tufo giallo; 4) Tufo grigio; 5) Piroclastiti del Somma Vesuvio; 6) Lave e piroclastiti del Somma Vesuvio; 7) Arenarie, argille e marne mioceniche; 8) Calcari e dolomie della piattaforma Campano-Lucana; 9) Calcari e dolomie della piattaforma Abruzzese-Campana; 10) Travertino presente nel sottosuolo; 11) Lave a piccola profondità; 12) Perforazioni; A-A') Traccia di sezione

Dall'andamento del tetto del Tufo Grigio Campano, si osserva un aumento della profondità di quest'ultimo dalle zone circostanti la Piana Campana verso il corso del fiume Volturno; la massima profondità si raggiunge nella parte terminale del corso (- 20 m s.l.m.). Il tipo chimico del Tufo Grigio Campano è molto preciso e costante: trattasi, infatti, di una piroclastite alcalitrachitica potassica, la cui composizione è stata leggermente modificata da fenomeni di zeolitizzazione responsabili di un leggero aumento di CaO e di MgO, oltre che di un forte incremento di H<sub>2</sub>O.

La morfologia attuale del suolo riproduce a grandi linee l'andamento del Tufo Grigio a NW dell'allineamento Napoli-Caserta; a SE di tale allineamento ad un'immersione generale del tetto del tufo verso il Vesuvio corrisponde un andamento topografico superficiale opposto.

La non corrispondenza tra l'andamento del tetto del tufo e la topografia attuale, in quest'area, si può attribuire al notevole accumulo di terreni piroclastici recenti, connessi all'attività del Somma-Vesuvio, che hanno modificato sostanzialmente la topografia preesistente. La concordanza tra l'andamento del tetto del Tufo Grigio e la topografia attuale, nella parte centro-settentrionale della Piana Campana indica che, dopo la deposizione del tufo, non si sono avuti importanti fenomeni di sedimentazione e/o subsidenza.

I terreni superficiali poggianti sul Tufo Grigio, costituiti da livelli di pozzolane, pomici e lapilli e da depositi prevalentemente cineritici, nella sola zona del Volturno, hanno uno spessore variabile da alcuni metri a circa 15 m, nella zona compresa tra Caserta, Maddaloni, Casoria ed Aversa. Nella zona del basso corso del fiume Volturno i terreni sciolti hanno spessore variabile da circa 20 m a circa 40 m.

In questa zona, tra Cancellone Arnone e Villa Literno, come in quella corrispondente alla depressione di Volla, a luoghi, non viene rinvenuta la formazione tufacea; questa mancanza è da attribuire all'azione di processi erosivi successivi alla messa in posto dell'ignimbrite (Ortolani & Aprile, 1985).

I massimi spessori del Tufo Grigio Campano, oltre che ai piedi dei monti di Caserta (circa 80 m di spessore), si ritrovano in un'area compresa tra il Lago di Patria e l'abitato di Giugliano (circa 50 m) e ad est di quest'ultimo (circa 50 m).

Osservando la carta delle isopache, si nota chiaramente un andamento dello spessore della formazione ignimbritica decrescente a partire dalle suddette zone di massimo spessore, coincidenti, in pratica, con le zone di minore profondità del tetto.

La base del tufo nell'area compresa tra Casoria, Giugliano, Caserta e Maddaloni si trova ad una quota variabile da +4 m a +12 m s.l.m. In questa stessa area il tetto presenta delle ondulazioni con quote più elevate nella zona di Caserta e di Casoria-Aversa.

Nell'area compresa tra il M. Massico ed il corso del fiume Volturno, la base del tufo presenta la massima depressione, variando da quota +8 m s.l.m. nei pressi del Massico a circa -30 m s.l.m. nei pressi del Volturno. La massima depressione corrisponde alla zona con maggiori spessori dei terreni sciolti di ricoprimento.

Si riscontra infine una depressione minore in corrispondenza del medio corso dei Regi Lagni orientata NW-SE; un'altra depressione si ha in corrispondenza della valle del Sebeto, nella zona di Volla (Figg. 20-21).

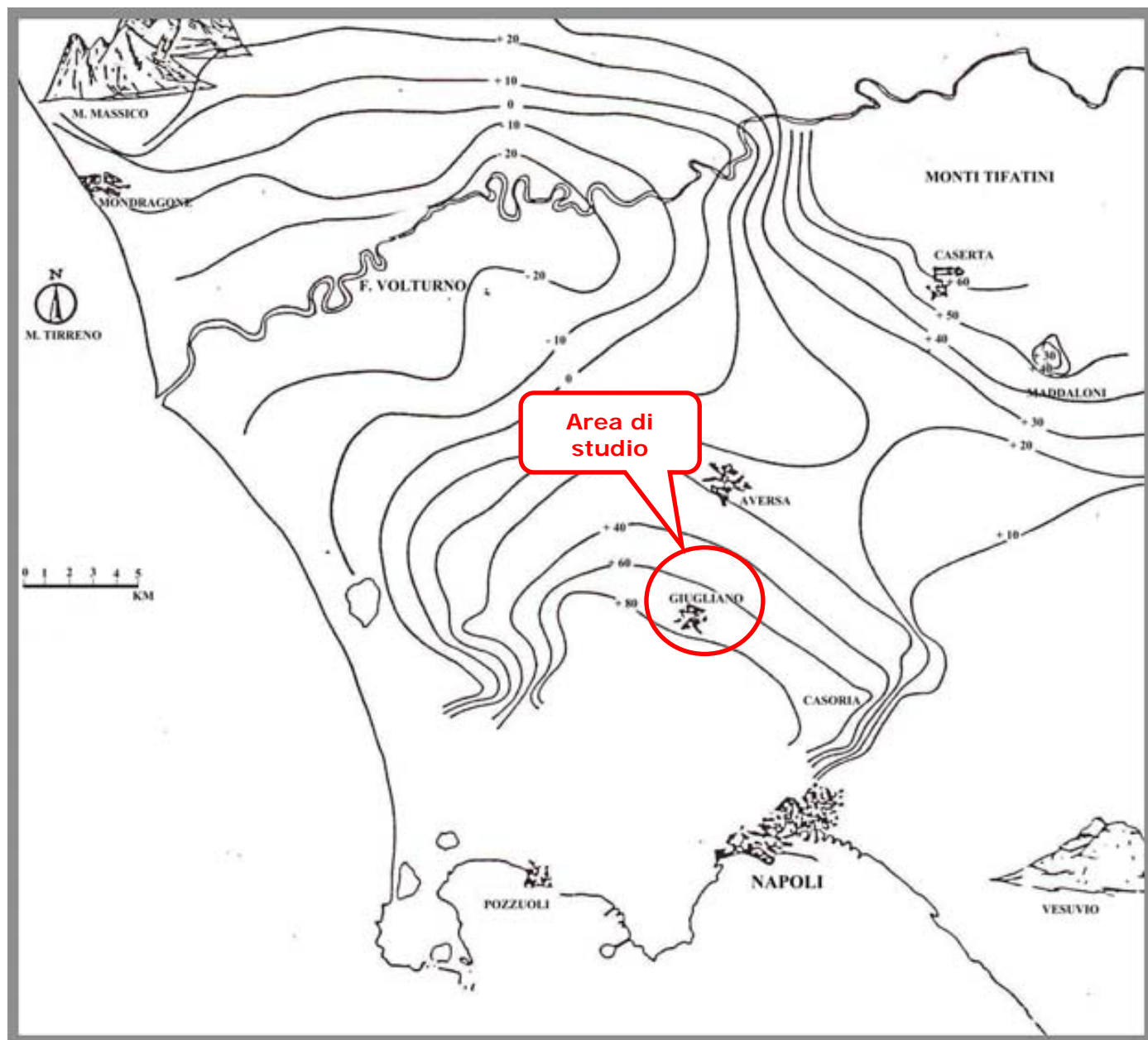


Fig. 20 – Struttura del tetto del Tufo Grigio Campano (da Ortolani & Aprile, 1985)

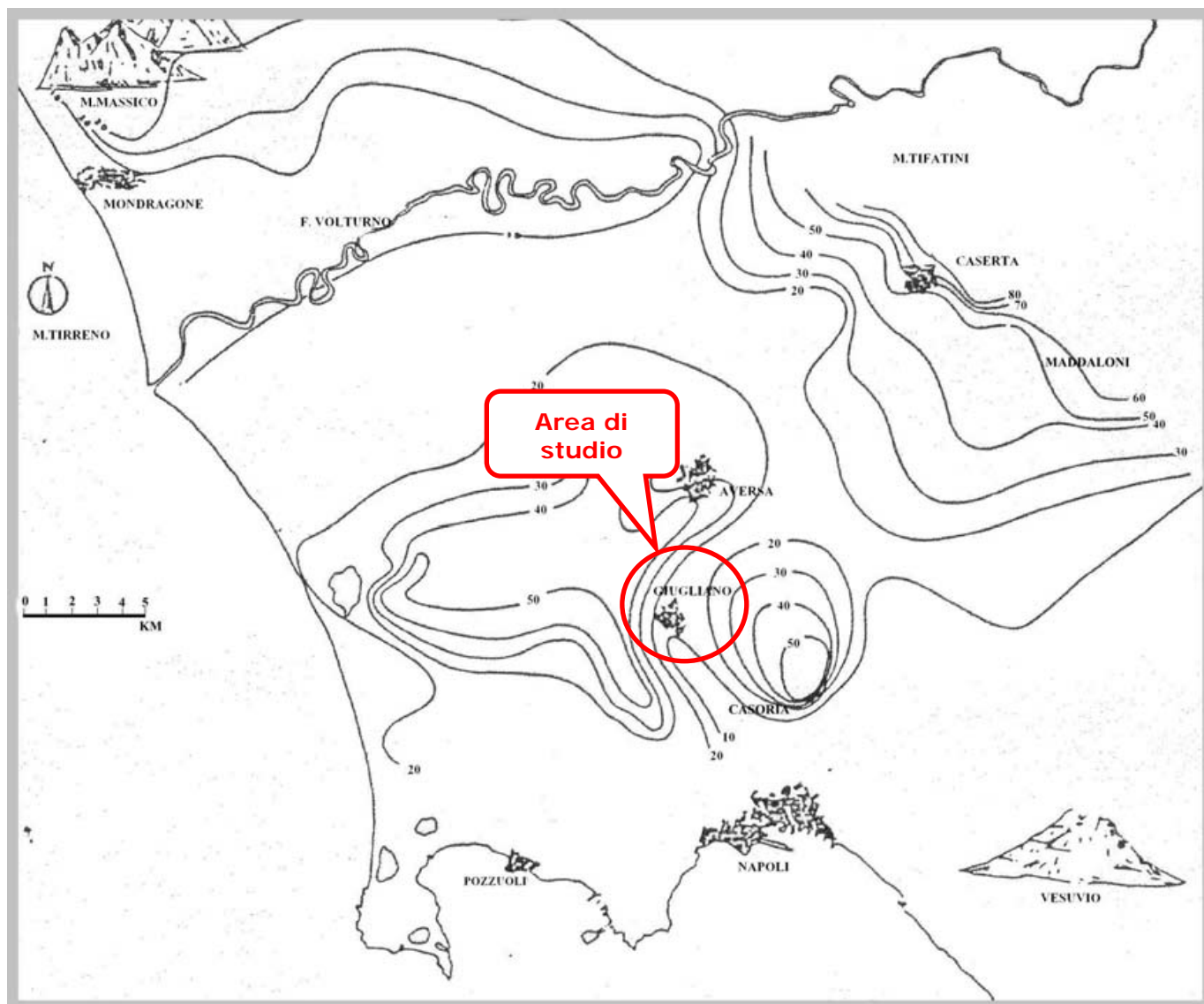


Fig. 21 – Isopache del Tufo Grigio Campano (da Ortolani & Aprile, 1985)

L'analisi dei sondaggi ha consentito di riconoscere nel sottosuolo di una vasta area, compresa fra il Lago di Patria, Aversa, Giugliano e Casoria, la presenza di corpi lavici abbastanza continui, sottoposti ed intercalati al Tufo Grigio Campano.

Per quanto riguarda la profondità del tetto di tali lave si hanno tre punti di minima profondità assoluta, in corrispondenza dell'abitato di Giugliano, fra Giugliano ed il Lago di Patria e ad est di Giugliano. A partire da queste tre località e proseguendo verso il basso del fiume Volturno si assiste ad un abbassamento costante della quota del tetto fino a circa -20 m s.l.m. (Fig. 22).

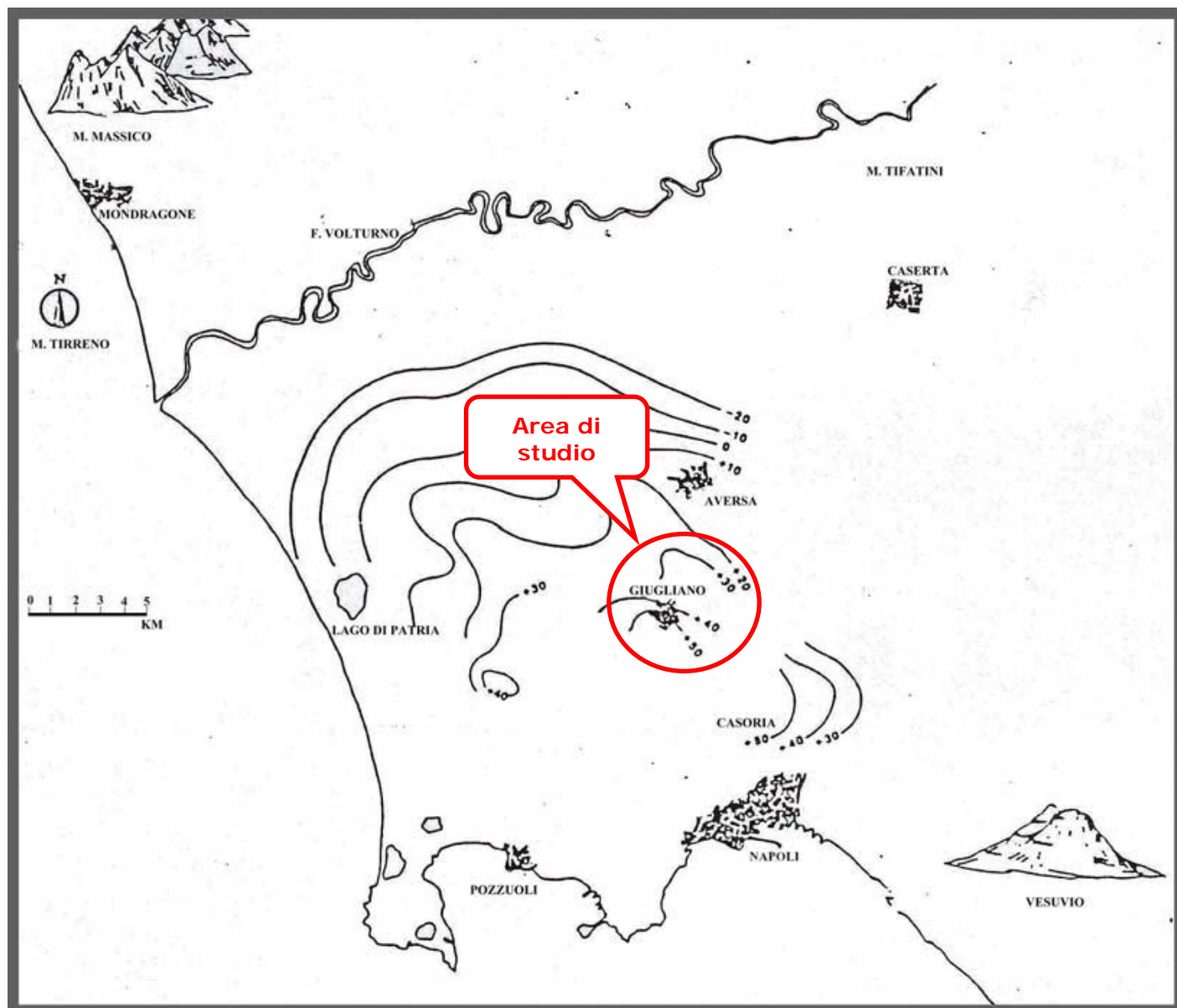


Fig. 22 – Struttura del tetto delle lave presenti nel sottosuolo a piccola profondità.

L'andamento del tetto delle lave profonde di natura calcali-andesitica mette in evidenza due ammassi lavici profondi, in un'area compresa fra il Volturno ed i Campi Flegrei, orientati complessivamente in direzione NW-SE.

Questi ammassi lavici profondi costituiscono uno o più apparati vulcanici antichi ribassati con tutta la Piana e ricoperti da terreni alluvionali e vulcanici recenti. È da notare che l'estensione areale delle lave profonde coincide, in pratica, con quella delle lave poco profonde sovrastanti, a testimonianza della continuità di attività vulcanica nella stessa zona (Fig. 23).

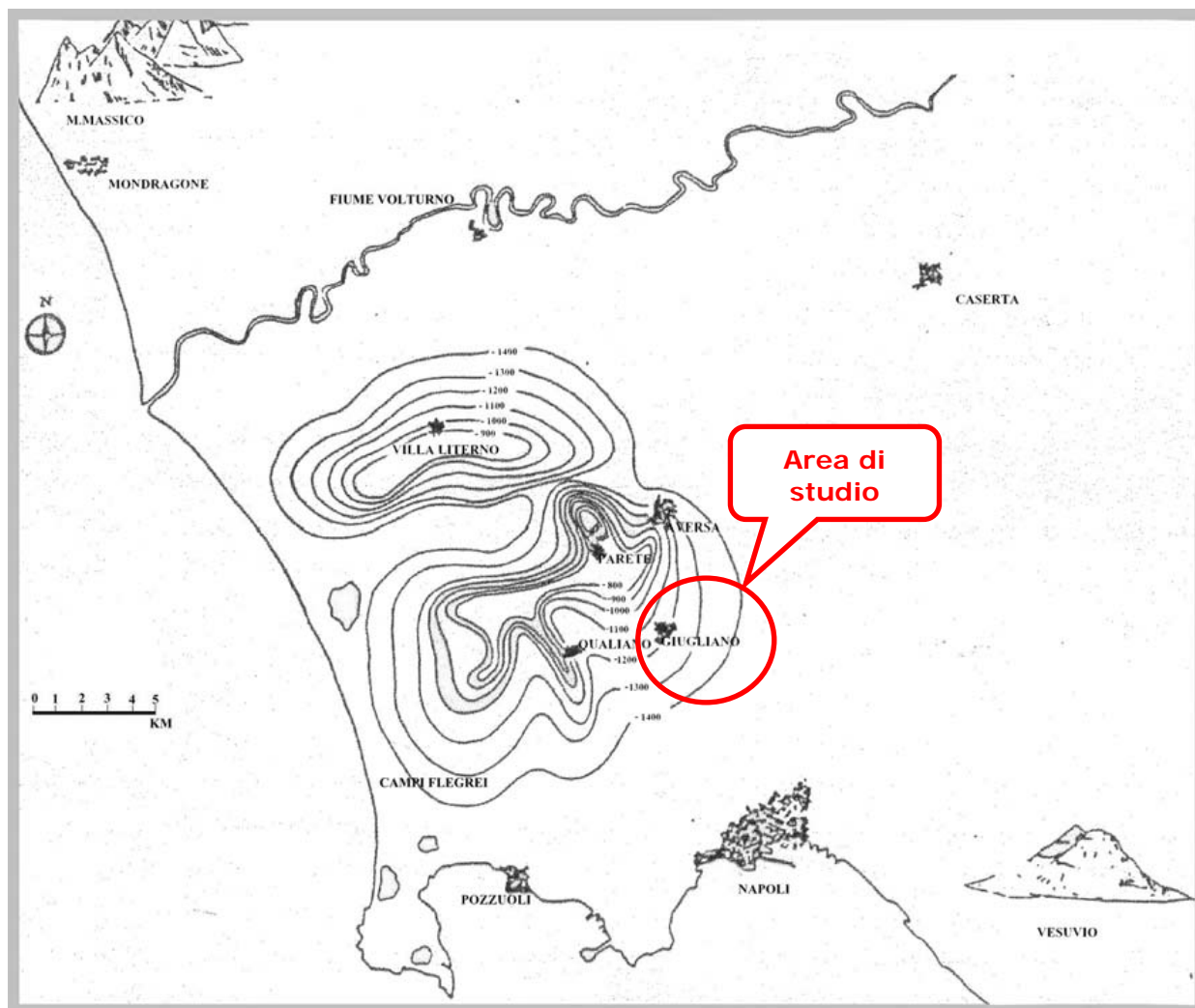


Fig. 23 – Struttura del tetto delle lave profonde (da Ortolani & Aprile, 1985)

## 5.2 Stratigrafia generale del sottosuolo delle aree esaminate

Le rocce attraversate dai geognostici a carotaggio continuo eseguiti per i lavori presi in considerazione, sopra citati, sono principalmente di origine vulcanica con intercalati sedimenti di origine non vulcanica sia continentali che marini. Tutte le sequenze carotate sono state caratterizzate litologicamente e da esse sono stati selezionati e prelevati campioni utili per effettuare analisi geochimiche e paleontologiche.

I risultati delle differenti analisi effettuate si sono mostrati molto importanti per la caratterizzazione stratigrafica di aree con scarsità di affioramenti, per la correlazione dei corpi geologici rappresentati nella carta geologica del progetto CARG e anche per la definizione della loro distribuzione sul territorio comunale di Giugliano in Campania. Inoltre la variazione di facies di sedimenti non vulcanici e la loro caratterizzazione paleontologica hanno permesso, insieme ai dati di affioramento e alla reinterpretazione di sondaggi presenti nel database del sottosuolo, di stimare le variazioni relative tra il livello del mare e del suolo o testimoniare la presenza del mare in una determinata area in un certo periodo di tempo.

Il sondaggio *S10* ubicato nel comune di Giugliano in Campania (Fig. 24) eseguito appunto nell'ambito del Progetto CARG, spinto fino alla profondità di 50 m, ha perforato terreni piroclastici alternati a paleosuoli e depositi continentali rimaneggiati. In particolare dalle carote estratte si evince che tra 1,60 e 3,60 si riconosce un deposito piroclastico grigio chiaro riferibile al subsistema di Agnano-Soccavo (VEF<sub>11</sub>) separato da sabbie di origine alluvionale (fino a 5,0 m) dai depositi piroclastici ascrivibili al subsistema di Napoli (TGN; VEF<sub>10</sub>) con uno spessore di circa 10 m.

Al di sotto, tra 15,40 e 15,80 m, si sviluppa un paleosuolo marrone che poggia su un livello piroclastico spesso circa 50 cm, che a sua volta copre un paleosuolo brunastro spesso 50 cm.

La successione fino a fine sondaggio continua con i depositi del Tufo Grigio Campano, formati fino a 22 m da livelli di breccia, da 22 a 44 m da depositi cineritici da flusso, da 44 a 46,80 m da facies pipernoide e in basso da depositi massivi da flusso grigio-violacei.

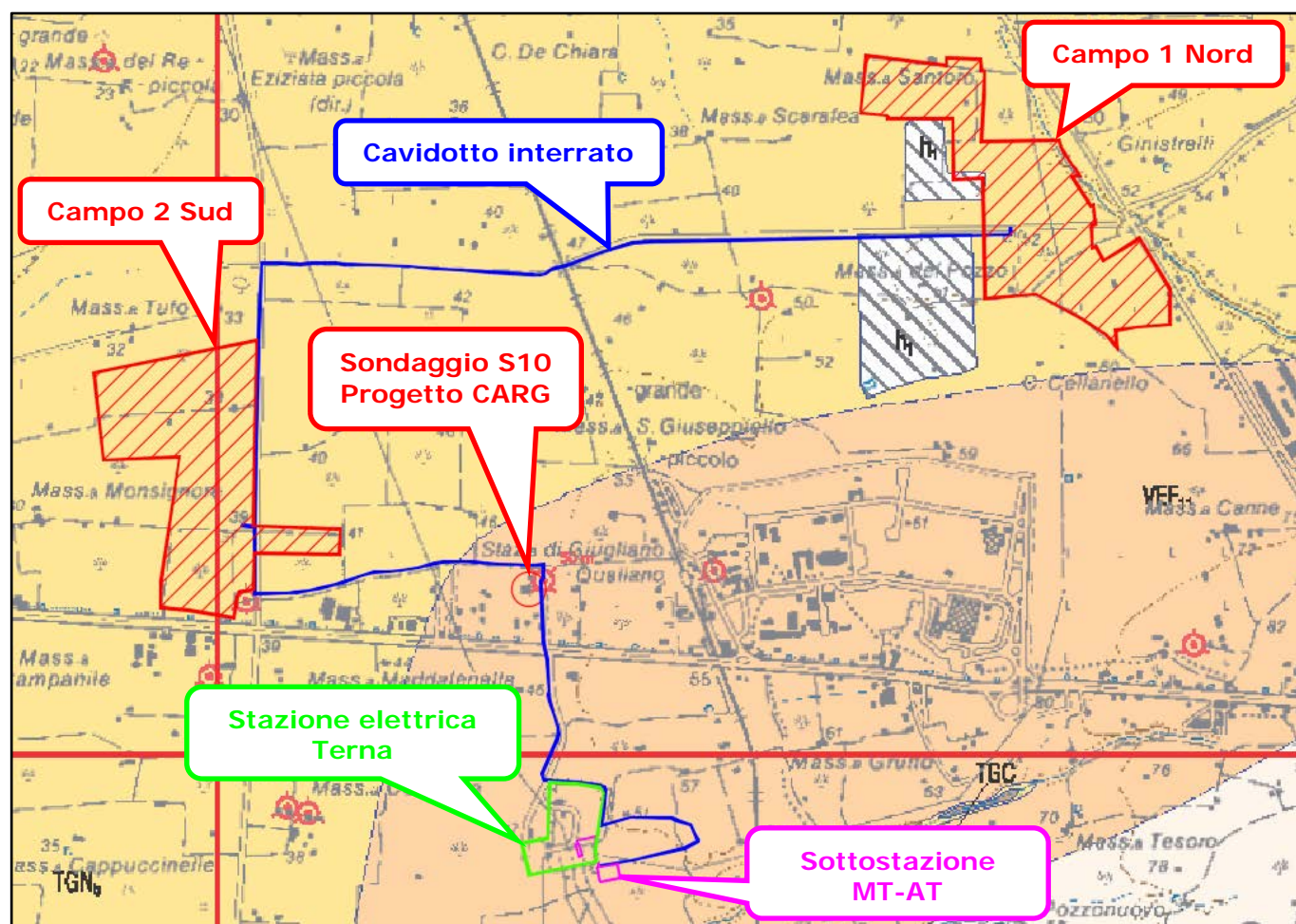


Fig. 24 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 446-447 "Napoli"

### Legenda

 sondaggio geognostico  
CARG

Le indagini eseguite dalla SOGESID nell'intorno dell'area vasta in località Masseria del Pozzo-Schiavi, nell'ambito del progetto di monitoraggio dei punti d'acqua per la caratterizzazione dei siti di discarica, hanno permesso di ricostruire la serie stratigrafica principale attraverso l'esecuzione di sondaggi spinti fino ad una profondità massima di 60 metri.

La successione stratigrafica può essere sintetizzata nei seguenti orizzonti:

- **Complesso piroclastico-alluvionale superficiale** (0,00 – 17,00 mt.), è individuato dal letto sedimentario dei Regi Lagni, raggruppa depositi di tipo fluviale costituiti prevalentemente da sabbie grossolane e ghiaie sovrapposte a materiali limosi ed argillosi. Si osserva però che i materiali alluvionali sono spesso interdigeriti ed intercalati con i materiali piroclastici, in modo che risulta praticamente impossibile una netta distinzione areale dei due complessi. Si è potuto procedere alla suddivisione stratigrafica su base granulometrica del Complesso nei seguenti orizzonti.
  - Materiale di riporto costituito da sabbia limosa di colore marrone chiaro
  - Limo sabbioso di colore variabile dal marrone scuro al nero con pomici centimetriche
  - Limo sabbioso di colore grigio avana con matrice argillosa
  - Limo argilloso di colore marrone scuro con inclusione di pomici di dimensione massima 1-2 cm.
- **Complesso tufaceo** (17,00 – 39,00 mt.), si tratta di cineriti grigiastre associate a scorie nere e brandelli di lava riconducibili alla formazione del Tufo Grigio Campano e, a luoghi, anche a tufi più antichi. Il grado di diagenesi dei materiali è arealmente variabile così come, sulla stessa verticale, possono alternarsi livelli diversamente lapidei; talora sono stati osservati anche significativi livelli lavici intercalati. La diversità nel grado di diagenesi, è di certo dovuta alla variabilità areale dei fenomeni diagenetici del tufo (legati a neoformazione, successiva alla messa in posto, di cristallini di sanidino o di zeolite) ma risente anche delle modalità esecutive delle perforazioni e della sensibilità dell'operatore.
- **Complesso piroclastico inferiore** (39,00 – 60,00 metri) è presente in maniera continua sotto il deposito tufaceo; si tratta di cineriti medie a granulometria sabbioso limosa debolmente ghiaiosa di colore grigiastro/marrone sede della falda principale.

In particolare, volendo discretizzare ulteriormente gli orizzonti stratigrafici sopra descritti, per l'area investigata limitrofa al Campo 1 Nord del presente progetto, è possibile distinguere i seguenti strati:



- 1) **livello eluviale costituito da terreno vegetale, cineriti e sabbie** ascrivibili all'attività storica del complesso vulcanico Somma-Vesuvio (79 d.C. e posteriore), seguiti da livelli di lapilli pomicei e pozzolane più o meno humificate. Lo spessore di tale strato è di 2 m.
- 2) **orizzonte pozzolanico, ovvero facies distale incoerente del Tufo Giallo Napoletano.** L'orizzonte è caratterizzato dalla presenza di pomici sub arrotondate immerse in una matrice cineritica. Lo spessore totale è di circa 14 m.
- 3) **Tufo Grigio Campano** rappresentato da orizzonti sabbiosi alternati a fasce di Tufo in s.s. La formazione si rinviene fino ad una profondità di 50-60 m dal p.c.

Le indagini eseguite dal *Consorzio di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno* in un'area limitrofa a quella del **Campo 2 Sud** del presente progetto, ubicato in località Provvidenza e La Pigna, hanno permesso di ricostruire la seguente successione stratigrafica:

- 0,00 ÷ 2,00 m: **Coltre di terreni superficiali** costituiti da terreno vegetale e sabbie limose di colore marrone.
- 2,00 ÷ 17,0 m: **Tufo Giallo Napoletano (TGN):** limi sabbiosi più o meno argillosi di colore variabile da grigio a marrone, con inclusi livelli clastici di natura pomicea a grana grossolana (formazione delle piroclastiti superiori).
- 17,0 ÷ 40,0 m: **Tufo grigio campano (TGC)** rappresentato da orizzonti a varia consistenza; cinerite di colore dal grigiastro e raramente marroncino per i primi metri, passante a grigio e grigio nerastro; nel complesso mediamente addensata o addensata con pomici e piccoli lapilli scuri, definibile come sabbia limosa debolmente ghiaiosa; all'interno cenere grigio-chiara mediamente addensata a granulometria limosa sabbiosa e/o sabbia finissima con piccole pomici grigiastre e scorie bollose nerastre; è possibile rinvenire a tratti nei primi metri, anche livelli litoidi di tufo grigio campano; dai circa venti metri diventa prevalentemente cinerite grigia molto addensata e compatta.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono definite da due corpi acquiferi separati da un livello a bassa permeabilità. In particolare dall'alto verso il basso si distinguono:

- un primo acquifero, costituito dalle piroclastiti superiori, di scarso interesse idrogeologico con sporadica presenza di sottili livelli idrici effimeri a carattere stagionale;
- livello a bassa permeabilità e/o impermeabile costituito dai livelli tufacei compatti e ben cementati a luoghi alterati o fratturati;
- un secondo acquifero, costituito dal complesso piroclastico inferiore (39–60 mt.). Esso supporta la falda profonda e riveste una notevole importanza idrogeologica per la sua produttività idrica.

### 5.3 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito

Dal punto di vista strettamente operativo questo studio nell'assegnare un peso alla componente geologica e geotecnica nella valutazione della fattibilità di opere ed interventi sul territorio trae i suoi fondamenti dalla **L.R. 7 Gennaio 1983, n. 9 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico"**. Essa rappresenta un importante strumento concepito per fornire informazioni sulle limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle sue caratteristiche geologico-tecniche, morfologiche e dalla valutazione degli effetti delle sollecitazioni sismiche.

Il **D.M. LL.PP. 11/3/88**, concernente le *"norme tecniche relative alle indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*, prescrive che le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche tecniche relative alla progettazione devono fondarsi sempre sulla caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo ottenuta con rilievi, indagini e prove.

Con **Delibera di Giunta Regionale n. 5447 del 7 Novembre 2002 "Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della regione Campania"** (B.U.R.C. n. 56 del 18.11.2002) il comune di *Giugliano in Campania (NA)*, ai sensi e per gli effetti della legge 64/74, è stato inserito nella Categoria Sismica 2, a cui corrisponde un grado di sismicità S pari a 9.

I Comuni classificati sismici dalla Giunta Regionale sono obbligati ad osservare oltre le disposizioni di cui alla Legge 2 Febbraio 1974 n. 64 e successive modificazioni ed integrazioni, le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996 e le relative istruzioni applicative di cui alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 65 AA.GG. del 10 Aprile 1997, anche le disposizioni della L.R. 7 Gennaio 1983 n. 9.

**L'Ordinanza 20 marzo 2003 n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8/5/2003 n. 105, supplemento n. 72, ha approvato i criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e, con essi, in prima applicazione, la nuova riclassificazione secondo le indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998.

Il **D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. della Gazzetta Ufficiale n.30 del 04/02/2008, raccoglie in un unico organico testo le Norme tecniche per le costruzioni prima distribuite in diversi decreti ministeriali.

Il **D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. alla Gazzetta Ufficiale n.42 del 20/02/2018, aggiorna e sostituisce le Norme tecniche per le costruzioni approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.

Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito di specifico interesse, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito consistente nella realizzazione di n° 4 sondaggi a carotaggio continuo, n° 15 prove penetrometriche statiche del tipo CPT, n° 19 prove

penetrometriche dinamiche continue e n°6 prospezioni sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) (Figg. 25-26).

In particolare, le indagini in sito sono state distribuite nelle aree dove sarà realizzato l'impianto nel seguente modo:

#### **Campo 1 Nord (Fig. 27)**

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2)
- N°7 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT1 a CPT7)
- N°9 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd1 a Pd9)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw1 a Mw3).

#### **Campo 2 Sud (Fig. 28)**

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S3, S4)
- N°8 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT8 a CPT15)
- N°10 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd10 a Pd19)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw4 a Mw6).

Ad integrazione delle suddette indagini sono state prese in considerazione anche i risultati delle campagne geognostiche realizzate in aree limitrofe a quelle di specifico interesse, riportate nei seguenti lavori:

- *Progetto CARG Foglio 446-447 "Napoli.*
- *"Interventi urgenti di messa in sicurezza e bonifica delle aree di Giugliano in Campania e dei laghetti di Castel Volturno (SOGESID)".*
- *"Studio del sito contaminato di Masseria Del Pozzo-Schiavi nel Comune di Giugliano in Campania. Considerazioni quantitative sull'efficacia della tecnologia pump and treat (A. Di Nardo, I. Bortone, D. Musmarra)".*
- *"Comprensorio irriguo in sx Regi Lagni: Lavori di costruzione della rete di adduzione primaria, secondaria e terziaria per il completamento dell'impianto irriguo in sinistra Regi Lagni – I Lotto 2° Stralcio, Sub Comprensorio Alto – II Lotto – Sub Comprensorio Medio (Consorzio generale di bonifica del Bacino Inferiore del Volturno)".*
- *"Piano Comunale di Protezione Civile – Aggiornamento Dicembre 2011 (Comune di Giugliano in Campania)".*
- *"Piani finanziari delle opere degli impianti di acquedotto e fognatura nel mezzogiorno d'Italia - Piano d'Ambito A.T.O. N°2 Napoli-Volturno (SOGESID)".*
- *"Proprietà geologico-tecniche della pozzolana flegrea ed effetto della suzione sulla stabilità dei fronti di scavo (P. De Vita, A.C. Angrisani, E. Di Clemente)".*

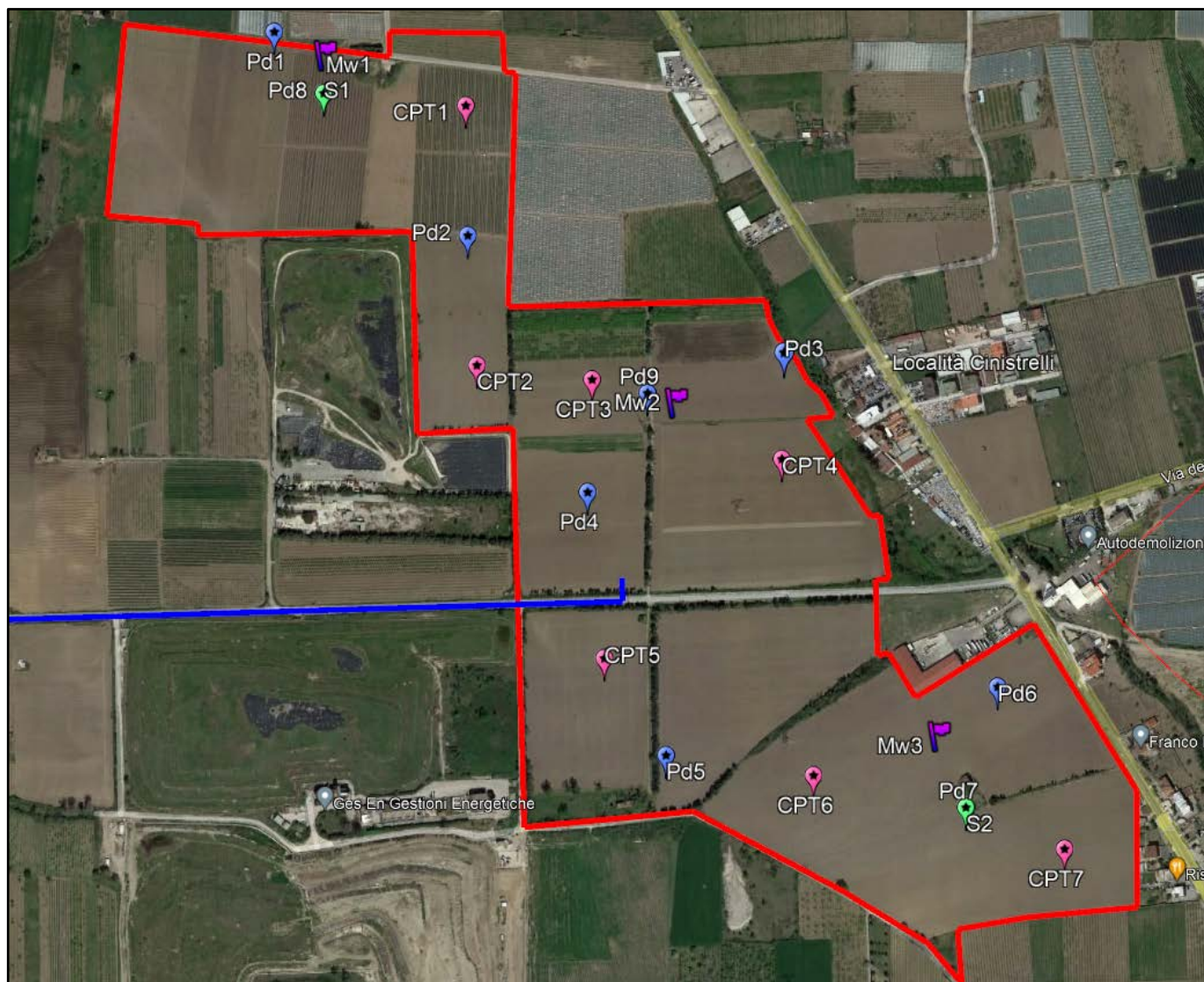






Fig. 25 – Ubicazione su ortofoto delle indagini in sito eseguite presso il Campo 1 Nord

### Legenda

-  Sondaggi geognostici a carotaggio continuo
-  Prove penetrometriche dinamiche continue
-  Prove penetrometriche statiche del tipo CPT
-  Prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W.

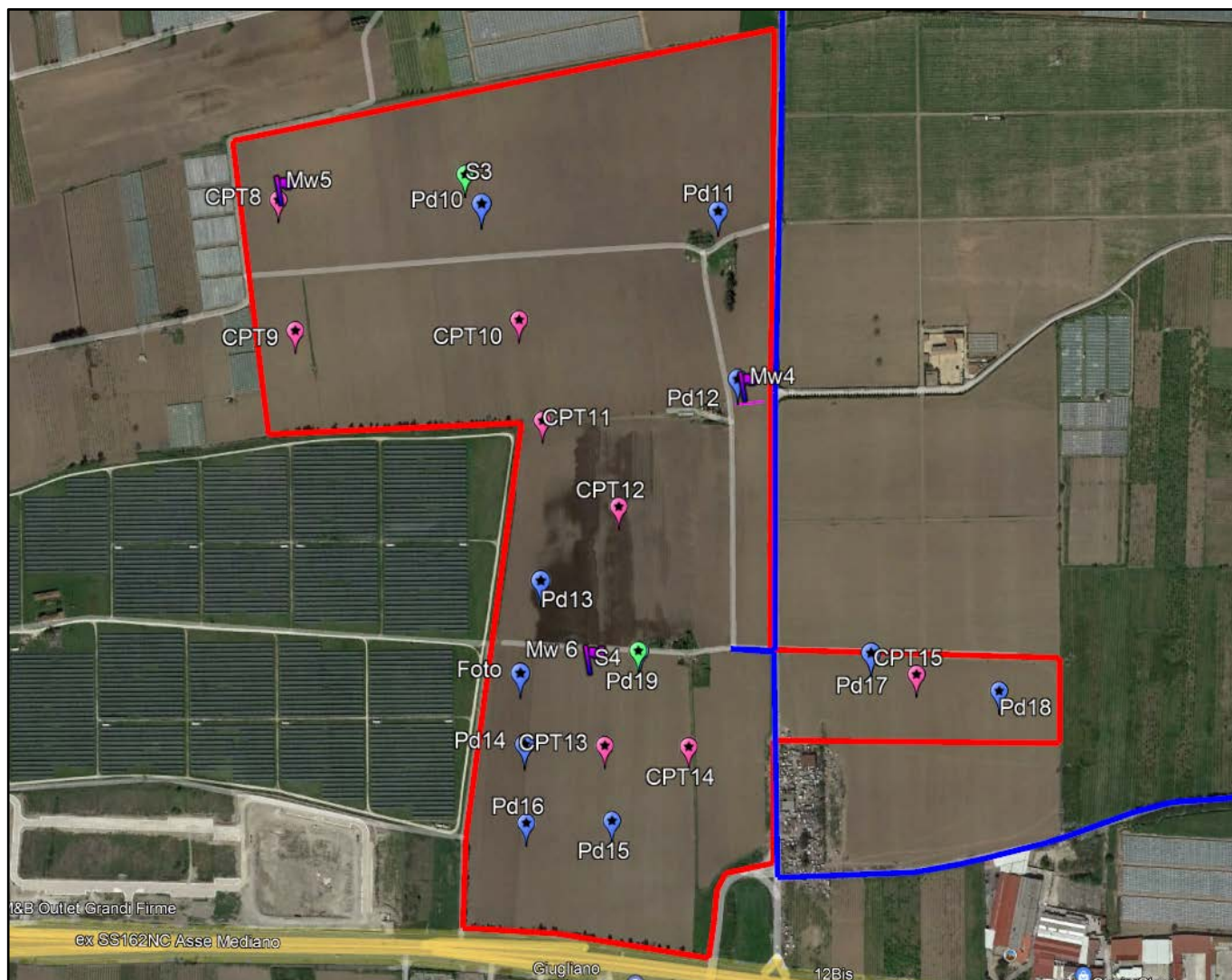






Fig. 26 – Ubicazione su ortofoto delle indagini in sito eseguite presso il Campo 2 Sud

### Legenda

-  Sondaggi geognostici a carotaggio continuo
-  Prove penetrometriche dinamiche continue
-  Prove penetrometriche statiche del tipo CPT
-  Prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W.

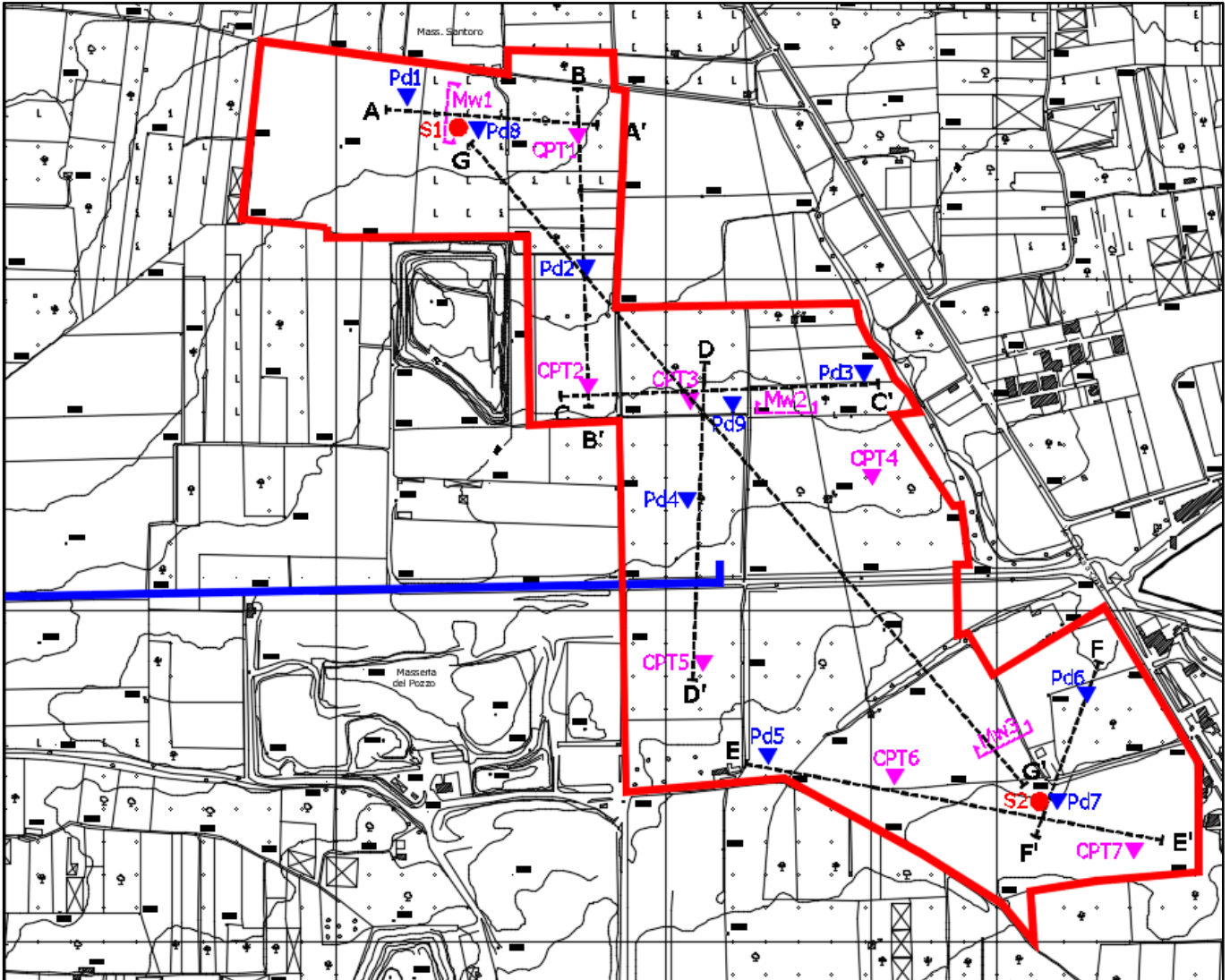
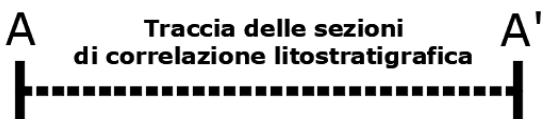


Fig. 27 – Planimetria di ubicazione delle indagini in sito eseguite presso il Campo 1 Nord

**Legenda**

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- ▼ Prove penetrometriche statiche del tipo CPT
- ▼ Prove penetrometriche dinamiche continue
- ◀ ▶ Prospezioni sismiche del tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)



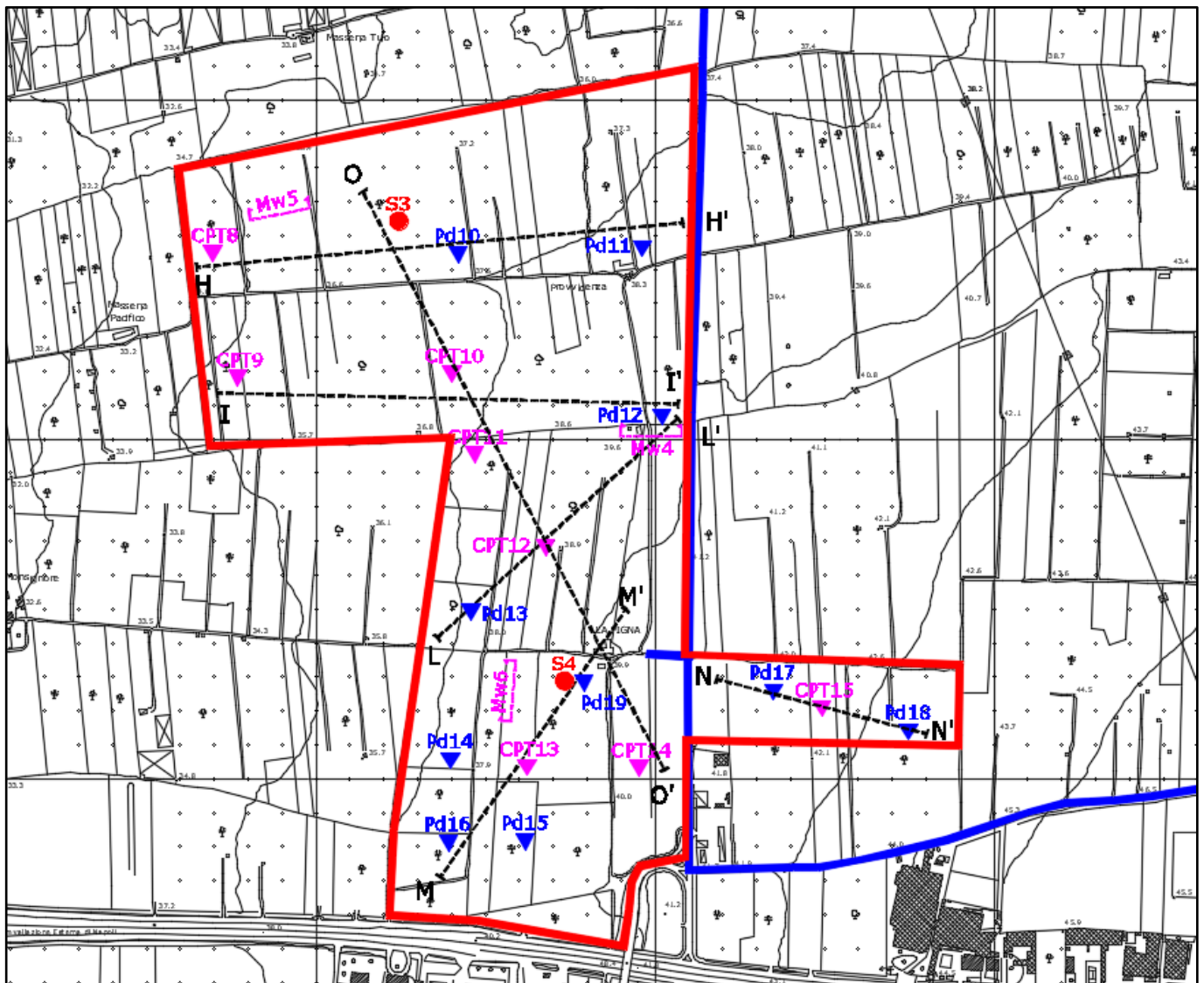



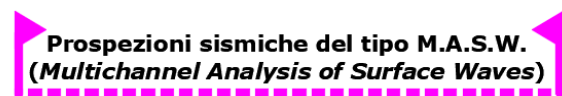
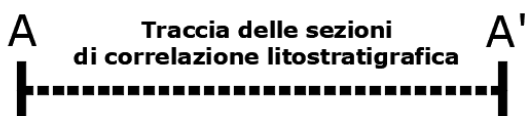


Fig. 28 – Planimetria di ubicazione delle indagini in sito eseguite presso il Campo 2 Sud

### Legenda

-  **Sondaggi geognostici a carotaggio continuo**
-  **Prove penetrometriche statiche del tipo CPT**
-  **Prove penetrometriche dinamiche continue**
-  **Prospezioni sismiche del tipo M.A.S.W.  
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**



## 5.4 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Sono stati eseguiti in totale n°4 sondaggi a carotaggio continuo identificati con le sigle S1 e S2 per il Campo 1 Nord ed S3 e S4 per il Campo 2 Sud. Tutte le terebrazioni sono state spinte fino alla profondità di 15,0 metri dal piano campagna locale, per un totale di 60 metri lineari di perforazione realizzata.

Nella tabella che segue vengono riportate in maniera sintetica le prove eseguite in ogni foro di sondaggio al fine di esibire un quadro di immediata lettura di quanto realizzato:

<b>Sondaggio (Sigla)</b>	<b>Perforazione (m.l.)</b>	<b>Prelievo C.I. (da mt. a mt.)</b>	<b>S.P.T. (mt.)</b>	<b>Colpi S.P.T. (n°)</b>
S1 (Campo 1 Nord)	15,00	4,50 – 5,00	5,00 – 5,45	15-14-17
S2 (Campo 1 Nord)	15,00	5,00 – 5,50	2,00 – 2,45	12-16-12
S3 (Campo 2 Sud)	15,00	4,00 – 4,50	1,00 – 1,45	3-7-7
			4,50 – 4,95	10-13-15
S4 (Campo 2 Sud)	15,00	1,00 – 1,50	1,50 – 1,95	2-4-6
			10,50 – 10,95	9-13-18

Le perforazioni sono state eseguite utilizzando una sonda a rotazione e circolazione di liquidi, capace di realizzare fori di diametro superiore o pari a 101 mm ad andamento verticale. Essa è di tipo modulare composta da un corpo macchina montato su ruote, una torre inclinabile, una testa d'iniezione provvista di tubo per l'immissione del fluido all'interno delle aste, una tavola rotary posta nella parte inferiore della torre, una batteria di aste componibile costituite da tubi d'acciaio di lunghezza pari a 3,00 metri, innestata superiormente alla testa d'iniezione, che fungono da mezzo per la trasmissione del movimento al tubo carotiere e per portare, al fondo del foro, il fluido di perforazione costituito da acqua.

La terebrazione del terreno è avvenuta integralmente con tecnica di perforazione a carotaggio continuo, mediante l'impiego di un carotiere semplice del diametro  $\varnothing = 101$  mm con corona ad inserti di widia con avanzamento a secco e/o utilizzando la minima quantità d'acqua necessaria per raffreddare gli utensili di perforazione. La stabilità del foro, nella parte iniziale, è stata assicurata da un rivestimento metallico provvisorio, del diametro di  $\varnothing = 127$  mm, installato contestualmente al procedere della perforazione.

Tale procedura ha reso minimo il disturbo nei terreni attraversati consentendo una percentuale di recupero sempre superiore al 90%. I campioni rimaneggiati, "carote", estratti nel corso della perforazione sono stati alloggiati in apposite cassette catalogatrici in PVC di dimensioni 100x50x15 cm, munite di setti separatori e con apposito coperchio apribile, avendo cura di riportare negli scomparti interni le quote di riferimento di ciascuna manovra eseguita.



Successivamente le carote sono state analizzate e fotografate dagli scriventi geologi. L'esame dettagliato ha consentito la compilazione delle colonne stratigrafiche avendo cura di annotare le seguenti informazioni:

- spessore e profondità dal p.c. del tetto di ogni unità litostratigrafica. Vengono segnalate, nell'ambito delle unità, eventuali alternanze o particolari tipi di deposizione (varve, laminazioni ritmiche, ecc.);
- colore prevalente;
- composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando il diametro massimo della ghiaia ed elencando per prima la frazione prevalente e di seguito le eventuali altre frazioni secondo importanza percentuale;
- caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (privo di consistenza, poco consistente, moderatamente consistente, consistente, molto consistente, estremamente consistente);
- caratteristiche di addensamento (terreni incoerenti) nei termini usuali (sciolto, poco addensato, moderatamente addensato, addensato, molto addensato); presenza di inclusi organici (resti vegetali, torbe, ecc.) e non (calcinacci, resti archeologici, ecc.);
- presenza di eventuali falde acquifere;
- profondità di prelievo dei campioni indisturbati;
- profondità di esecuzione e risultati delle prove S.P.T.

### **CARATTERISTICHE DELL'ATTREZZATURA**

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata con una capacità di coppia di 980 Kg, mentre l'attrezzatura di perforazione possiede le seguenti caratteristiche ed i seguenti diametri:

- Aste di manovra cave dal diametro  $\phi$  (mm) 76
- Aste di manovra lunghezza (m) 3.0
- Carotiere da  $\phi$  (mm) 101
- Carotiere doppio da  $\phi$  (mm) 101
- Carotiere lunghezza (m) 3.0
- Corona con denti in Widia da  $\phi$  (mm) 101
- Corona diamantata da  $\phi$  (mm) 101
- Tubi di rivestimento  $\phi$  (mm) 140

I litotipi rinvenuti durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nelle aree esaminate sono di seguito riportati.

### ***Stratigrafia sondaggio S1 – Località Cinistrelli (Campo 1 Nord)***

***Lat. 40.955754° N – Long. 14.116640° E***

- 0,00 ÷ 1,50 m: Limo argilloso debolmente sabbioso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,50 ÷ 2,00 m: Limo di natura vulcanica, di colore giallastro, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 2,00 ÷ 5,00 m: Sabbia debolmente limosa di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da poco a moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 10,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore grigio chiaro, a granulometria variabile da fine a medio-grossolana con la profondità.
- 10,0 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.
- 11,0 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore variabile dal marrone-rossastro al grigio-giallastro, a granulometria prevalentemente medio grossolana, inglobante vetri vulcanici centimetrici di colore nero e pomici millimetriche biancastre.

Nel corso di questa perforazione è stato prelevato n°1 campione di terreno indisturbato alla profondità di 4,50 m, identificato con la sigla S1C1, nonché è stata eseguita n°1 prova S.P.T. (Standard Penetration Test) a punta chiusa alla profondità di 5,00 m (colpi: 15-14-17).

### ***Stratigrafia sondaggio S2 – Località Cinistrelli (Campo 1 Nord)***

***Lat. 40.946712° N – Long. 14.127417° E***

- 0,00 ÷ 1,00 m: Limo argilloso debolmente sabbioso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,00 ÷ 1,90 m: Limo argilloso sabbioso di natura vulcanica, di colore marrone chiaro, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,90 ÷ 3,00 m: Sabbia debolmente limosa di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da poco a moderatamente addensata inglobante al letto dello strato frammenti litici vulcanici di colore nerastro.

- 3,00 ÷ 9,00 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore grigio chiaro, a granulometria variabile da fine a media con la profondità.
- 9,00 ÷ 11,8 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro a granulometria grossolana.
- 11,8 ÷ 12,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria medio-fine, inglobante litici vulcanici centimetrici.
- 12,0 ÷ 12,6 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro a granulometria media.
- 12,6 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore marrone-rossastro, a granulometria prevalentemente medio grossolana, inglobante litici vulcanici di colore rossastro.

Nel corso di questa perforazione è stato prelevato n°1 campione di terreno indisturbato alla profondità di 5,00 m, identificato con la sigla S2C1, nonché è stata eseguita n°1 prova S.P.T. (Standard Penetration Test) a punta chiusa alla profondità di 2,00 m (colpi: 12-16-12).

***Stratigrafia sondaggio S3 – Località Provvidenza e La Pigna (Campo 2 Sud)***

***Lat. 40.942714° N – Long. 14.074722° E***

- 0,00 ÷ 0,60 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore biancastro.
- 0,60 ÷ 2,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, poco addensata.
- 2,00 ÷ 5,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 6,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 6,00 ÷ 8,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 8,20 ÷ 9,50 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone-nocciola, inglobante abbondanti pomici millimetriche di colore rossastro.
- 9,50 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore giallo ocra, a granulometria media.

- 11,0 ÷ 12,3 m: Tufo giallo napoletano litoide a struttura vacuolare.
- 12,3 ÷ 13,5 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.
- 13,5 ÷ 14,3 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio scuro, a granulometria grossolana.
- 14,3 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.

Nel corso di questa perforazione è stato prelevato n°1 campione di terreno indisturbato alla profondità di 4,00 m, identificato con la sigla S3C1, nonché sono state eseguite n°2 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) a punta chiusa alle profondità di 1,00 m (colpi: 3-7-7) e di 4,50 m (colpi: 10-13-15).

#### ***Stratigrafia sondaggio S4 – Località Provvidenza e La Pigna (Campo 2 Sud)***

***Lat. 40.936739° N – Long. 14.077608° E***

- 0,00 ÷ 1,00 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore biancastro.
- 1,00 ÷ 3,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone, a granulometria fine, poco addensata.
- 3,20 ÷ 3,80 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da moderatamente addensata ad addensata.
- 3,80 ÷ 5,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 7,50 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 7,50 ÷ 8,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 8,20 ÷ 10,2 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 10,2 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone scuro, a granulometria media.
- 11,0 ÷ 13,3 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone, inglobante abbondanti pomici millimetriche di colore biancastro.

- 13,3 ÷ 14,1 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone chiaro, inglobante litici vulcanici centimetrici.
- 14,1 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore variabile dal rossastro al grigio scuro, a granulometria fine.

Nel corso di questa perforazione è stato prelevato n°1 campione di terreno indisturbato alla profondità di 1,00 m, identificato con la sigla S4C1, nonché sono state eseguite n°2 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) a punta chiusa alle profondità di 1,50 m (colpi: 2-4-6) e di 10,50 m (colpi: 9-13-18).

### 5.5 Prove Standard Penetration Test (S.P.T.)

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo sono state eseguite in totale n°6 prove S.P.T. in foro in modo conforme alle Norme UNI EN ISO 22476-3:2005 "Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test)", che hanno consentito di determinare la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione dinamica di una punta conica, a partire dal fondo del foro di sondaggio, permettendo di determinare alcune caratteristiche geotecniche dei terreni.

Questo tipo di prova consiste nel far cadere un maglio con peso di 63,5 Kg da un'altezza di 76 cm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitata una punta conica (o punta chiusa) del diametro esterno di 51 mm ed apertura di 60° (in presenza di terreni a granulometria grossolana quali ghiaie) o un campionatore Raymond (o punta aperta) in presenza di terreni a granulometria fine.

La prova SPT consiste nella misura del numero di colpi necessari per l'infissione della punta conica o del campionatore di tre tratti di 15 cm ciascuno (N1, N2 e N3). La prova è eseguita al fondo di un foro di sondaggio spinto alla profondità desiderata. Il campionatore è infisso per tre avanzamenti successivi di 15 cm ciascuno.

Il primo tratto, detto di avviamento, comprende l'eventuale penetrazione iniziale per peso proprio; se sotto un numero di colpi  $N1 = 50$  l'avanzamento è minore di 15 cm, l'infissione deve essere sospesa, la prova è considerata conclusa, e si annota la relativa penetrazione (ad esempio  $N1 = 50/13$  cm). La resistenza alla penetrazione è data dalla somma del numero di colpi necessari all'avanzamento del secondo e terzo tratto da 15 cm (totale 30 cm):  $N_{SPT} = N2 + N3$ .

In questo modo si elimina o si riduce al minimo l'influenza di fattori estranei quali presenza di detrito a fondo foro e il disturbo prodotto dal rilascio tensionale durante la perforazione.

Se con  $N2 + N3 = 100$  non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm, si dice che la prova è andata "a rifiuto", l'infissione è sospesa e la prova è considerata conclusa, annotando la relativa penetrazione.

## **CARATTERISTICHE DELL'ATTREZZATURA**

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata con una capacità di coppia di 980 Kg, mentre l'attrezzatura di perforazione possiede le seguenti caratteristiche ed i seguenti diametri:

- Aste di manovra cave dal diametro  $\phi$  (mm) 76
- Dispositivo di sgancio automatico del maglio
- Altezza di caduta del maglio cm 76
- Punta conica standardizzata con angolo di apertura 60°

### **Prova S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio S1**

<i>Prova S.P.T. 1</i>	<i>Quote</i>		<i>N° colpi</i>			<i>N<sub>SPT</sub></i>	<i>Litologia</i>
<b>Punta chiusa</b>	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto	<b>31</b>	Sabbia limosa
<b>Sondaggio S1</b>	5,00		14				
				14			
		5,45			17		

### **Prova S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio S2**

<i>Prova S.P.T. 1</i>	<i>Quote</i>		<i>N° colpi</i>			<i>N<sub>SPT</sub></i>	<i>Litologia</i>
<b>Punta chiusa</b>	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto	<b>28</b>	Sabbia limosa
<b>Sondaggio S2</b>	2,00		12				
				16			
		2,45			12		

### **Prove S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio S3**

<i>Prova S.P.T. 1</i>	<i>Quote</i>		<i>N° colpi</i>			<i>N<sub>SPT</sub></i>	<i>Litologia</i>
<b>Punta chiusa</b>	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto	<b>14</b>	Limo sabbioso
<b>Sondaggio S3</b>	1,00		3				
				7			
		1,45			7		

<i>Prova S.P.T. 2</i>	<i>Quote</i>		<i>N° colpi</i>			<i>N<sub>SPT</sub></i>	<i>Litologia</i>
<b>Punta chiusa</b>	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto	<b>28</b>	Sabbia limosa
<b>Sondaggio S3</b>	4,50		10				
				13			
		4,95			15		

### Prove S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio S4

Prova S.P.T. 1	Quote		N° colpi			N <sub>SPT</sub>	Litologia
	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto		
Punta chiusa				15 cm	15 cm	10	Limo sabbioso
Sondaggio S4	1,00		2				
				4			
		1,45			10		

Prova S.P.T. 2	Quote		N° colpi			N <sub>SPT</sub>	Litologia
	da mt	a mt.	15 cm	2° tratto	3° tratto		
Punta chiusa				15 cm	15 cm	31	Sabbia limosa
Sondaggio S4	10,50		9				
				13			
		10,95			18		

Dalla prova SPT è possibile trarre utili informazioni sullo stato di addensamento nei terreni granulari e sul grado di consistenza in quelli coesivi così come risulta dalla tabella che segue.

Nc	Compattezza di una sabbia
< 4	Molto poco compatta
da 4 a 10	Poco compatta
da 10 a 30	Mediamente compatta
da 30 a 50	Compatta
> 50	Molto compatta

Tratta da "MANUALE DI GEOTECNICA" – I. COLLAS & M. HAVARD

## 5.6 Prelievo dei campioni di terreno indisturbato

Per la determinazione sperimentale delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione nel corso dei sondaggi sono stati prelevati n°2 campioni di terreno indisturbato e n°7 campioni di terreno disturbato le cui profondità e modalità di prelievo sono riepilogate nella successiva tabella.

Numero Sondaggio	Profondità di prelievo (m)	Sigla campione	Modalità di prelievo	Classe
S1 (Campo 1 Nord)	4,50 ÷ 5,00	C1	Pressione - Shelby	Q5
S2 (Campo 1 Nord)	5,00 ÷ 5,50	C1	Pressione - Shelby	Q5
S3 (Campo 2 Sud)	4,00 ÷ 4,50	C1	Pressione - Shelby	Q5
S4 (Campo 2 Sud)	1,00 ÷ 1,50	C1	Pressione - Shelby	Q5

Ogni prelievo è stato eseguito mediante campionatore con fustella a pareti sottili (Shelby) che viene infissa nel terreno senza rotazione allo scopo di indurre il minore disturbo possibile al campione. La fustella contenente il campione di terreno estratto, costituita da un tubo in acciaio inox con la base tagliente e con angolo di scarpa compreso tra 4° e 15°, all'atto della estrazione è stata separata dal campionatore e le superfici esposte sono state sigillate con paraffina fusa al fine di preservarne integro il contenuto d'acqua. I campioni sono stati catalogati, annotando su un'apposita etichetta, i seguenti dati:

- cantiere;
- sondaggio;
- numero identificativo del campione;
- quota di inizio e fine prelievo.

## 5.7 Prove geotecniche di laboratorio

I campioni prelevati durante la perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati trasportati al laboratorio geotecnico *ISOGEA S.r.l.*, con sede in Scafati (SA) alla via Cristoforo Colombo n°22, laboratorio provvisto di Autorizzazione del Ministero Infrastrutture e Trasporti nel Settore "A" – Prove di Laboratorio sulle Terre, Decreto 0007474 del 27/12/2012 Art. 59 e D.P.R. n°380/2011 – Circolare Ministeriale n° 7618/STC/2010, per essere tutti sottoposti alle seguenti analisi e prove:

- *caratteristiche fisiche generali;*
- *analisi granulometrica;*
- *prova di taglio diretto;*
- *prova edometrica a gradini di carico.*

Di seguito si riporta una sintesi delle caratteristiche geotecniche determinate sui campioni di terreno indisturbato. Per una visione completa di tutti i risultati si rimanda ai certificati di laboratorio allegati alla presente relazione.



### **Campione S1C1 - Profondità di prelievo 4,50 ÷ 5,00**

#### **Descrizione del campione**

- *Deposito cineritico di colore verdastro, umido e mediamente consistente, in cui si rinvengono rarissime pomici centimetriche, in abbondante matrice limosa-sabbiosa.*

#### **Caratteristiche fisiche generali, proprietà indice e grandezze di stato**

- Contenuto d'acqua naturale = 35,5 %
- Peso di volume naturale = 14,7 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume secco = 10,9 KN/m<sup>3</sup>
- Peso volume saturo = 16,4 KN/m<sup>3</sup>
- Peso specifico dei grani = 25,1 KN/m<sup>3</sup>
- Indice dei vuoti = 1,311
- Porosità = 56,7 %
- Grado di saturazione = 69,5 %

#### **Analisi granulometrica**

- *Composizione granulometrica percentuale*

Ghiaia = 0,7 %	D 10 = 0,002554 mm
Sabbia = 27,1 %	D 50 = 0,024765 mm
Limo = 62,5 %	D 60 = 0,029932 mm
Argilla = 9,7 %	D 90 = 0,235227 mm

Passante setaccio 10 = 99,3 %
Passante setaccio 42 = 94,3 %
Passante setaccio 200 = 75,5 %

- *Definizione granulometrica*

Limo con sabbia debolmente argilloso

#### **Prova di taglio diretto consolidata drenata**

- Angolo di attrito = 27,2°
- Coesione = 6,1 KPa

#### **Prova edometrica a gradini di carico**

<b>σ (KPa)</b>	<b>E KPa)</b>
12,5 ÷ 25,0	2066
25,0 ÷ 50,0	2092
50,0 ÷ 100,0	3571
100,0 ÷ 200,0	5195
200,0 ÷ 400,0	8889
400,0 ÷ 800,0	15094
800,0 ÷ 1600,0	23704

### **Campione S2C1 - Profondità di prelievo 5,00 ÷ 5,50**

#### **Descrizione del campione**

- *Deposito cineritico di colore verdastro, umido e poco consistente, in cui si rinvencono rare pomici (dmax = 3,50 cm), in abbondante matrice limosa-sabbiosa.*

#### **Caratteristiche fisiche generali, proprietà indice e grandezze di stato**

- Contenuto d'acqua naturale = 24,1 %
- Peso di volume naturale = 14,3 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume secco = 11,5 KN/m<sup>3</sup>
- Peso volume saturo = 16,8 KN/m<sup>3</sup>
- Peso specifico dei grani = 25,2 KN/m<sup>3</sup>
- Indice dei vuoti = 1,193
- Porosità = 54,4 %
- Grado di saturazione = 51,9 %

#### **Analisi granulometrica**

- *Composizione granulometrica percentuale*

Ghiaia	= 7,0 %	D 10 = 0,002419 mm
Sabbia	= 34,3 %	D 50 = 0,029215 mm
Limo	= 49,1 %	D 60 = 0,064448 mm
Argilla	= 9,6 %	D 90 = 1,179474 mm

Passante setaccio 10	= 93,0 %
Passante setaccio 42	= 83,0 %
Passante setaccio 200	= 64,5 %

- *Definizione granulometrica*

Limo con sabbia debolmente argilloso e ghiaioso

#### **Prova di taglio diretto consolidata drenata**

- Angolo di attrito = 26,9°
- Coesione = 4,3 KPa

#### **Prova edometrica a gradini di carico**

<b>σ (KPa)</b>	<b>E KPa)</b>
12,5 ÷ 25,0	3623
25,0 ÷ 50,0	13889
50,0 ÷ 100,0	9346
100,0 ÷ 200,0	7220
200,0 ÷ 400,0	16064
400,0 ÷ 800,0	23392
800,0 ÷ 1600,0	35556

### **Campione S3C1 - Profondità di prelievo 4,00 ÷ 4,50**

#### **Descrizione del campione**

- *Deposito cineritico di colore marrone-verdastro, umido e mediamente consistente, in cui si rinvengono rarissime pomici centimetriche.*

#### **Caratteristiche fisiche generali, proprietà indice e grandezze di stato**

- Contenuto d'acqua naturale = 22,5 %
- Peso di volume naturale = 14,2 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume secco = 11,6 KN/m<sup>3</sup>
- Peso volume saturo = 16,7 KN/m<sup>3</sup>
- Peso specifico dei grani = 24,3 KN/m<sup>3</sup>
- Indice dei vuoti = 1,097
- Porosità = 52,3 %
- Grado di saturazione = 50,8 %

#### **Analisi granulometrica**

- *Composizione granulometrica percentuale*

Ghiaia	= 1,2 %	D 10 = 0,010549 mm
Sabbia	= 39,2 %	D 50 = 0,056494 mm
Limo	= 54,5 %	D 60 = 0,060151 mm
Argilla	= 5,1 %	D 90 = 0,345857 mm

Passante setaccio 10 = 98,8 %
Passante setaccio 42 = 91,7 %
Passante setaccio 200 = 70,1 %

- *Definizione granulometrica*

Limo con sabbia debolmente argilloso

#### **Prova di taglio diretto consolidata drenata**

- Angolo di attrito = 27,3°
- Coesione = 5,1 KPa

#### **Prova edometrica a gradini di carico**

<b>σ (KPa)</b>	<b>E KPa)</b>
12,5 ÷ 25,0	1656
25,0 ÷ 50,0	2404
50,0 ÷ 100,0	4255
100,0 ÷ 200,0	5333
200,0 ÷ 400,0	4124
400,0 ÷ 800,0	12698
800,0 ÷ 1600,0	22792

### **Campione S4C1 - Profondità di prelievo 1,00 ÷ 1,50**

#### **Descrizione del campione**

- *Deposito piroclastico di colore marrone, molto umido e mediamente consistente, in cui si rinvengono rare pomici biancastre centimetriche, a matrice limo-sabbiosa.*

#### **Caratteristiche fisiche generali, proprietà indice e grandezze di stato**

- Contenuto d'acqua naturale = 55,9 %
- Peso di volume naturale = 14,1 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume secco = 9,0 KN/m<sup>3</sup>
- Peso volume saturo = 15,2 KN/m<sup>3</sup>
- Peso specifico dei grani = 24,4 KN/m<sup>3</sup>
- Indice dei vuoti = 1,703
- Porosità = 63,0 %
- Grado di saturazione = 81,7 %

#### **Analisi granulometrica**

- *Composizione granulometrica percentuale*

Ghiaia	= 5,3 %	D 10 = 0,007932 mm
Sabbia	= 36,9 %	D 50 = 0,056717 mm
Limo	= 53,2 %	D 60 = 0,060939 mm
Argilla	= 4,6 %	D 90 = 1,028201 mm

Passante setaccio 10	= 94,7 %
Passante setaccio 42	= 82,2 %
Passante setaccio 200	= 66,6 %

- *Definizione granulometrica*

Limo con sabbia debolmente ghiaioso

#### **Prova di taglio diretto consolidata drenata**

- Angolo di attrito = 27,7°
- Coesione = 4,4 KPa

#### **Prova edometrica a gradini di carico**

<b>σ (KPa)</b>	<b>E KPa)</b>
12,5 ÷ 25,0	1316
25,0 ÷ 50,0	1220
50,0 ÷ 100,0	1695
100,0 ÷ 200,0	4228
200,0 ÷ 400,0	21390
400,0 ÷ 800,0	11429
800,0 ÷ 1600,0	16529

## 5.8 Prove penetrometriche statiche del tipo C.P.T. (Cone Penetration Test)

La prova penetrometrica statica del tipo C.P.T. (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/s} \pm 0,5 \text{ cm/s}$ ).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale: punta / manicotto tipo "Begemann" (Fig. 29).

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro Punta Conica meccanica       $\varnothing$       = 35,7 mm
- area di punta                                       $A_p$       = 10 cm<sup>2</sup>
- angolo di apertura del cono                 $\alpha$       = 60 °
- superficie laterale del manicotto         $A_m$       = 150 cm<sup>2</sup>



Fig. 29 – Punta Begemann

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

Le prove C.P.T. sono state eseguite con un Penetrometro GEO DEEP DRILL STATICO 150/T/SM SP200M/T/SM, la cui capacità di spinta di infissione è di 152 KN – 203 KN.

Una cella di carico, che ha rilevato gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna. Durante la fase di spinta le aste sono state azionate automaticamente da un comando idraulico.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico. Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

- *Lettura alla punta LP* = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta.
- *Lettura laterale LT* = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto.
- *Lettura totale LLTT* = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da *LP* (Lettura alla punta) e *LT* (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta). Trasferiti i dati ad un pc, sono stati elaborati da un apposito programma di calcolo.

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs**, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) sono state desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

- $A_p = \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann")} = 10 \text{ cm}^2$
- $A_m = \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2$
- $C_t = \text{costante di trasformazione} = 10$

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica ha consentito di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che ha permesso anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con i sondaggi geognostici a carotaggio continuo per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica ha permesso, inoltre, di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore dei vari strati omogenei e la consistenza in generale del terreno.

I dati di uscita principali sono stati relativi al valore di **RP** (*Resistenza alla punta*) e di **RL** (*Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di*

frizione); inoltre è stato calcolato il rapporto **RP/RL** (*Rapporto Begemann, 1965*) e il rapporto **RL/RP** (*Rapporto Schmertmann 1978 – FR %*).

I valori sono calcolati con le seguenti formule:

- **Resistenza alla punta =  $Q_c$  (RP) =  $(LP \times Ct)/10 \text{ cm}^2$ .**
- **Resistenza laterale =  $Q_l$  (RL) (fs) =  $[(LT - LP) \times Ct]/150 \text{ cm}^2$ .**

dove:

- $Q_c$  (RP) = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct/Superficie Punta Ap
- $Q_l$  (RL) (fs) = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct/Am area del manicotto di frizione.

Da notare che:

- $Ap = 10 \text{ cm}^2$  e  $Am = 150 \text{ cm}^2$
- la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle prove C.P.T. eseguite nelle aree esaminate. Tutte le elaborazioni, invece, sono riportate nell'allegato delle indagini geognostiche.

#### Coordinate geografiche delle prove C.P.T. eseguite presso il Campo 1 Nord

Numero prova	Latitudine	Longitudine
CPT 1	40.955597° N	14.119024° E
CPT 2	40.952309° N	14.119211° E
CPT 3	40.952129° N	14.121144° E
CPT 4	40.951122° N	14.124329° E
CPT 5	40.948600° N	14.121350° E
CPT 6	40.947118° N	14.124860° E
CPT 7	40.946186° N	14.129073° E

#### Coordinate geografiche delle prove C.P.T. eseguite presso il Campo 2 Sud

Numero prova	Latitudine	Longitudine
CPT 8	40.942394° N	14.071612° E
CPT 9	40.940753° N	14.071896° E
CPT 10	40.940891° N	14.075621° E
CPT 11	40.939627° N	14.076012° E
CPT 12	40.938547° N	14.077281° E
CPT 13	40.935549° N	14.077050° E
CPT 14	40.935535° N	14.078447° E
CPT 15	40.936444° N	14.082238° E

## 5.9 Prove penetrometriche dinamiche continue

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue si è utilizzato un penetrometro dinamico modello "TG 30/20", prodotto dalla ditta PAGANI, classificato come medio dalla ISSMFE (1988). Il penetrometro dinamico descritto è conforme, nelle caratteristiche tecniche generali, allo standard nazionale D.P.L. (penetrometro dinamico leggero italiano) e a quello internazionale (Fig. 30).



Fig. 30 – Penetrometro dinamico modello "TG 30/20" prodotto dalla ditta PAGANI

Le informazioni che ogni prova ha fornito sono state di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione sono eseguite durante tutta l'infissione, ottenendo così una valutazione quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

Durante l'esecuzione delle prove sono stati misurati, per intervalli consecutivi di 10 cm, il numero di colpi necessari per l'attraversamento del litotipo interessato.

I valori del numero di colpi  $N_{TG30-20}$  così registrati, sono stati utilizzati per l'elaborazione dei penetrogrammi, per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati e per il calcolo della resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$ .

È da osservare che, in terreni con caratteristiche simili a quelli che sono presenti nel sottosuolo dell'area indagata, risulta sperimentalmente, che il numero di colpi  $N_{TG30-20}$  per infissioni di 10 cm, corrisponde mediamente al numero di colpi  $N_{SPT}$  per infissioni di 30 cm.



Poiché la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto con la prova penetrometrica standard (S.P.T.), si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica  $NT_{G30-20}$  con  $N_{SPT}$ .

Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui:

- $M$  = rappresenta il peso della massa battente;
- $M'$  = è il peso aste;
- $H$  = l'altezza di caduta;
- $A$  = l'area della base punta conica;
- $\delta$  = il passo di avanzamento.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante il programma di calcolo automatico *Dynamic Probing* della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (*coefficiente di correlazione con SPT*) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono di ottenere informazioni utili sulle litologie e sui dati geotecnici dei terreni attraversati lungo le verticali esplorate.

In particolare il programma di calcolo consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Di seguito sono riportati, per ogni profilo penetrometrico analizzato, le profondità dei vari litotipi riscontrati, i valori dei numeri di colpi medi in sito ( $N_{TG\ 30/20}$ ) e quelli normalizzati per ogni strato

( $N_{SPT}$  equivalente), la valutazione della resistenza dinamica alla punta ( $R_{pd}$ ) determinata con la Formula degli Olandesi.

La Formula degli Olandesi è di seguito riportata:

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

dove:

- $R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (area A);
- $e$  = infissione media per colpo ( $d/N$ );
- $M$  = peso massa battente (altezza caduta H);
- $P$  = peso totale aste e sistema battuta.

### **Prove penetrometriche dinamiche continue eseguite nel Campo 1 Nord**

#### ***Prova penetrometrica dinamica Pd 1 – Lat. = 40.956531°; Log. = 14.115810°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con $N_{SPT}$ (n°)	$N_{SPT}$ equiv. (n°)	$R_{pd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,10	2,10	2,52	0,783	1,97	9,13
2	2,10 ÷ 9,70	7,60	9,36	0,783	7,33	27,64
3	9,70 ÷ 10,20	0,50	43,2	0,783	33,83	109,12

#### ***Prova penetrometrica dinamica Pd 2 – Lat. = 40.952442°; Log. = 14.119058°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con $N_{SPT}$ (n°)	$N_{SPT}$ equiv. (n°)	$R_{pd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,20	2,20	2,59	0,783	2,03	9,32
2	2,20 ÷ 9,10	9,10	13,77	0,783	10,78	42,16
3	9,10 ÷ 9,50	0,40	28,25	0,783	22,12	73,43

#### ***Prova penetrometrica dinamica Pd 3 – Lat. = 40.953953°; Log. = 14.124369°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con $N_{SPT}$ (n°)	$N_{SPT}$ equiv. (n°)	$R_{pd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,10	2,10	3,71	0,783	2,90	13,4
2	2,10 ÷ 6,50	4,40	22,55	0,783	17,66	70,75

#### ***Prova penetrometrica dinamica Pd 4 – Lat. = 40.950703°; Log. = 14.121070°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con $N_{SPT}$ (n°)	$N_{SPT}$ equiv. (n°)	$R_{pd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 1,50	1,50	3,67	0,783	2,87	13,54
2	1,50 ÷ 6,70	6,70	8,98	0,783	7,03	28,59
3	6,70 ÷ 9,60	2,90	16,9	0,783	13,23	45,59

**Prova penetrometrica dinamica Pd 5 – Lat. = 40.947371°; Log. = 14.122385°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con NSPT (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 1,90	1,90	2,84	0,783	2,22	10,37
2	1,90 ÷ 9,10	7,20	13,15	0,783	10,3	39,24
3	9,10 ÷ 10,30	9,20	34,58	0,783	27,08	88,38

**Prova penetrometrica dinamica Pd 6 – Lat. = 40.948238°; Log. = 14.127949°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con NSPT (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,50	2,50	4,16	0,783	3,26	15,25
2	2,50 ÷ 8,70	6,20	13,34	0,783	10,45	39,46

**Prova penetrometrica dinamica Pd 7 – Lat. = 40.946710°; Log. = 14.127433°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con NSPT (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 1,90	1,90	4,11	0,783	3,22	14,94
2	1,90 ÷ 11,50	9,60	14,00	0,783	10,96	40,13
3	11,50 ÷ 13,70	2,20	28,41	0,783	22,25	66,40

**Prova penetrometrica dinamica Pd 8 – Lat. = 40.955753°; Log. = 14.116648°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con NSPT (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,00	2,00	3,40	0,783	2,66	12,28
2	2,00 ÷ 10,30	8,30	13,08	0,783	10,24	38,48
3	10,30 ÷ 11,30	1,00	16,50	0,783	12,92	40,56

**Prova penetrometrica dinamica Pd 9 – Lat. = 40.951958°; Log. = 14.122073°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con NSPT (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,30	2,00	3,78	0,783	2,96	13,77
2	2,30 ÷ 7,80	8,30	11,87	0,783	9,29	35,94
3	7,80 ÷ 9,80	1,00	26,10	0,783	20,44	68,93

**Prove penetrometriche dinamiche continue eseguite nel Campo 2 Sud**

***Prova penetrometrica dinamica Pd 10 – Lat. = 40.942318°; Log. = 14.074996°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,00	2,00	4,60	0,783	3,60	16,67
2	2,00 ÷ 7,10	5,10	20,82	0,783	16,30	64,65
3	7,10 ÷ 8,20	1,10	6,64	0,783	5,20	18,24
4	8,20 ÷ 8,40	0,20	24,50	0,783	19,18	65,97

***Prova penetrometrica dinamica Pd 11 – Lat. = 40.942227°; Log. = 14.078933°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,50	2,50	3,56	0,783	2,79	12,78
2	2,50 ÷ 8,20	5,70	13,14	0,783	10,29	39,17
3	8,20 ÷ 8,60	0,40	8,00	0,783	6,26	21,54
4	8,60 ÷ 9,40	0,80	14,25	0,783	11,16	37,41

***Prova penetrometrica dinamica Pd 12 – Lat. = 40.940118°; Log. = 14.079261°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,20	2,20	3,55	0,783	2,78	12,8
2	2,20 ÷ 8,30	6,10	12,21	0,783	9,56	36,42
3	8,30 ÷ 9,40	1,10	5,82	0,783	4,56	15,34
4	9,40 ÷ 10,30	0,90	8,89	0,783	6,96	22,77

***Prova penetrometrica dinamica Pd 13 – Lat. = 40.937588°; Log. = 14.075983°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,50	2,50	3,84	0,783	3,01	13,76
2	2,50 ÷ 7,50	5,00	12,12	0,783	9,49	36,64

***Prova penetrometrica dinamica Pd 14 – Lat. = 40.935535°; Log. = 14.075719°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,80	2,50	3,75	0,783	2,94	13,4
2	2,80 ÷ 8,70	5,00	12,83	0,783	10,05	37,32

***Prova penetrometrica dinamica Pd 15 – Lat. = 40.934606°; Log. = 14.077171°***

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,30	2,30	4,17	0,783	3,27	14,89
2	2,30 ÷ 10,30	8,00	15,35	0,783	12,02	43,99
3	10,30 ÷ 11,70	1,40	8,00	0,783	6,26	19,65

**Prova penetrometrica dinamica Pd 16 – Lat. = 40.934578°; Log. = 14.075745°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,90	2,90	3,86	0,783	3,02	13,64
2	2,90 ÷ 9,00	6,10	13,72	0,783	10,74	39,42

**Prova penetrometrica dinamica Pd 17 – Lat. = 40.936684°; Log. = 14.081483°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,60	2,60	3,27	0,783	2,56	11,72
2	2,60 ÷ 8,10	5,50	11,24	0,783	8,8	33,21

**Prova penetrometrica dinamica Pd 18 – Lat. = 40.936237°; Log. = 14.083614°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 2,70	2,70	3,52	0,783	2,76	12,51
2	2,70 ÷ 10,40	7,70	13,71	0,783	10,73	38,58
3	10,40 ÷ 12,70	2,30	8,83	0,783	6,91	21,18

**Prova penetrometrica dinamica Pd 19 – Lat. = 40.936737°; Log. = 14.077641°**

Strato (n°)	Profondità (m)	Spessore (m)	N TG 30/20 (n°)	Coeff. Corr. con N <sub>SPT</sub> (n°)	N <sub>SPT</sub> equiv. (n°)	Rpd (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 ÷ 3,30	3,30	5,88	0,783	4,6	20,4
2	3,30 ÷ 6,80	3,50	12,43	0,783	9,73	37,95

## 6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni

I risultati delle prove geotecniche eseguite in sito evidenzia la presenza di terreni a scarsa o mediocre consistenza, granulometricamente riconducibili a "**limi e sabbie**" (*strato 1*), fino alla profondità media di circa 2,00 metri.

A tali terreni seguono fino alla profondità di circa 16,0/17,0 metri materiali piroclastici con un grado di addensamento variabile da sciolti a pseudocoerente associabili alla facies sciolta del **Tufo Giallo Napoletano**, detta "**pozzolana**" (*strato 2*), rappresentativa del terzo periodo dell'attività vulcanica del distretto dei Campi Flegrei.

Al letto della pozzolana si rinviene il "**Tufo Grigio Campano**" (*strato 3*) che nell'area di studio è presente fino alla profondità di 50-60 metri.

La pozzolana è un deposito piroclastico prevalentemente da flusso a granulometria variabile (SCHMIDT, 1981) dalle ceneri fini (limo e argilla) a grossolane (sabbia) con inclusi lapilli (ghiaia), costituiti in prevalenza da pomici ed in subordine da scorie.

La pozzolana presenta un tipico colore grigio chiaro ed è costituita da frammenti pomicei e vetroso finissimi e da ceneri di composizione alcalina-trachitica. Quando alterata e/o pedogenizzata assume un colore marrone brunastro.

Uno studio eseguito da vari autori (De Vita, Angrisani, Di Clemente - 2008) in una cava a fossa situata nel Comune di Giugliano in Campania, ubicata in località Zaccaria-Settecainati, località posta poco a sud del Campo 2 Sud di progetto, dove la pozzolana affiora con le sue caratteristiche tipiche. Tale affioramento ha messo in evidenza le particolari caratteristiche geologico-tecniche di questo litotipo particolarmente diffuso nell'area di studio.

La cava a fossa è sita nel settore nord-occidentale della Piana Campana e, più precisamente, alla periferia nord del distretto vulcanico dei Campi Flegrei (Fig. 31).

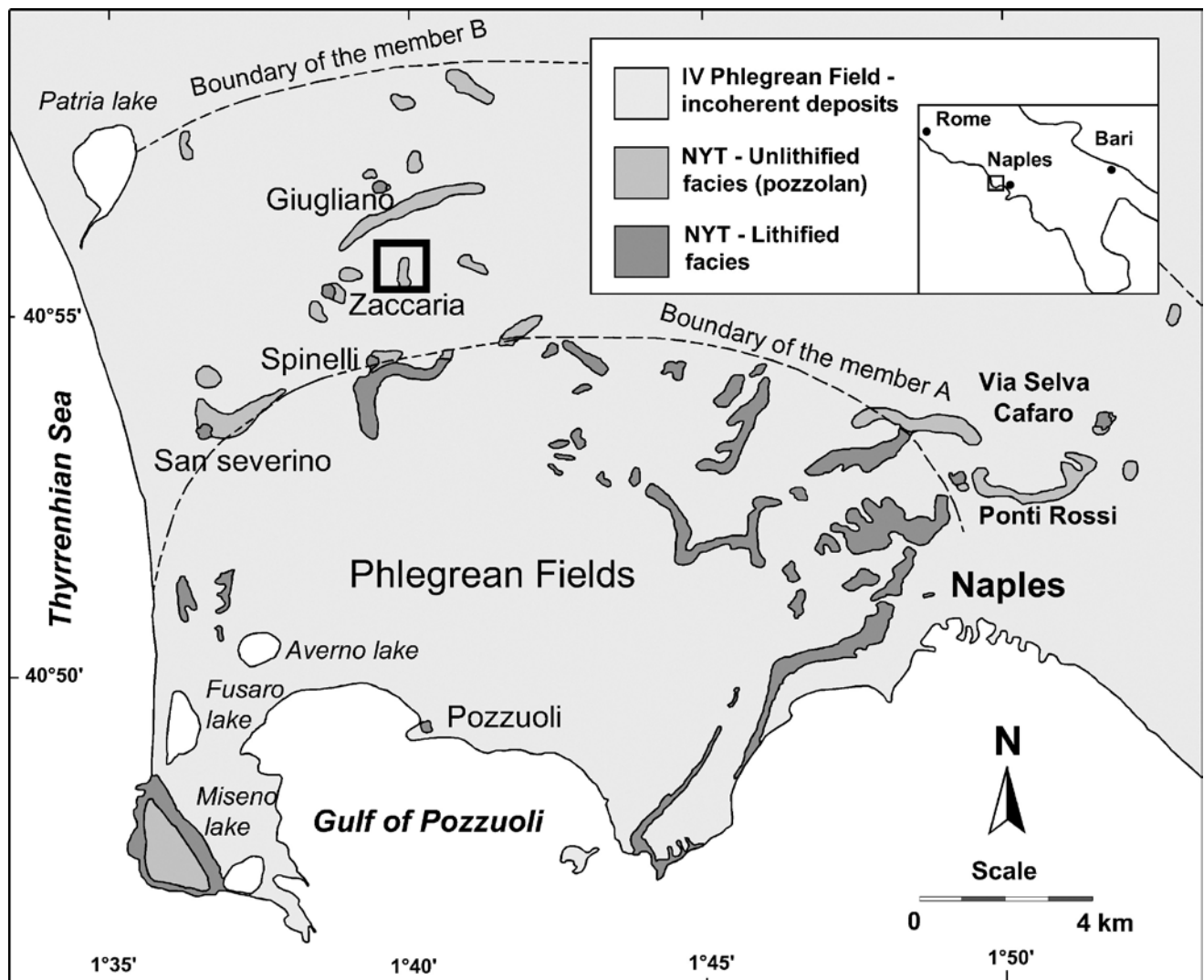


Fig. 31 – Carta geologica dei Campi Flegrei riferita agli affioramenti dei depositi del IV periodo flegreo (8.000-500 anni fa), caratterizzati in prevalenza da piroclastiti sciolte, e del III periodo (35.000-10.500 anni fa), alla cui fine è stato ascrivito il Tufo Giallo Napoletano, distinguibile nella facies litificata (membro A) e non litificata (membro B) (da Cole & Scarpati; 1993). Il quadrato indica l'ubicazione della cava studiata.

La pozzolana, per la sua prevalente componente sabbioso-limoso presenta, tra le altre particolarità tipiche dei depositi piroclastici, una non trascurabile coesione apparente, in condizioni di parziale saturazione.

Nel lavoro citato sono illustrati e commentati i risultati delle indagini sperimentali, di campo e di laboratorio, condotte sulla terra pozzolanica, comprendenti l'identificazione e la classificazione geologico-tecnica dei terreni piroclastici e la stima delle loro proprietà meccaniche e di ritenzione idrica. L'applicazione del modello di resistenza al taglio in condizioni di parziale saturazione ha consentito la valutazione della coesione apparente derivante dalla suzione.

Com'è noto, una delle manifestazioni più importanti dell'attività vulcanica dei Campi Flegrei (De Lorenzo, 1904; Rittmann, 1950a; 1950b; Rosi & Sbrana, 1983; Di Girolamo *et alii*, 1984; Scarpati *et alii*, 1993) è l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (TGN), ascritta alla fine del terzo periodo (35.000-10.500 anni fa) dell'attività vulcanica del distretto dei Campi Flegrei (Di Girolamo *et alii*, 1984), i cui prodotti sono costituiti prevalentemente da pomici, di dimensioni talora notevoli, e frammenti litici (trachite od ossidiana) dispersi in una matrice cineritica prevalentemente grossolana. Tali prodotti presentano composizione variabile da trachitica a fonolitica, probabile conseguenza di una zonazione all'interno della camera magmatica (De Gennaro *et alii*, 2000).

L'età del Tufo Giallo Napoletano è stata oggetto di diverse stime. L'ultima datazione radiometrica ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), effettuata su cristalli di sanidino prelevati da campioni di pomici, ha recentemente attribuito l'età di  $15.473 \pm 292$  anni (D'Insinga *et alii*, 2004).

I depositi del TGN si rinvengono in affioramento o ricoperti dai prodotti piroclastici sciolti del quarto periodo flegreo (8.000-500 anni fa), con tre differenti facies, cui competono caratteristiche geologico-tecniche molto differenti: una facies litoide dal tipico colore giallo, che prende il nome di tufo; una facies intermedia, meno coerente, che prende il nome di Mappamonte e rappresenta la prima fase del processo di zeolitizzazione; la facies sciolta conosciuta come pozzolana, dal tipico colore grigio chiaro e costituita da frammenti pomicei vetrosi finissimi e da ceneri di composizione alcali-trachitica. A differenza della facies litoide, la facies sciolta conserva ancora i caratteri deposizionali primari, non essendo stata soggetta al fenomeno della zeolitizzazione che, dopo la messa in posto, per effetto della circolazione di fluidi ad elevata temperatura (Lirer & Munno, 1975), tende ad obliterare le strutture sedimentarie.

Nella zona di Giugliano in Campania affiorano i due membri in cui è suddivisa la formazione del Tufo Giallo Napoletano (Cole & Scarpati, 1993), il *membro A* ed il *membro B*.

Tali membri poggiano su una breccia poligenica violacea che è associata alla Formazione dell'Ignimbrite Campana ascrivibile al secondo periodo flegreo (42.000-39.000 anni fa) ed è costituita da blocchi scoriacei grossolani di diametro variabile tra 30 e 50 cm, immersi in scarsa matrice (Di Girolamo *et alii*, 1984).

Il **Membro A**, che costituisce la base della Formazione, si è formato attraverso più eventi vulcanici da caduta (Fig. 32), interrotti da una serie di episodi di *surges* piroclastici. Nel deposito si riconoscono sei unità deposizionali (Cole & SCARPATI, 1993) che, dal basso verso l'alto, sono:

- *l'unità A1*, costituita da livelli di cenere arricchita in pomici, frammenti vetrosi, frammenti di feldspati, mica e clasti litici con diametro inferiore a un millimetro e caratterizzata dalla presenza di strutture sedimentarie quali *sand-waves* e laminazioni incrociate che evidenziano un'origine per *surge* piroclastico;
- *l'unità A2*, costituita da strati di ceneri con intercalazioni di lapilli accrezionati, in cui è possibile distinguere laminazioni incrociate;
- *le unità da A3 ad A6*, costituite di strati di ceneri a grana fine con intercalazioni di livelli di pomici e di lapilli da caduta.

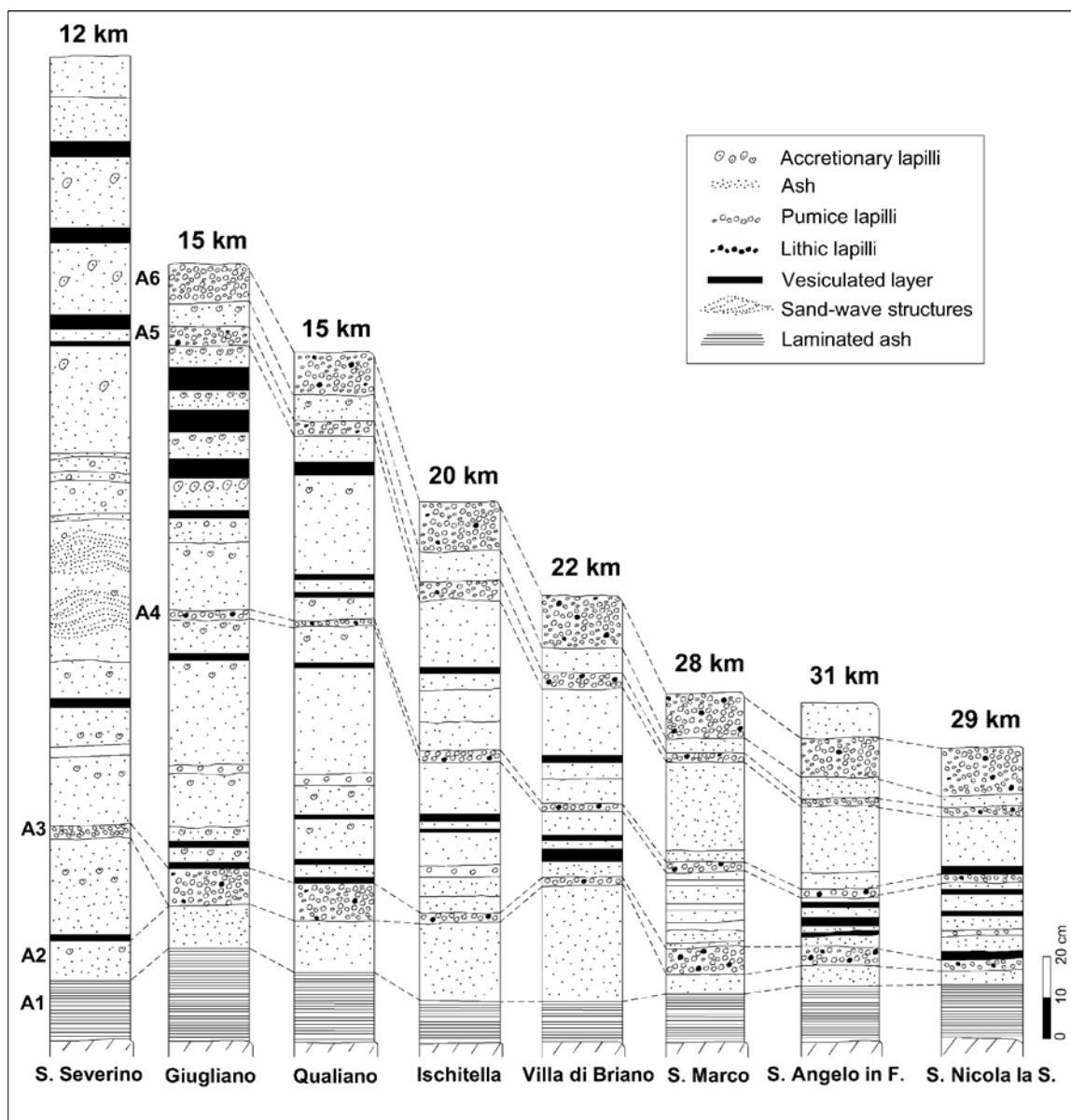


Fig. 32 – Colonne stratigrafiche raffiguranti il membro A e relativa distanza dal centro eruttivo (ridisegnato da COLE & SCARPATI, 1993)



Il **Membro B**, su cui sono state preferenzialmente incentrate le analisi discusse nel lavoro citato, è stato generato dalla seconda fase dell'eruzione del TGN, caratterizzata dalla successione di numerosi flussi piroclastici con regime variabile da turbolento a laminare. Esso si presenta, in funzione dei diversi meccanismi deposizionali, con sei diverse litofacies (Fig. 33).

In particolare, le litofacies riconosciute (Cole & Scarpati, 1993) sono dal basso verso l'alto: *litofacies massiva*, con riempimento di depressioni morfologiche preesistenti (MPV); *litofacies a gradazione inversa* (IG); *litofacies con sandwaves regressive* (RS); *litofacies stratificata* (S); *litofacies con aggregato particellare* (PA); *litofacies con ceneri vescicolari* (VA).

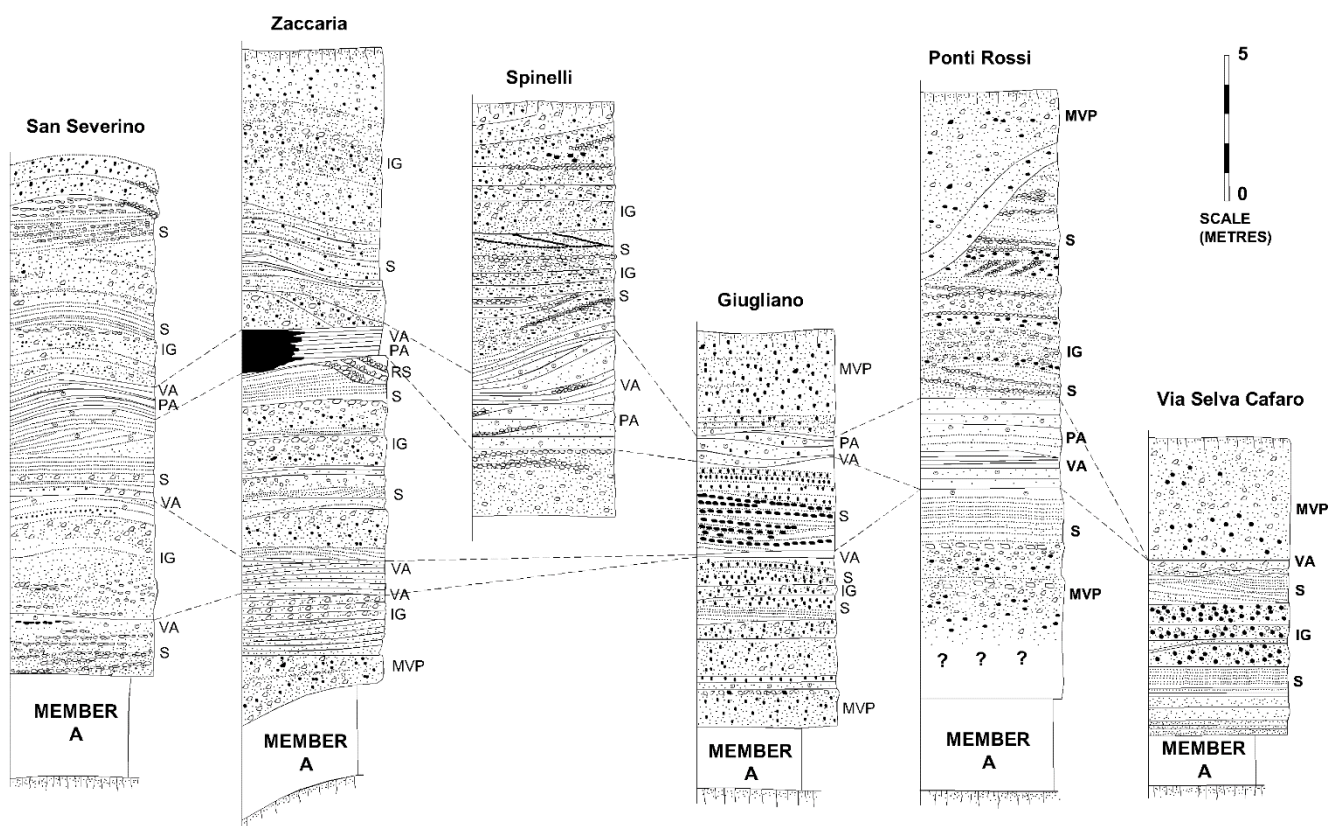


Fig. 33 – Colonne stratigrafiche raffiguranti il membro B (ridisegnato da COLE & SCARPATI, 1993)

Il Membro B si distingue dal membro A per la maggiore dimensione della frazione pomicea, molto porosa, di colore grigio chiaro e dalla forma sub-arrotondata, che si ritrova immersa in una matrice cineritica fine. Questo membro presenta nella zona di Giugliano in Campania uno spessore variabile da 15 a 20 m.

Tra le particolarità che caratterizzano i campioni analizzati prelevati nella cava spicca l'elevata porosità, variabile tra 54.4% e 68.2%, attribuibile soprattutto ai meati interparticellari. Per quanto concerne i limiti di Atterberg, il limite di liquidità ( $W_L$ ) è risultato, per i diversi campioni, compreso tra 43.9 % e 51.8%, mentre il limite di plasticità ( $W_p$ ), determinato col metodo delle resistenze non drenate (Wroth & Wood, 1978), è risultato compreso tra 38.5% e 46.6 %.

Da ciò deriva che l'indice di plasticità (IP) varia tra 3.5% e 7.4%, collocando la pozzolana oggetto di questo studio al limite tra le terre incoerenti e quelle coesive (IP > 5%).

In base ai valori del contenuto d'acqua determinati in sito è quindi possibile attribuire alla pozzolana analizzata, sebbene in maniera incerta, una consistenza semisolido (significativa solo per IP > 5%).

La granulometria dei campioni è prevalentemente sabbiosa. L'analisi delle proprietà di plasticità mediante la carta di plasticità di Casagrande consente di caratterizzare la frazione fine dei campioni come equivalente ad un limo inorganico di modesta plasticità (ML). In base ai caratteri granulometrici ed alle caratteristiche di plasticità della frazione più fine, i campioni sono omogeneamente classificabili nel sistema USCS come sabbia con limo (SM).

Le prove di taglio diretto per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio hanno investigato il campo di tensioni normali compreso tra 40 e 250 kPa. Nell'intervallo di tensione sperimentato, la relazione tra sforzo di taglio a rottura ( $\tau$ ) e tensione normale efficace ( $\sigma'$ ) è risultata lineare con coesione ( $c'$ ), variabile tra 14.7 e 46.1 kPa, ed angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) compreso tra 27.0° e 38.5°. Detti parametri sono ovviamente rappresentativi solo della condizione di saturazione (prova standard) poiché in condizioni di parziale saturazione essi subiscono una significativa variazione, in particolare riguardante la coesione.

## 6.1 Unità litotecniche riscontrate e caratteristiche geotecniche dei terreni

I dati scaturiti dal rilevamento geologico di campagna e dall'insieme delle indagini eseguite in sito e dall'analisi di quelle disponibili per l'area di studio, previo opportune elaborazioni ed interpretazioni, hanno consentito di conoscere il modello geologico del sito in esame e di caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico e dinamico i terreni della porzione di sottosuolo di interesse geotecnico.

La successione stratigrafica delle aree esaminate, dall'alto verso il basso stratigrafico, è formata dalla sovrapposizione regolare ed abbastanza continua di materiali diversi non per origine ma per composizione, messi in posto con differenti modalità. In particolare il sottosuolo indagato è costituito dai seguenti terreni:

- Terreni piroclastici sciolti o poco addensati a granulometria limoso-sabbiosa in debole matrice argillosa, di colore variabile da marrone chiaro al marrone scuro, inglobante minute pomice bianche e giallastre, in posto o rimaneggiate; spessore variabile da 1,50 m a 2,50 m circa.
- Sabbie limose di natura vulcanica, a luoghi debolmente argillose, da poco a mediamente addensate, con inclusi livelli clastici di natura pomicea a grana grossolana (facies distale incoerente del Tufo Giallo Napoletano – Pozzolana propriamente detta), livelli litoidi e strati di limi sabbiosi argillosi; spessore medio pari a circa 14,0 m.

- Tufo Grigio Campano (Ignimbrite campana), granulometricamente associabile ad una sabbia fine da mediamente addensata nei primi metri a ben addensata con la profondità, a tratti anche litificata, di colore grigio scuro; spessore variabile da 30,0 m a 40,0 m circa.

L'analisi e l'elaborazione delle indagini eseguite nei siti studiati ha permesso di riconoscere, a partire dall'attuale piano campagna, le seguenti unità litotecniche caratterizzate dalle caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche appresso descritte:

- un primo strato avente uno spessore medio di circa 2,00 m presso il Campo 1 Nord e di circa 2,50 m presso il Campo 2 Sud, costituito da limo sabbioso di natura piroclastica inglobante piccole pomice, di colore variabile dal marrone chiaro al marrone scuro. Le caratteristiche meccaniche di questa unità litotecnica, come rilevato dalle prove eseguite in sito e in laboratorio, sono modesti. I parametri geotecnici ricavati dalle indagini in sito mostrano valori abbastanza ridotti dei pesi di volume. Il numero dei colpi  $N_{SPT}$  varia da 1 a 5, indicativo di terreni sciolti o poco addensati caratterizzati da valori bassi di resistenza alla punta. Il *peso dell'unità di volume* varia mediamente da 1,40 t/mc a 1,60 t/mc. Il valore dell'*angolo di resistenza al taglio* è mediamente di 25°, quello fatto registrare dalla *coesione drenata* è compreso tra 0,04 Kg/cmq e 0,05 Kg/cmq, mentre la *coesione non drenata* varia tra 0,05 Kg/cmq 0,12 Kg/cmq. Il valore del *modulo elastico* è compreso tra 24 Kg/cmq e 32 Kg/cmq, quello di *compressibilità edometrica* oscilla tra 32 Kg/cmq e 69 Kg/cmq; la densità relativa varia dal 12,30% al 19,76%. Il valore della velocità delle *onde di taglio*  $V_s$  oscilla tra 144 m/s e 225 m/s;
- un secondo strato avente uno spessore variabile dai 6,00 m ai 10,00 m circa m costituito da terreni di natura piroclastica prevalentemente a granulometria sabbiosa da fine a grossolana, in matrice limosa, di colore generalmente grigio chiaro, da poco a moderatamente addensato, con inclusione di livelli clastici di natura pomicea a grana grossolana e livelli litoidi a struttura vacuolare. Le caratteristiche meccaniche evidenziano una certa eterogeneità dello strato per alcuni parametri, tanto che il numero dei colpi  $N_{SPT}$  mediamente varia da 7 a 18, ma in alcuni casi sono risultati anche molto maggiori con interruzione della prova; il *peso dell'unità di volume* oscilla da 1,53 t/mc a 1,91 t/mc; una certa disuniformità si registra invece nei valori dell'*angolo di resistenza al taglio* che è compreso da 25° a 32° e nella *coesione drenata* che varia da 0,10 a 0,20 Kg/cmq. Il valore della *coesione non drenata* varia da 0,18 a 0,44 Kg/cmq mentre la densità relativa oscilla dal 26,78% al 47,59%. Il valore del *modulo elastico* è compreso tra 40 Kg/cmq e 71 Kg/cmq, quello di *compressibilità edometrica* oscilla tra 43 Kg/cmq e 140 Kg/cmq Il valore medio della velocità delle onde di taglio  $V_s$  è compreso tra 194 m/s e 387 m/s.

- Un terzo strato di spessore maggiore 5,0 m costituito prevalentemente da sabbie grossolane, a tratti anche debolmente limose, di colore variabile dal marrone al rossastro fino al giallastro, inglobante verso la base dello strato scorie nere e brandelli di lava. La formazione si presenta da mediamente a molto addensata. In questo strato si è raggiunto il limite di resistenza del terreno delle prove penetrometriche statiche e dinamiche continue, dopo penetrazioni assai modeste. Il tetto dello strato si presenta abbastanza omogeneo. il numero dei colpi  $N_{SPT}$  mediamente varia da 10 a 34, il *peso dell'unità di volume* varia da 1,62 a 1,98 t/mc, l'*angolo di resistenza al taglio* è compreso tra 29 e 32°. La bassa compressibilità dello strato è testimoniata dai valori medio-alti del *modulo elastico* (57÷120 Kg/cmq) e del *modulo di compressibilità edometrica* (54÷200 Kg/cmq circa). Il valore della velocità delle onde di taglio  $V_s$  è compreso tra 368 e 543 m/s.

Per meglio discretizzare i vari orizzonti individuati nei siti esaminati, di seguito si riporta la caratterizzazione fisico-meccanica media dei terreni nell'ambito del volume significativo, dove per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata (direttamente o indirettamente) dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, distinta per le aree che costituiscono il Campo 1 Nord e il Campo 2 Sud.

### **Caratteristiche geotecniche e sismiche per il sito Campo 1 Nord**

#### **Unità litotecnica A – Limo sabbioso debolmente argilloso**

- Spessore medio = 2,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 3
- Densità relativa = 14,36%
- Peso unità di volume = 1,48 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,82 t/mc
- Angolo di attrito = 25,09°
- Coesione drenata = 0,04 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,07 Kg/cmq
- Modulo elastico = 26 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 44 Kg/cmq
- Velocità onde di taglio = 178 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,35
- Modulo di reazione  $K_0$  = 0,43
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 249 Kg/cmq
- Resistenza punta penetrometro statico = 5 Kg/cmq

### **Unità litotecnica B – Sabbia limosa**

- Spessore medio = 6,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 10
- Densità relativa = 34,10%
- Peso unità di volume = 1,69 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,88 t/mc
- Angolo di attrito = 27,92°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,26 Kg/cmq
- Modulo elastico = 50 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 75 Kg/cmq
- Velocità onde di taglio = 276 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,18
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 699 Kg/cmq
- Resistenza punta penetrometro statico = 21 Kg/cmq

### **Unità litotecnica C – Sabbia a tratti debolmente limosa con pomici e litici vulcanici**

- Spessore medio = > 5,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 23
- Densità relativa = 54,35%
- Peso unità di volume = 1,87 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,98 t/mc
- Angolo di attrito = 32,43°
- Coesione drenata = 0,08Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,54 Kg/cmq
- Modulo elastico = 86 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 122 Kg/cmq
- Velocità onde di taglio = 442 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,31
- Modulo di reazione  $K_0$  = 4,25
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 1215 Kg/cmq
- Resistenza punta penetrometro statico = 44 Kg/cmq

### **Caratteristiche geotecniche e sismiche per il sito Campo 2 Sud**

#### **Unità litotecnica A – Limo sabbioso debolmente argilloso**

- Spessore medio = 2,60 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 3
- Densità relativa = 15,67%
- Peso unità di volume = 1,46 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,69 t/mc
- Angolo di attrito = 26,80°
- Coesione drenata = 0,044 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,08 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 27 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 47 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 202 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,35
- Modulo di reazione  $K_0$  = 0,55
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 272 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 6 Kg/cm<sup>q</sup>

#### **Unità litotecnica B – Sabbia limosa**

- Spessore medio = 7,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 11
- Densità relativa = 34,50%
- Peso unità di volume = 1,71 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,87 t/mc
- Angolo di attrito = 29,11°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,27 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 55 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 83 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 297 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,26
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 718 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 22 Kg/cm<sup>q</sup>

### **Unità litotecnica C – Limo sabbioso debolmente argilloso**

- Spessore medio = 1,30 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 6
- Densità relativa = 23,07%
- Peso unità di volume = 1,63 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,84 t/mc
- Angolo di attrito = 26,41°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,15 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 35 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 49 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 380 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,34
- Modulo di reazione  $K_0$  = 1,18
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 451 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 12 Kg/cm<sup>q</sup>

### **Unità litotecnica D – Tufo giallo napoletano litoide**

- Spessore medio = 1,30 m
- Peso unità di volume = 1,57 t/mc
- Angolo di attrito = 36,50°

### **Unità litotecnica E – Sabbia a tratti debolmente limosa con pomici e litici vulcanici**

- Spessore medio = > 5,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 13
- Densità relativa = 37,12%
- Peso unità di volume = 1,72 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,97 t/mc
- Angolo di attrito = 29,18°
- Coesione drenata = 0,08 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,31 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 58 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 90 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 455 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,56
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 791 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 25 Kg/cm<sup>q</sup>

## 7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche

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

Nei siti esaminati sono state eseguite in totale n°6 prospezioni sismiche del tipo **M.A.S.W.** (*Multichannel Analysis of Surface Waves* ovvero *Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti nell'area di studio e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17.01.2018).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle prospezioni sismiche superficiali M.A.S.W. eseguite nelle aree esaminate.

#### Coordinate geografiche delle prospezioni M.A.S.W. eseguite presso il Campo 1 Nord

Stendimento	Direzione	Latitudine	Longitudine
Mw 1	N-S	40.956315° N	14.116674° E
Mw 2	E-O	40.951916° N	14.122566° E
Mw 3	NE-SO	40.947693° N	14.126976° E

#### Coordinate geografiche delle prospezioni M.A.S.W. eseguite presso il Campo 2 Sud

Stendimento	Direzione	Latitudine	Longitudine
Mw 4	E-O	40.940137° N	14.079458° E
Mw 5	E-O	40.942593° N	14.071735° E
Mw 6	N-S	40.936707° N	14.076882° E

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 34) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ .

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



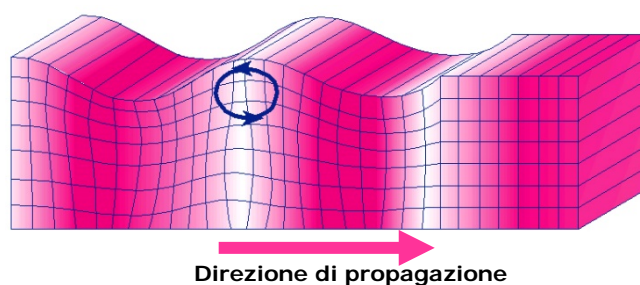


Fig. 34 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume. In aggiunta, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione sismica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17.01.2018). Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 35).

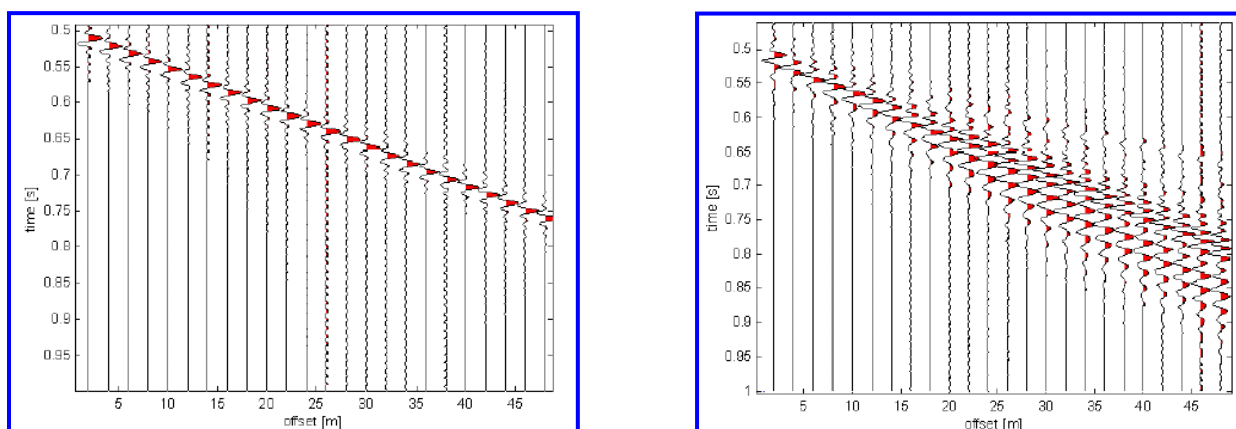


Fig. 35 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 36).

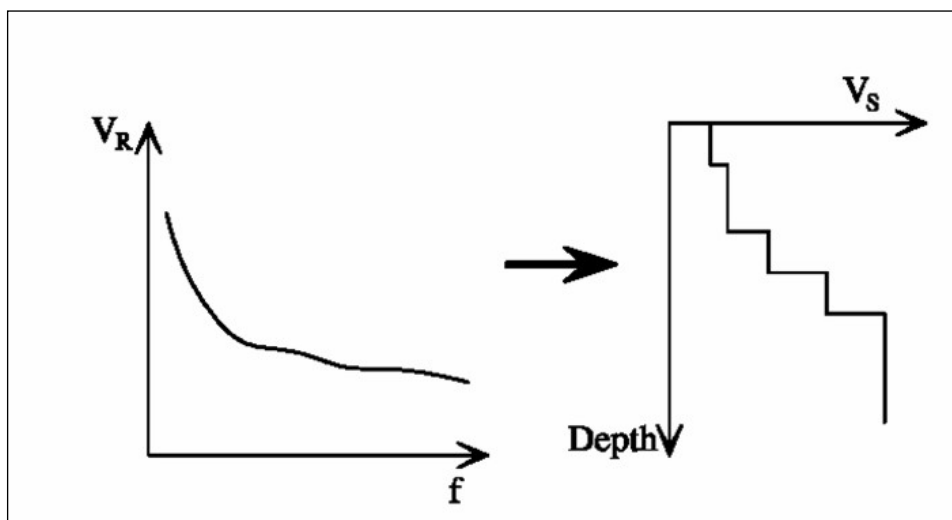


Fig. 36 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

Il metodo MASW (basato sull'analisi della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh) consente una dettagliata ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo. L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

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

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

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

Lo schema dello stendimento sismico è riprodotto nella seguente figura (Fig. 37).

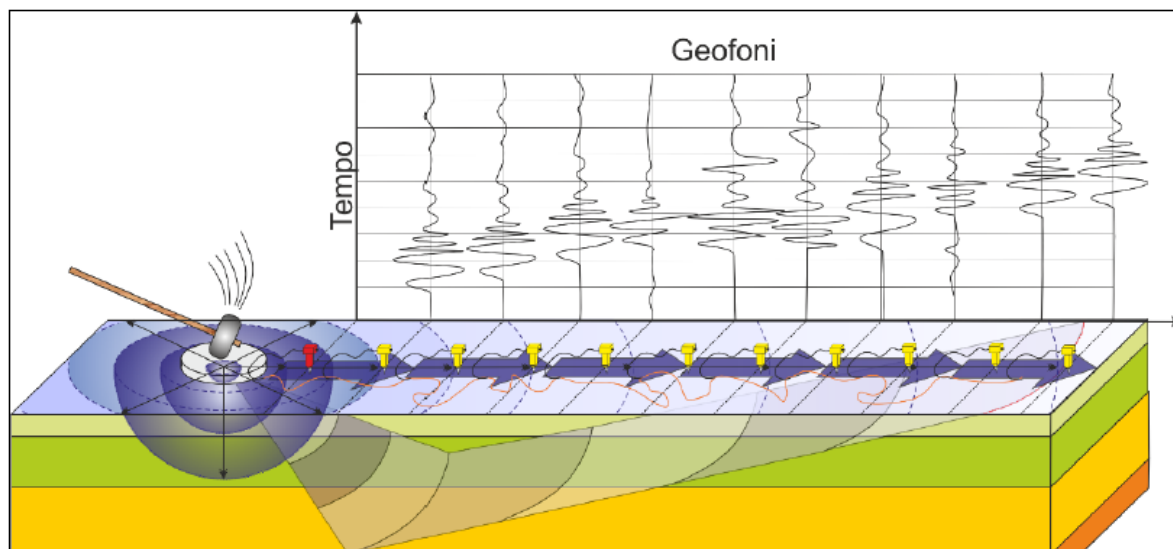


Fig. 37 – Schema dello stendimento sismico

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

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 38).

## Dispersion Image

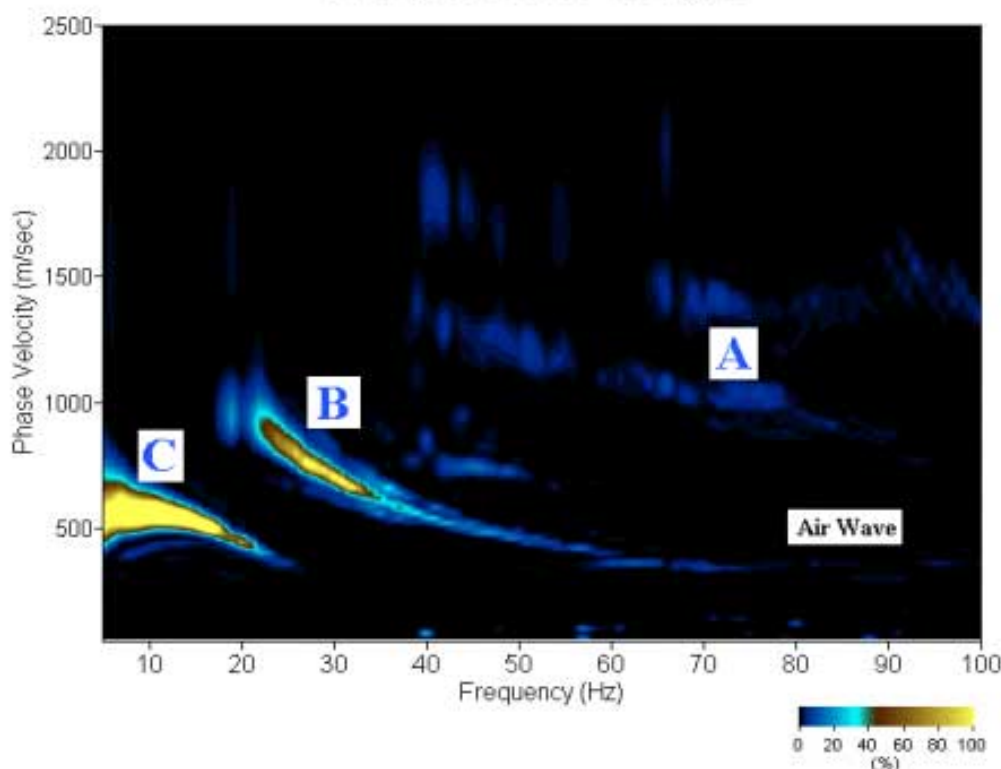


Fig. 38 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 35. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

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

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

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

Prospezioni sismiche	Geofoni (n°)	Offset (m)	Spacing (m)	Lunghezza complessiva dello stendimento (m)
Campo 1 Nord	24	1,50	6,00	40,50
Campo 2 Sud				

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 36 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali e non convenzionali.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset e spacing predefiniti (Tab. 1).

La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 31,00 metri dal piano campagna di riferimento. Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.048$  s, sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5$  ms.

La frequenza di campionamento è data da:

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

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

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

La frequenza minima dei segnali è data da:

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

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

Gli elaborati relativi alle prospezioni sismiche M.A.S.W. effettuate nei siti di specifico interesse sono di seguito riportati (Figg. 39-81).

**Prospezione sismica M.A.S.W. Mw1 eseguita presso il sito "Campo 1 Nord"**

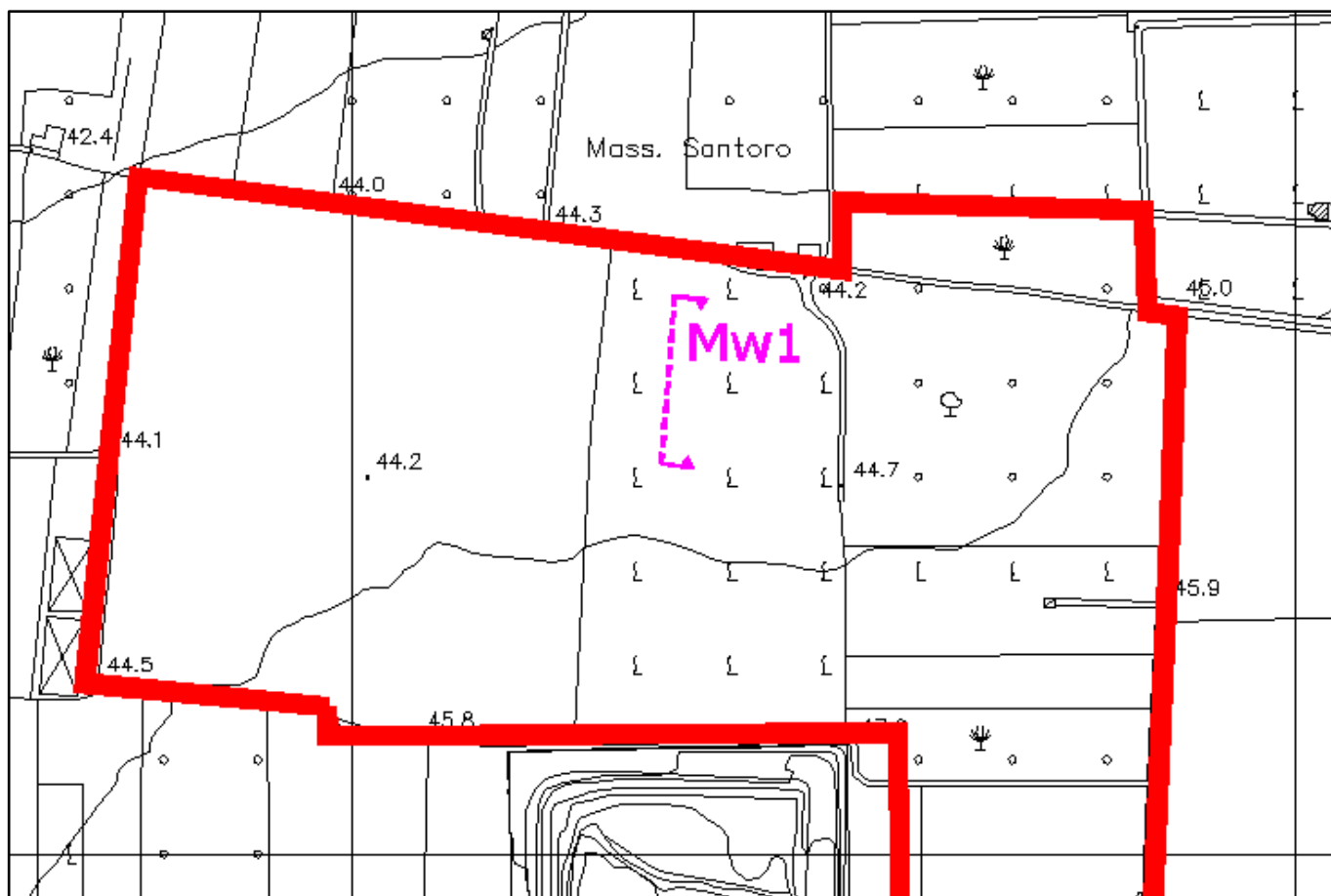


Fig. 39 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw1 nell'area d'intervento "Campo 1 Nord"

**Dati sperimentali Mw1**

Numero di ricevitori .....	24
Distanza tra i sensori: .....	1,50 m
Numero di campioni temporali .....	2048
Passo temporale di acquisizione .....	2 ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....	0 ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	4094 ms

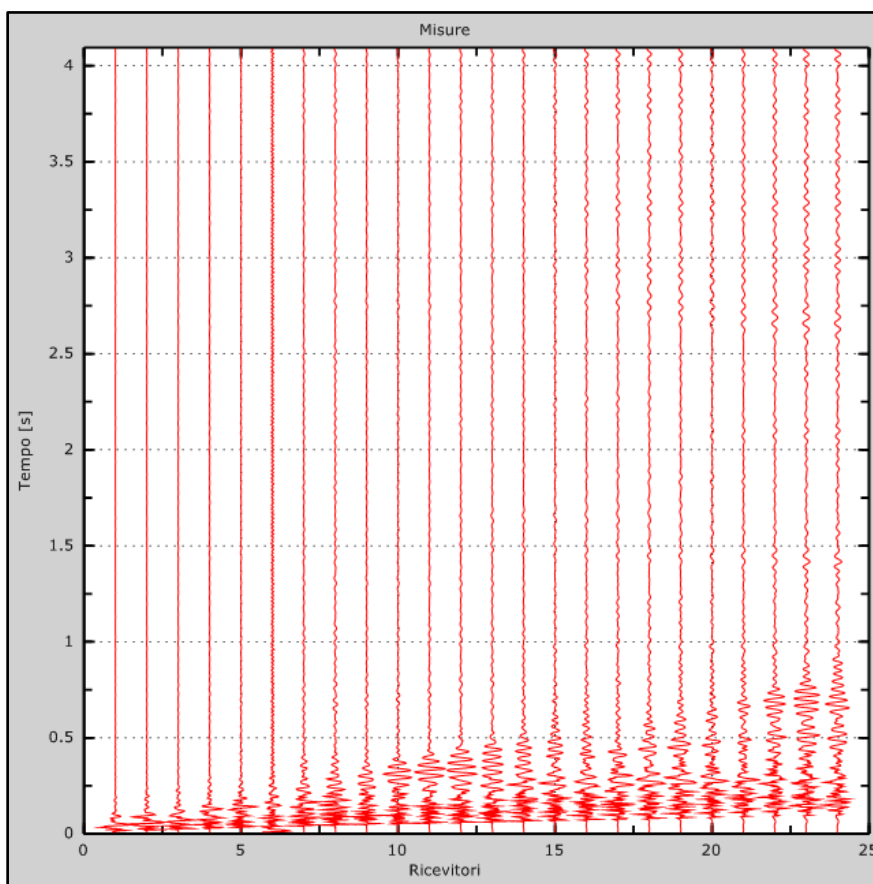


Fig. 40 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw1 (tracce sperimentali)

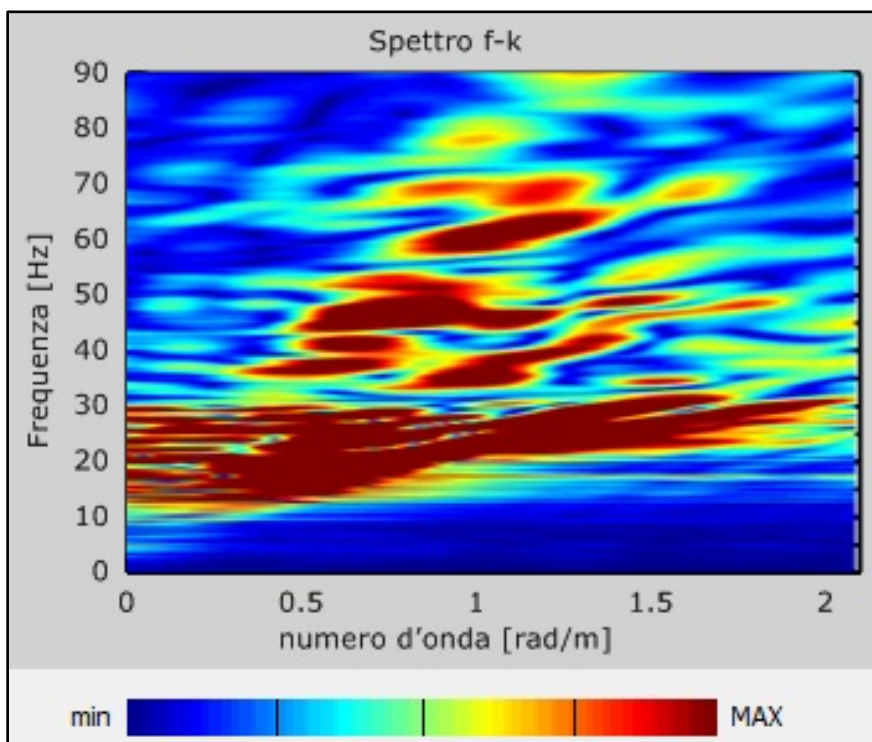


Fig. 41 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw1**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz

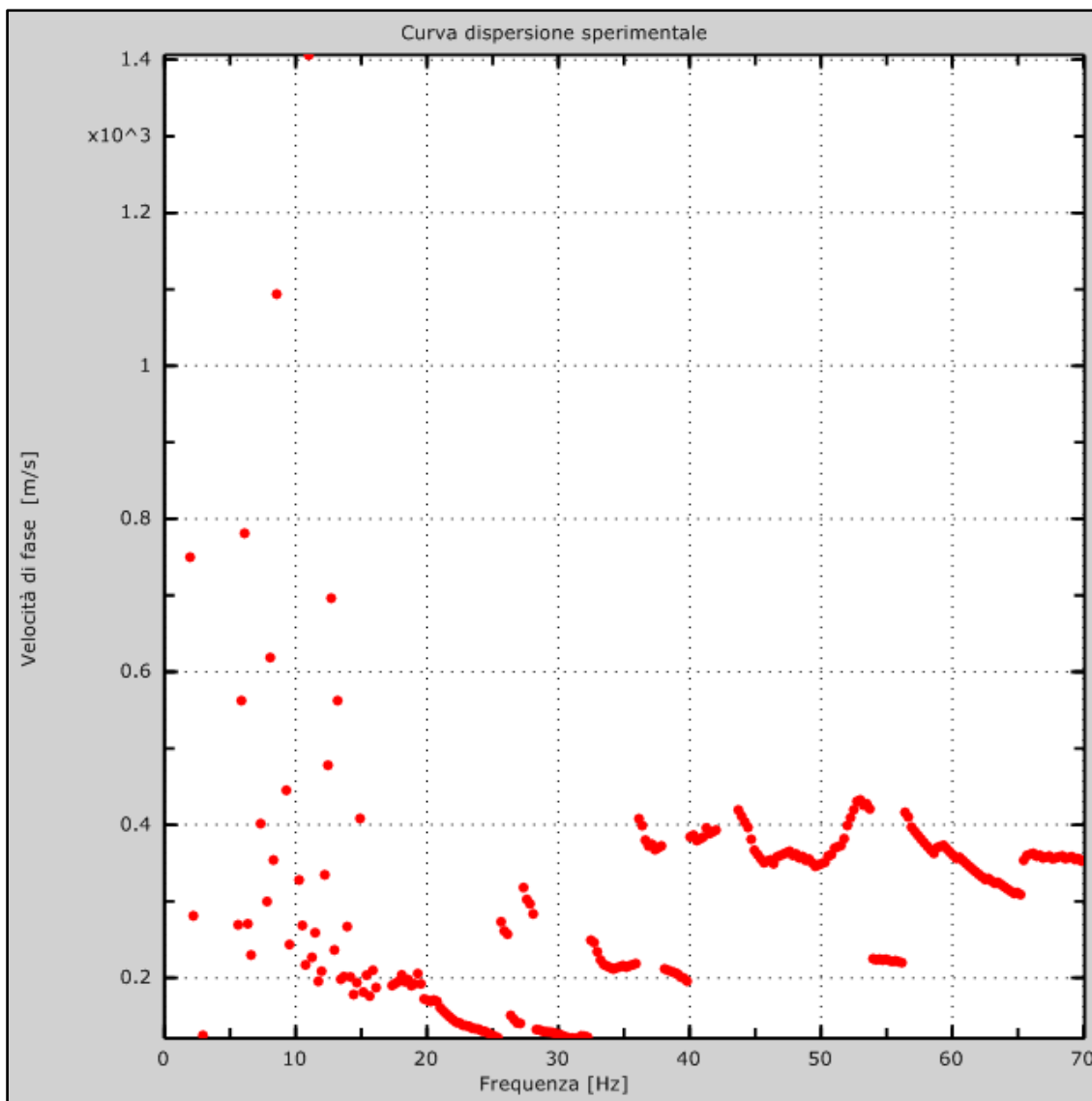


Fig. 42 – Curva di dispersione sperimentale



### Curva di dispersione Mw1

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.10471	738.066	727.393	748.739
5.186	567.299	553.068	581.53
6.94673	421.435	403.647	439.224
9.32373	339.609	321.821	357.398
11.7888	268.456	261.341	275.572
14.694	222.207	207.976	236.437
17.3351	193.746	186.63	200.861
20.4164	179.515	172.4	186.63
34.7664	204.419	190.188	218.649
39.6964	197.303	186.63	207.976
55.279	215.092	204.419	225.765

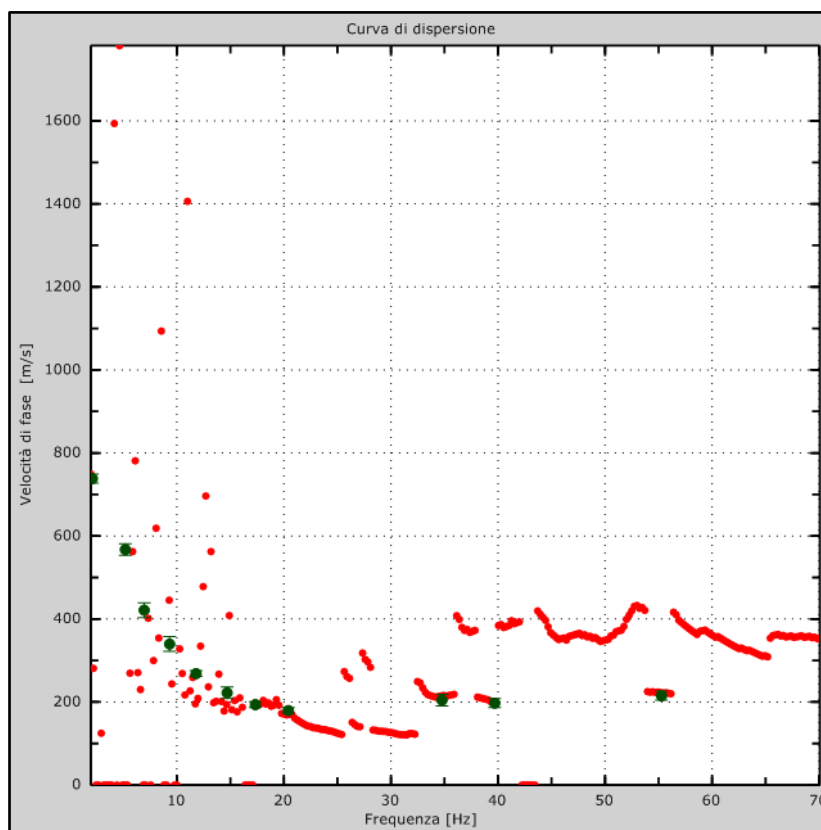


Fig. 43 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw1

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw1 – Campo 1 Nord

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,80	1,80	189	Non presente	Non alluvionale
S2	1,80 – 4,00	2,20	200	Non presente	Non alluvionale
S3	4,00 – 6,80	2,80	247	Non presente	Non alluvionale
S4	6,80 – 10,70	3,90	298	Non presente	Non alluvionale
S5	10,70 – 14,90	4,20	377	Non presente	Non alluvionale
S6	14,90 – 19,80	4,90	402	Non presente	Non alluvionale
S7	19,80 – 25,00	5,20	468	Non presente	Non alluvionale
S8	25,00 – 30,80	5,80	502	Non presente	Non alluvionale

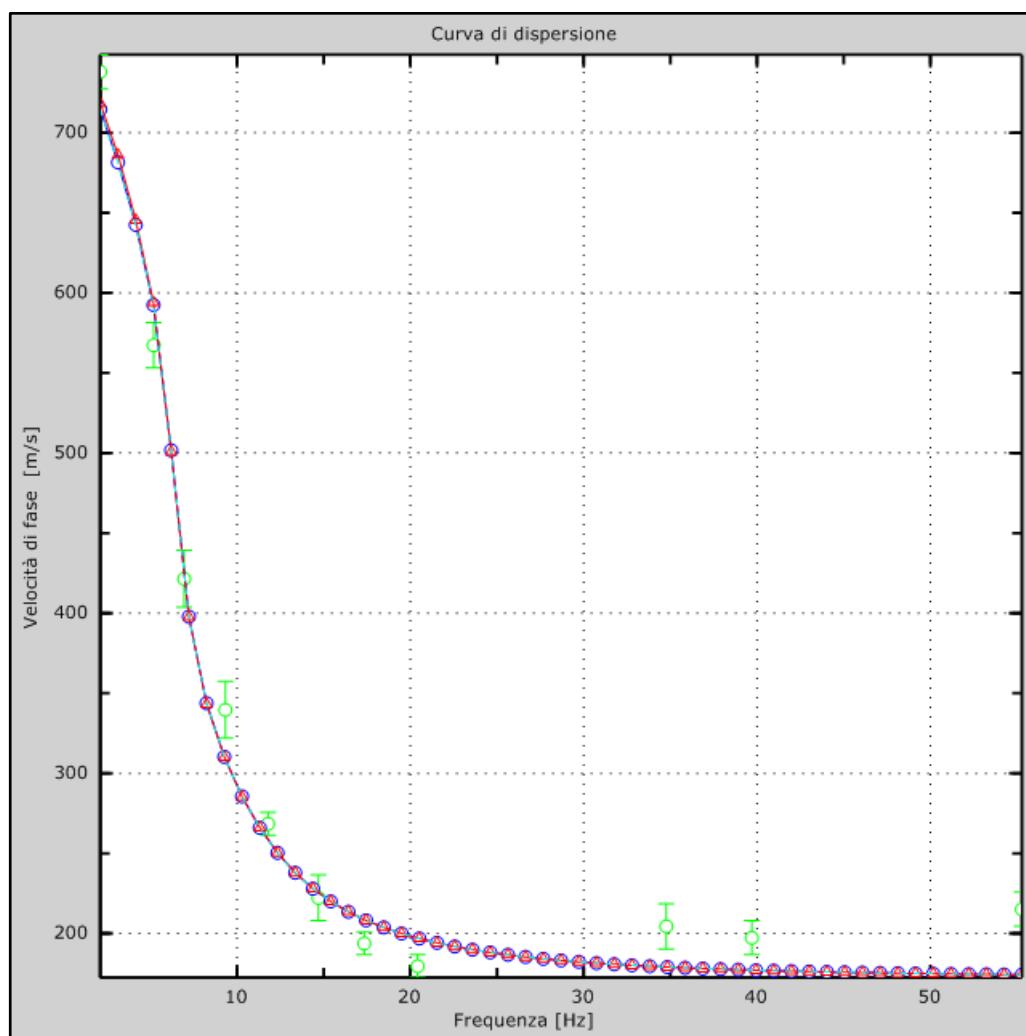


Fig. 44 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

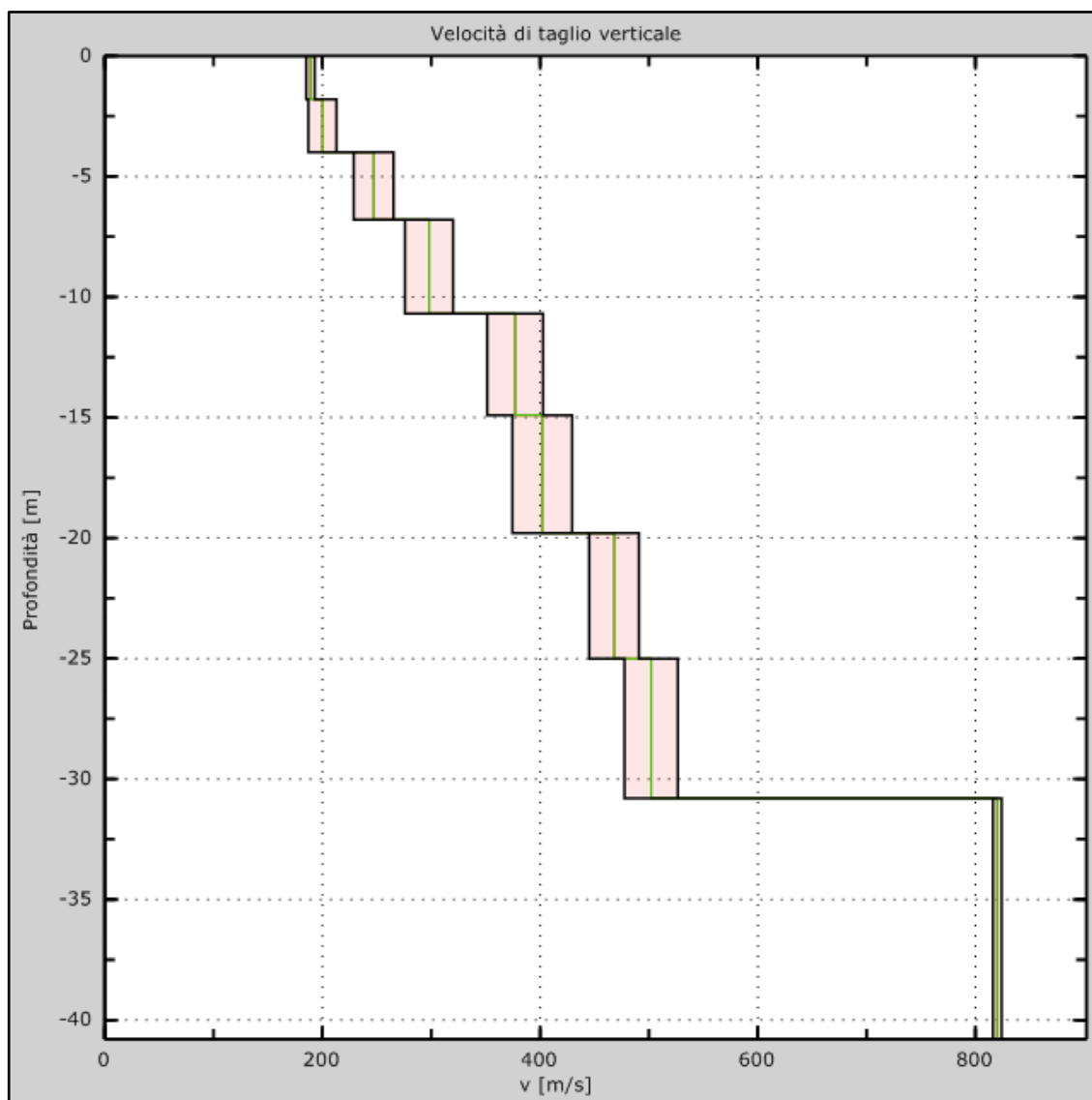


Fig. 45 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

**Prospezione sismica M.A.S.W. Mw2 eseguita presso il sito "Campo 1 Nord"**

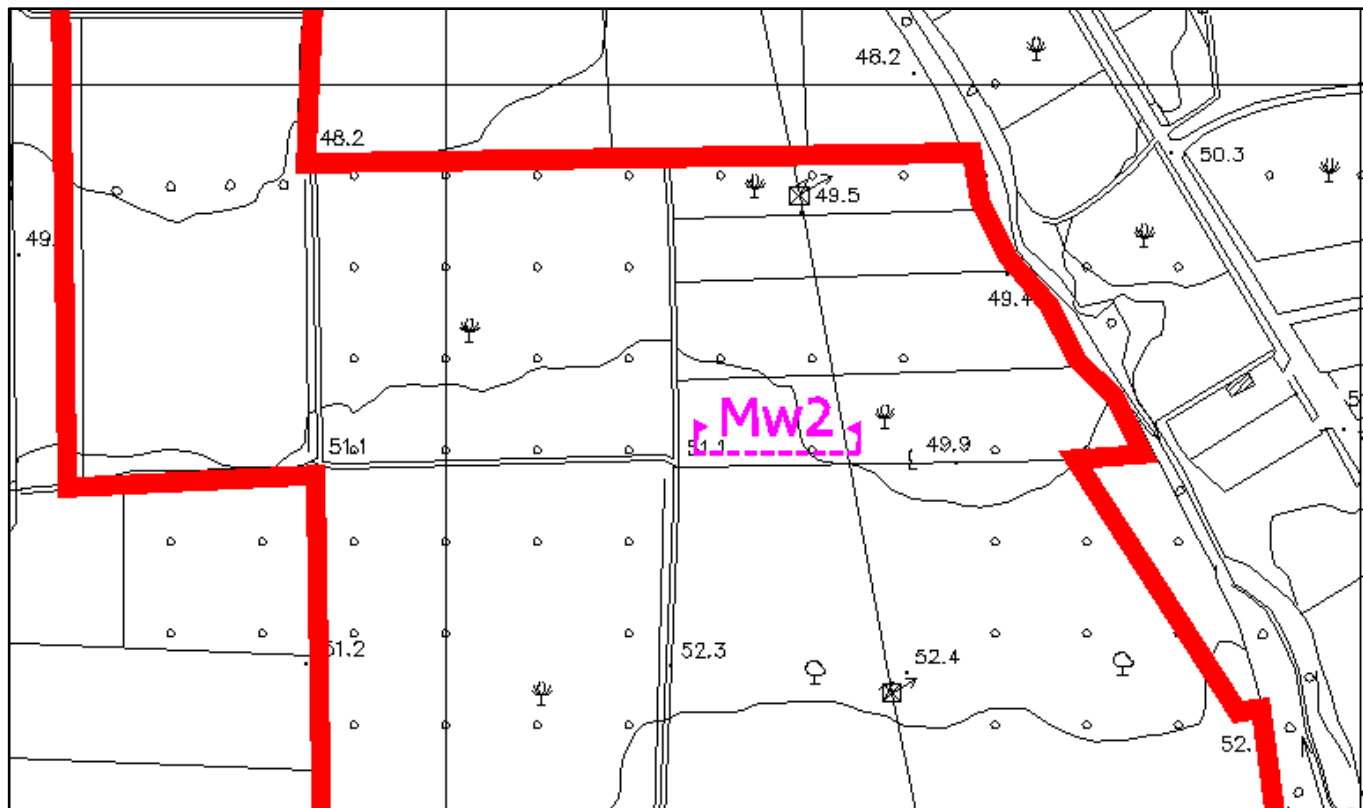


Fig. 46 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw2 nell'area d'intervento "Campo 1 Nord"

**Dati sperimentali Mw2**

Numero di ricevitori .....	24
Distanza tra i sensori: .....	1.5m
Numero di campioni temporali .....	4096
Passo temporale di acquisizione .....	2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	8190ms

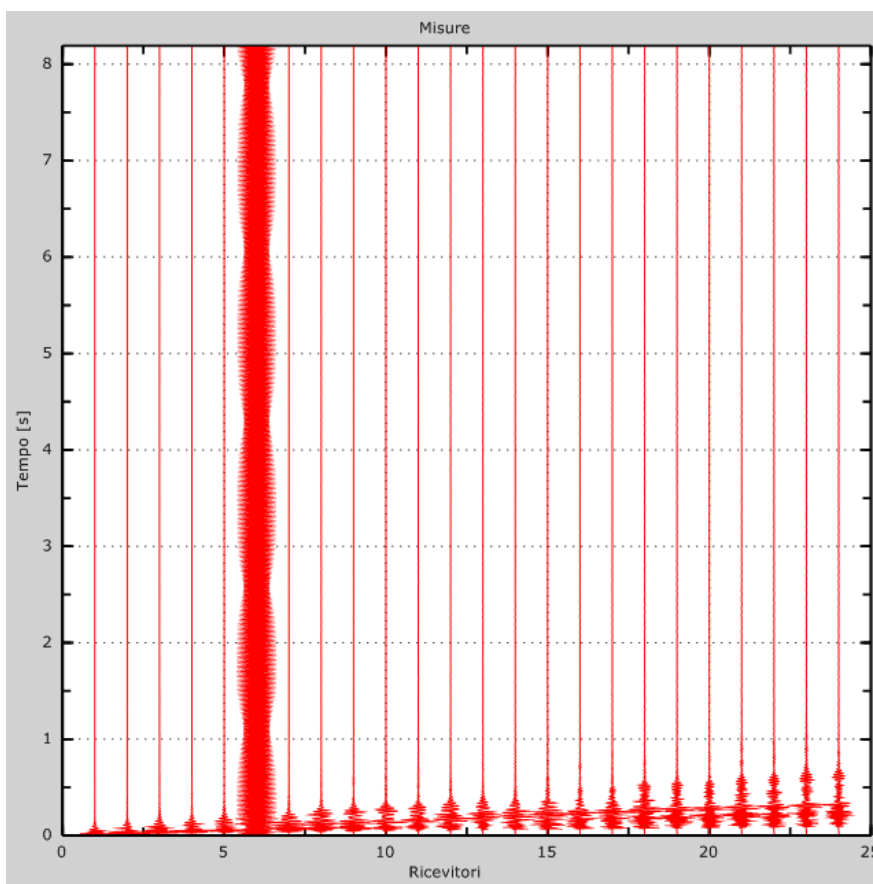


Fig. 47 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw2 (tracce sperimentali)

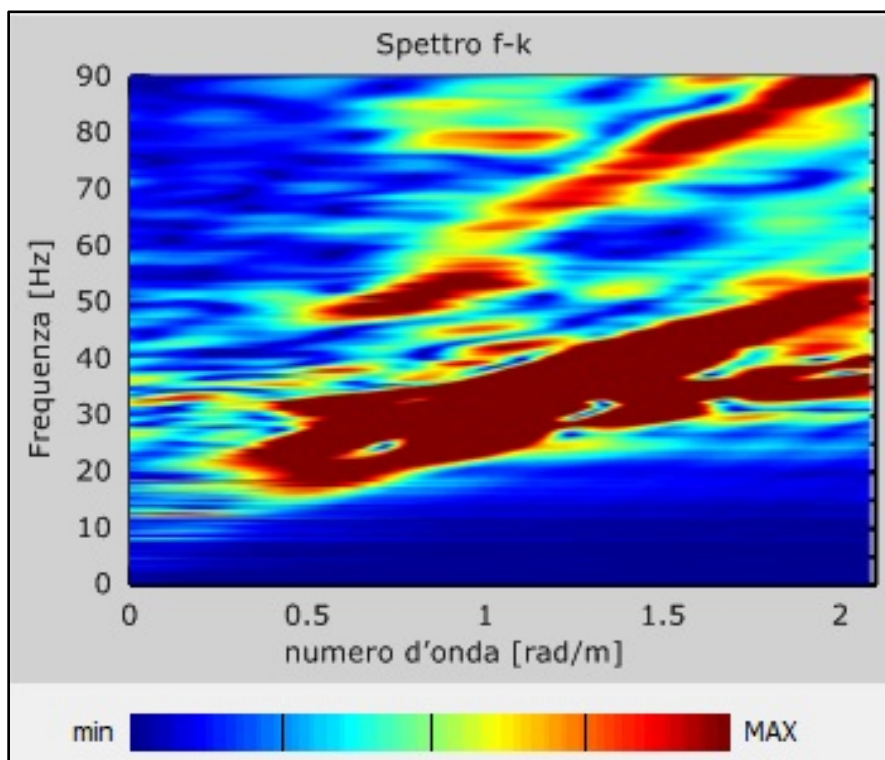


Fig. 48 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw2**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz

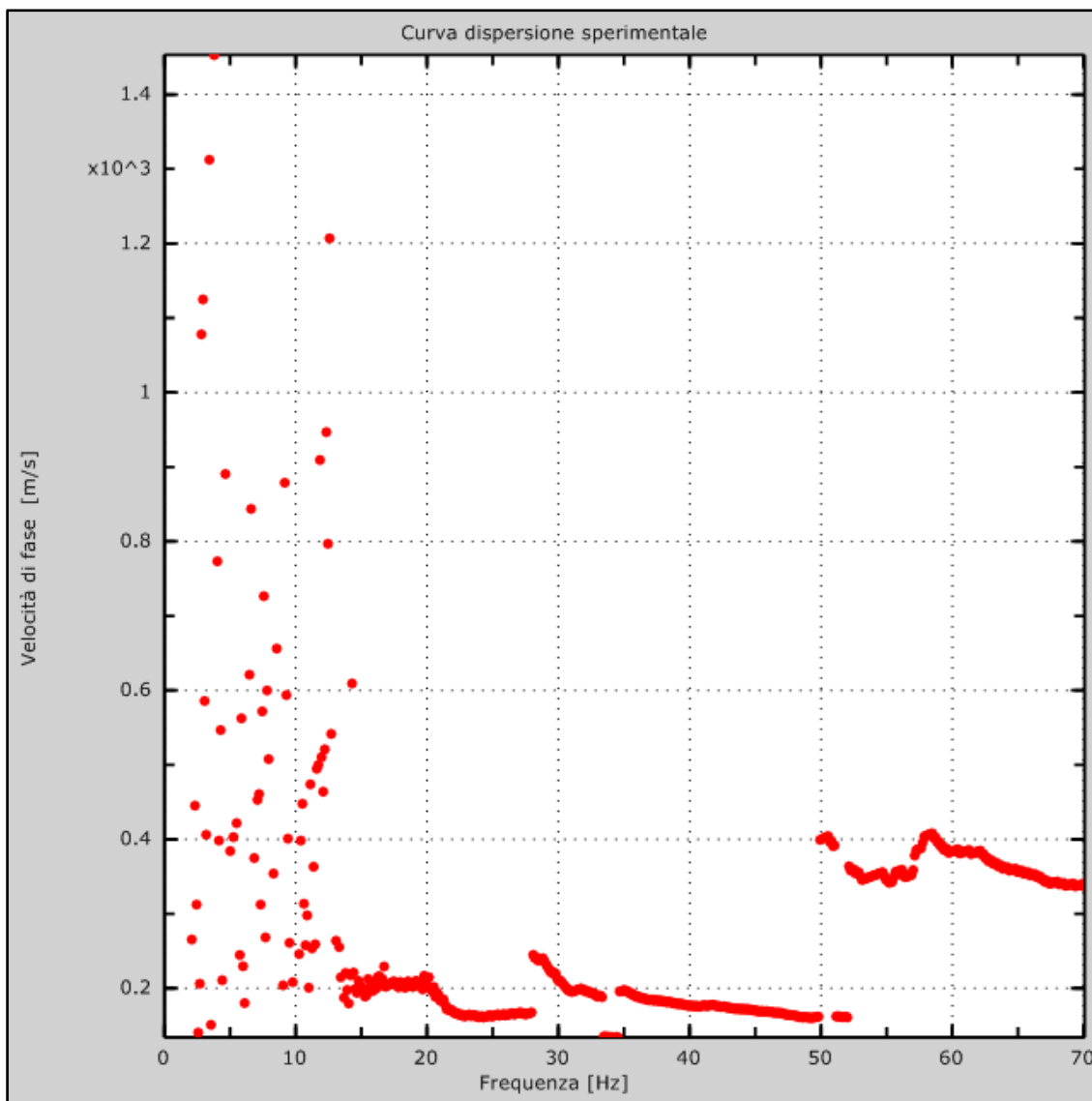


Fig. 49 – Curva di dispersione sperimentale

### Curva di dispersione Mw2

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.19274	615.665	607.894	623.436
3.60133	565.156	561.27	569.041
5.53814	483.564	471.908	495.22
7.12281	413.628	409.742	417.513
8.79551	343.692	328.151	359.233
11.3486	269.871	262.1	277.641
13.5495	223.247	215.476	231.017
18.0394	215.476	199.935	231.017
20.9446	199.935	188.279	211.591
28.1636	192.164	180.508	203.82
33.6219	188.279	180.508	196.049
40.1366	172.737	164.967	180.508
46.1231	180.508	172.737	188.279

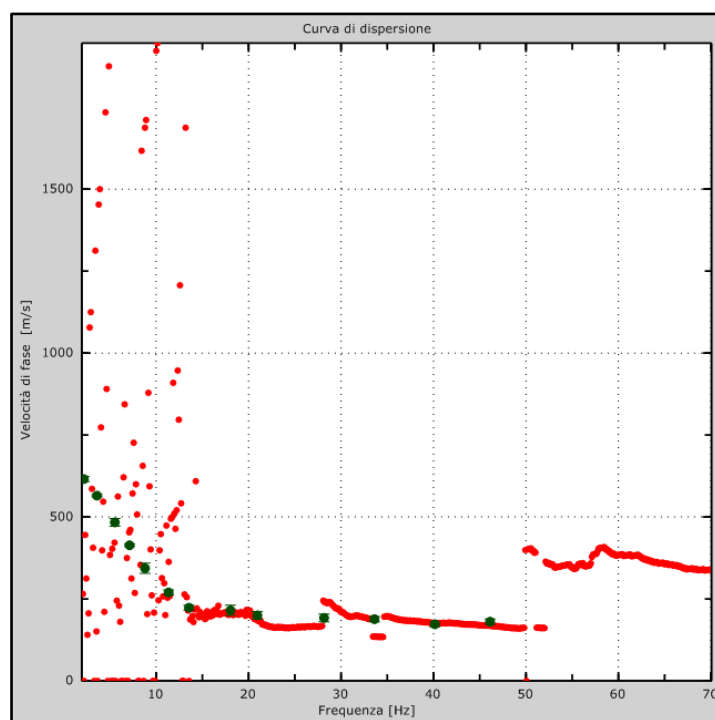


Fig. 50 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw2

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw2 – Campo 1 Nord

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,80	1,80	201	Non presente	Non alluvionale
S2	1,80 – 4,50	2,70	222	Non presente	Non alluvionale
S3	4,50 – 7,00	2,50	248	Non presente	Non alluvionale
S4	7,00 – 10,80	3,80	300	Non presente	Non alluvionale
S5	10,80 – 15,00	4,20	382	Non presente	Non alluvionale
S6	15,00 – 19,80	4,80	407	Non presente	Non alluvionale
S7	19,80 – 25,10	5,30	460	Non presente	Non alluvionale
S8	25,10 – 30,70	5,60	498	Non presente	Non alluvionale

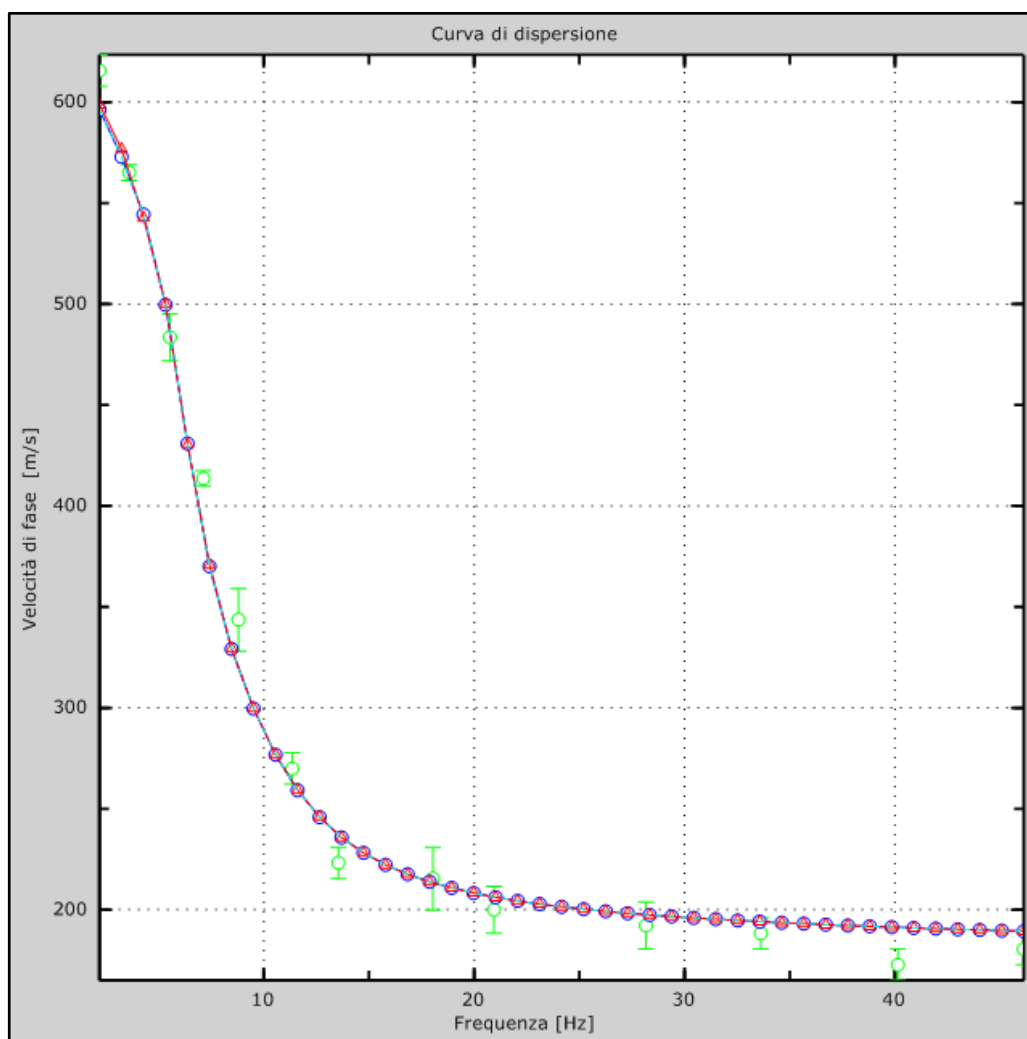


Fig. 51 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



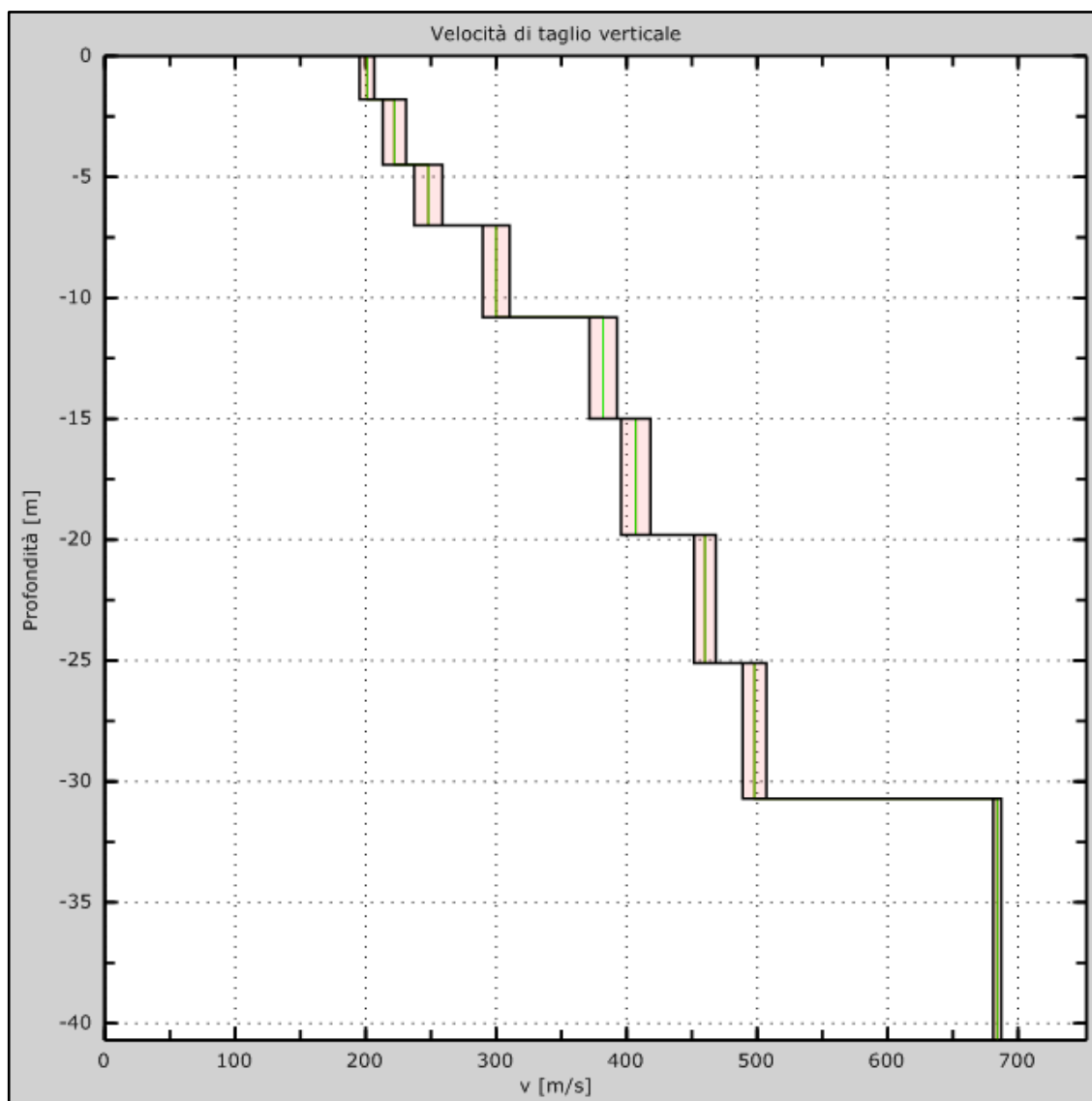


Fig. 52 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

**Prospezione sismica M.A.S.W. Mw3 eseguita presso il sito "Campo 1 Nord"**

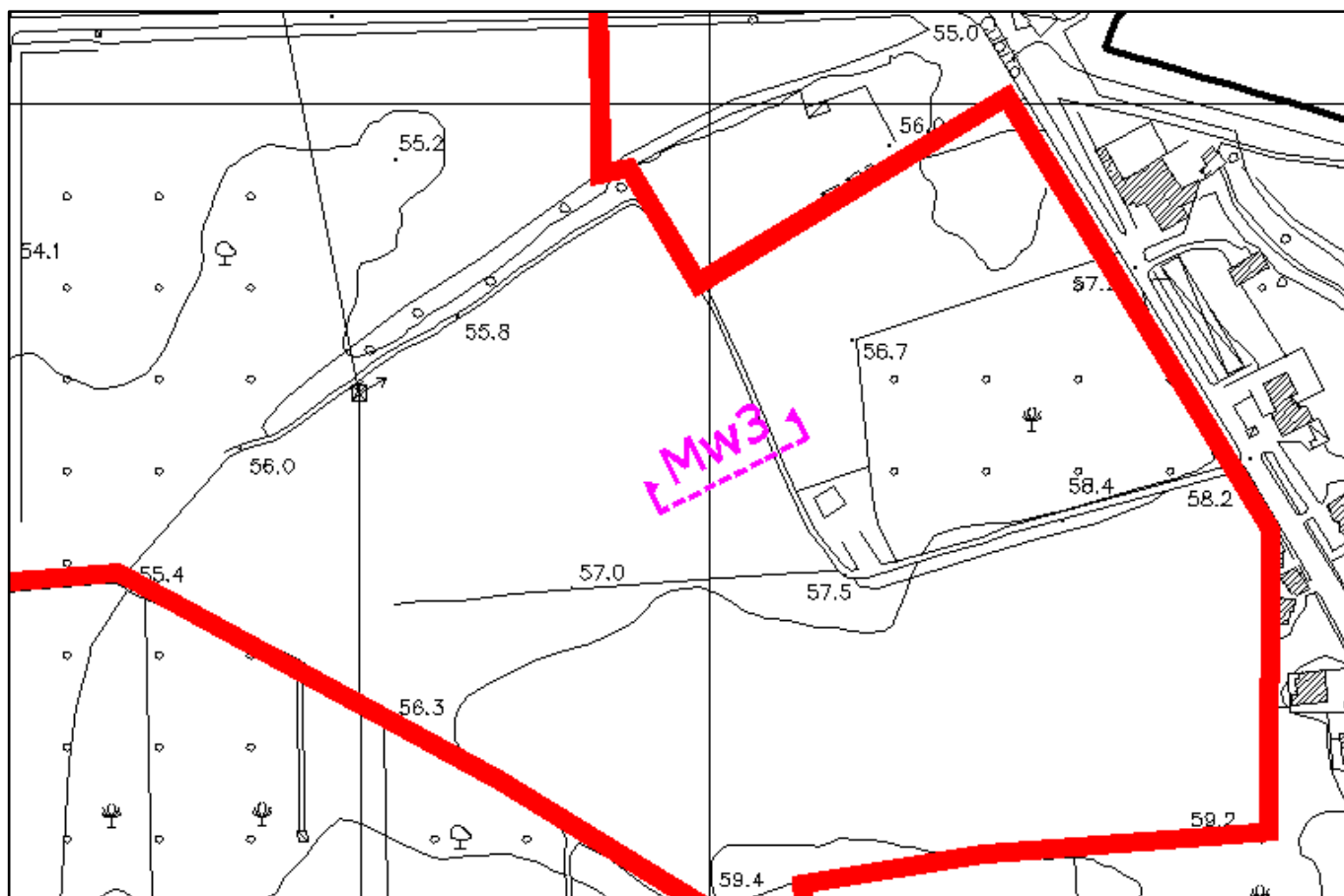


Fig. 54 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw3 nell'area d'intervento "Campo 1 Nord"

**Dati sperimentali Mw3**

Numero di ricevitori .....	24
Distanza tra i sensori: .....	1,50 m
Numero di campioni temporali .....	2048
Passo temporale di acquisizione .....	2 ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....	0 ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	4094 ms

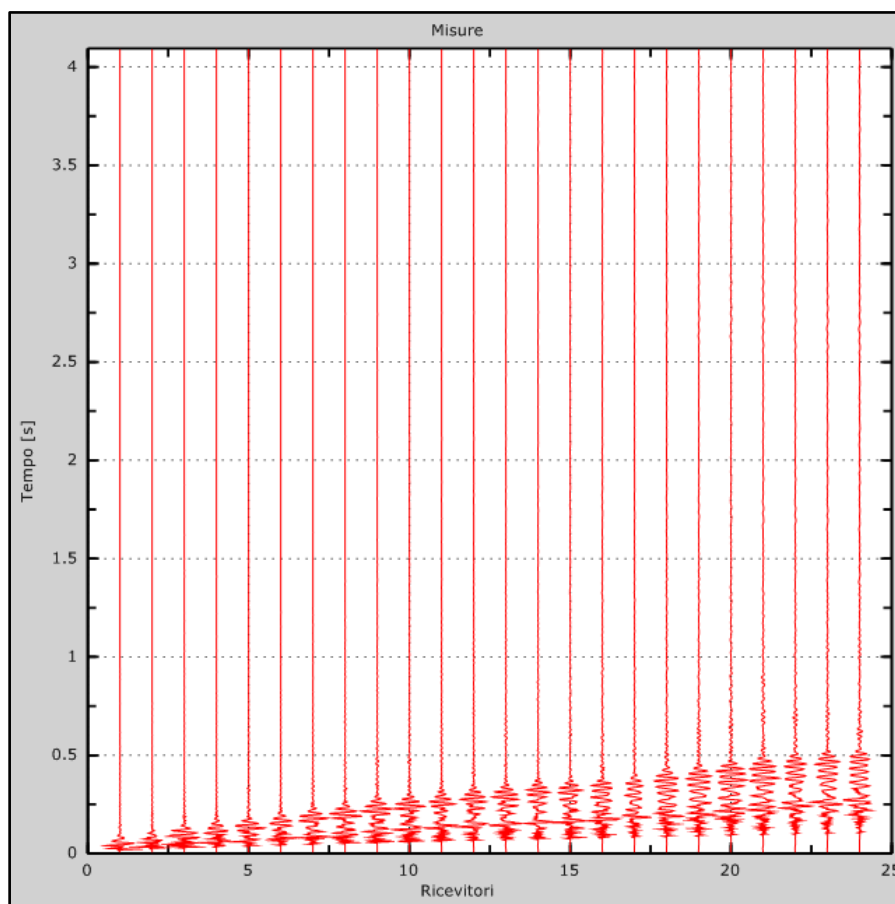


Fig. 55 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw3 (tracce sperimentali)

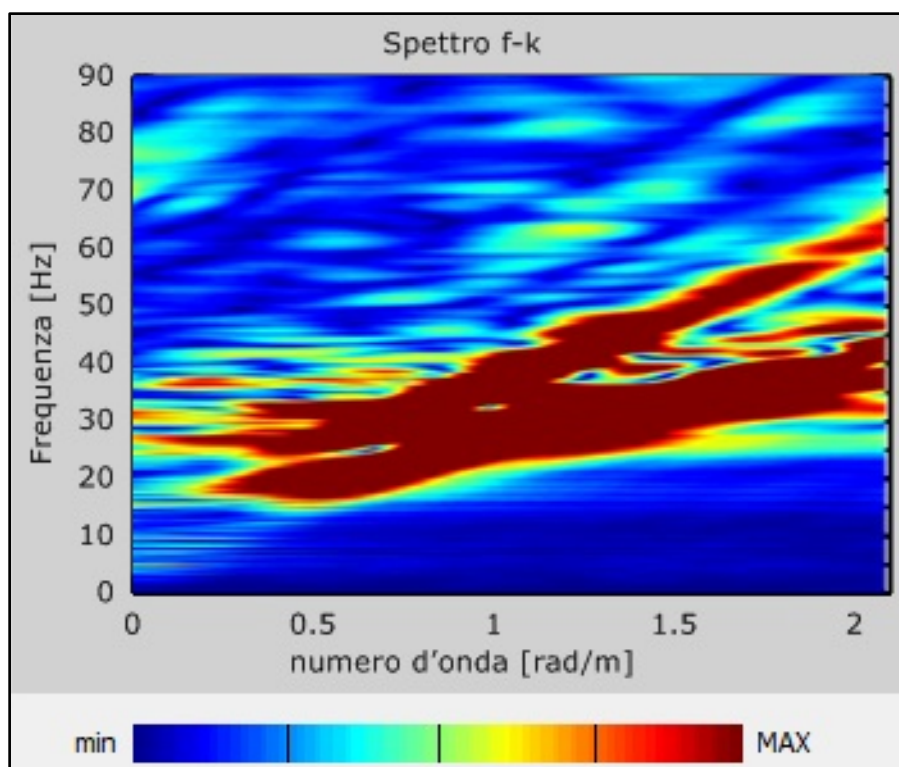
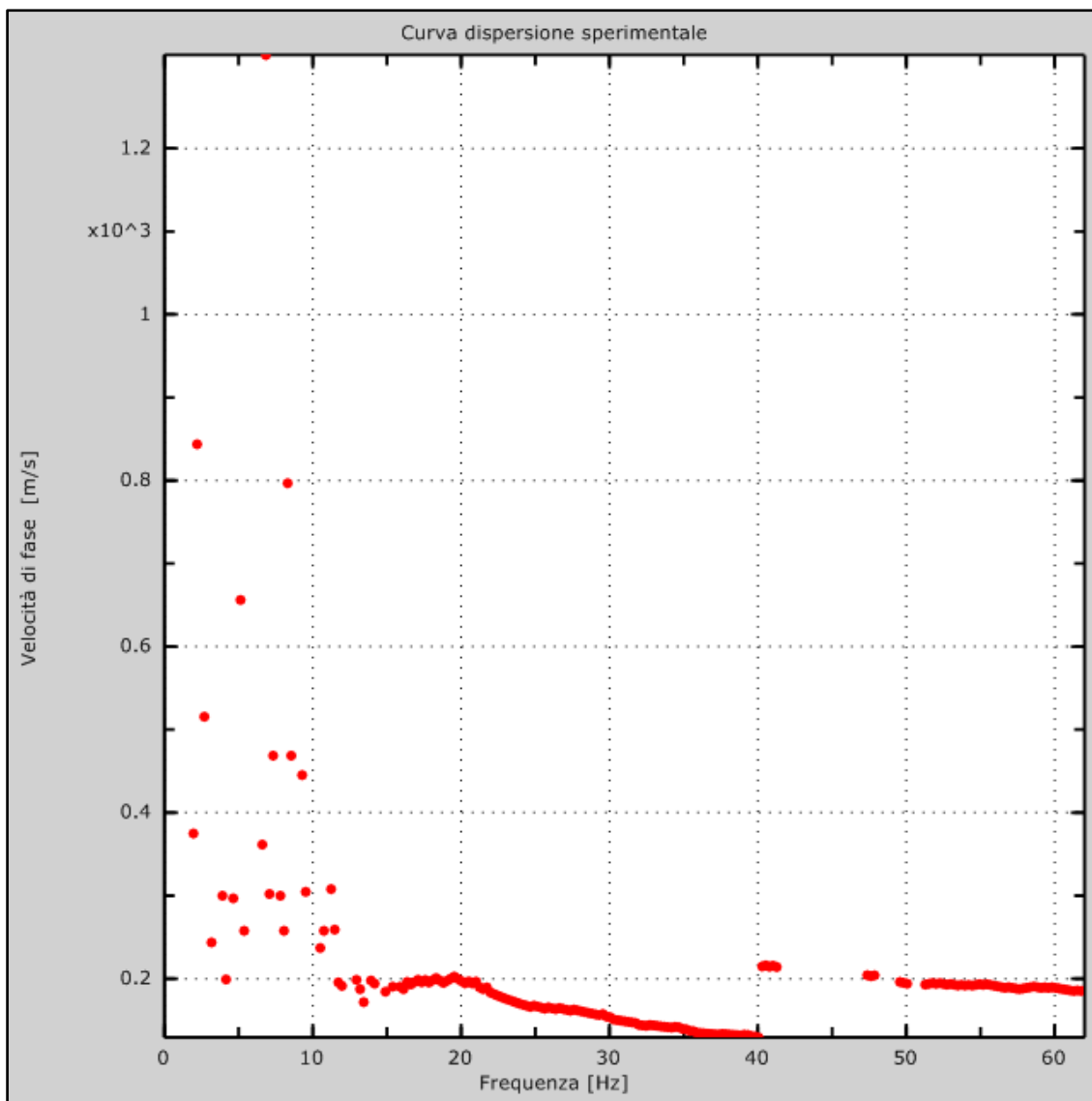


Fig. 56 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw1**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz



*Fig. 57 – Curva di dispersione sperimentale*

### Curva di dispersione Mw3

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.28078	452.088	444.224	459.953
3.95348	399.66	391.796	407.524
6.33048	331.503	328.881	334.124
8.44336	273.831	268.588	279.074
10.9084	218.781	203.053	234.51
14.1658	197.81	189.946	205.674
18.8317	197.81	192.567	203.053
24.378	179.46	171.596	187.324
29.6602	158.489	150.624	166.353
35.6468	142.76	140.139	145.381
40.4007	129.653	124.41	134.896

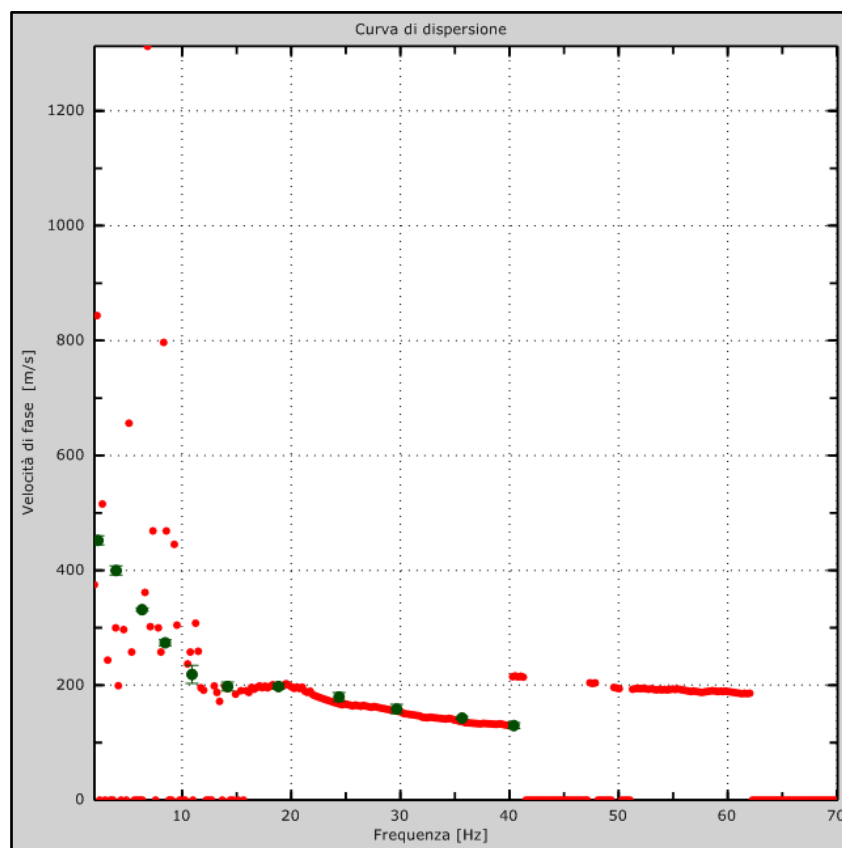


Fig. 58 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw3

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw3 – Campo 1 Nord

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,70	1,70	144	Non presente	Non alluvionale
S2	1,70 – 4,00	2,30	199	Non presente	Non alluvionale
S3	4,00 – 6,10	2,10	220	Non presente	Non alluvionale
S4	6,10 – 10,30	4,20	243	Non presente	Non alluvionale
S5	10,30 – 13,80	3,50	304	Non presente	Non alluvionale
S6	13,80 – 19,30	5,50	368	Non presente	Non alluvionale
S7	19,30 – 24,20	4,90	410	Non presente	Non alluvionale
S8	24,20 – 30,30	6,10	459	Non presente	Non alluvionale

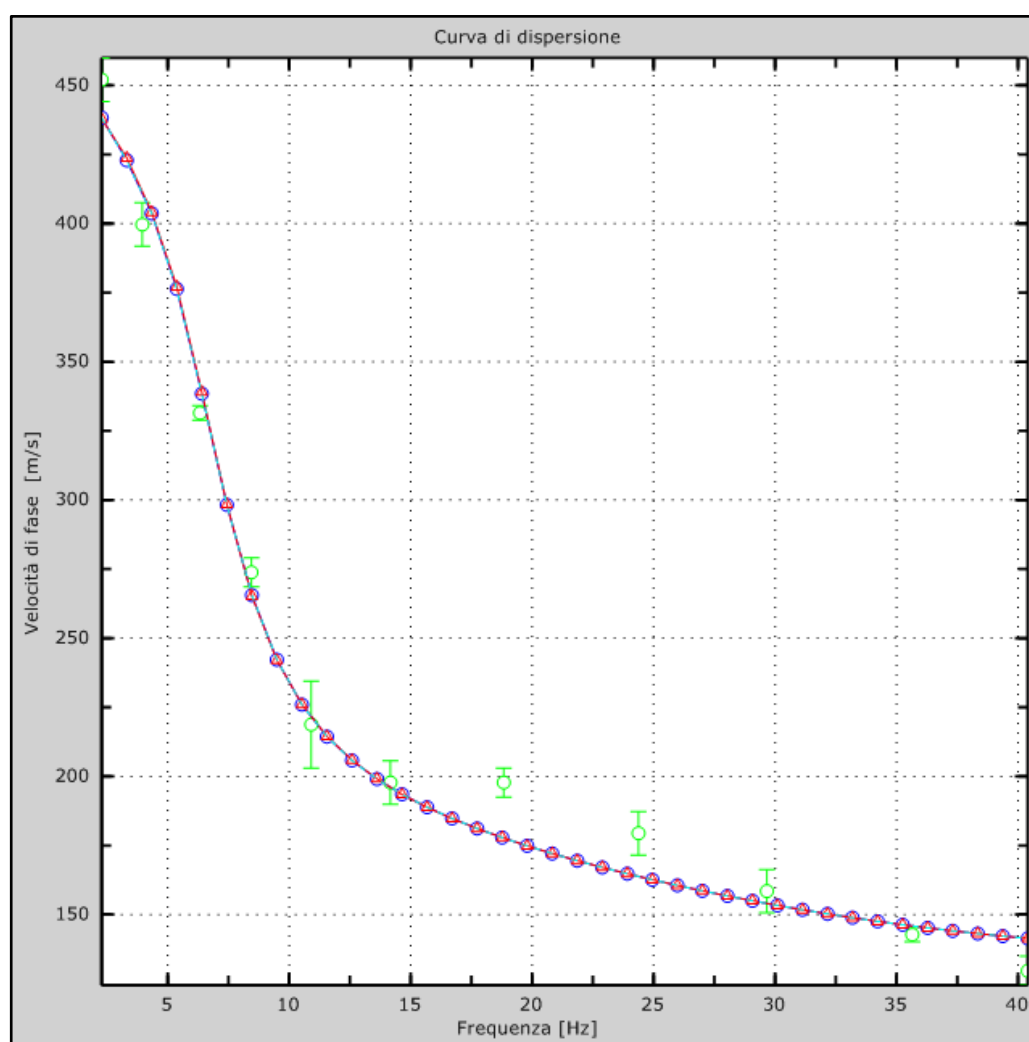


Fig. 59 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

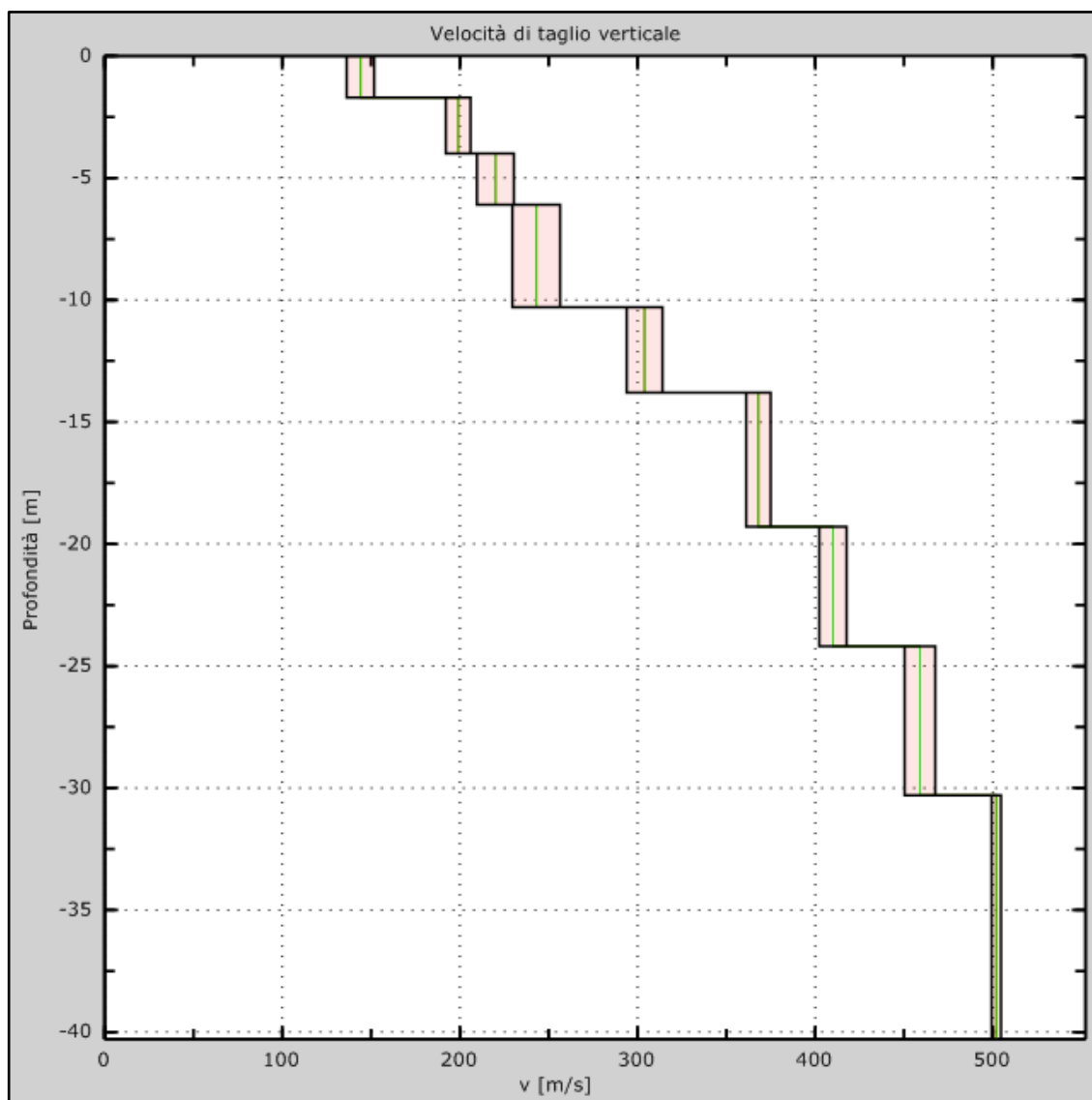


Fig. 60 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

### Prospezione sismica M.A.S.W. Mw4 eseguita presso il sito "Campo 2 Sud"

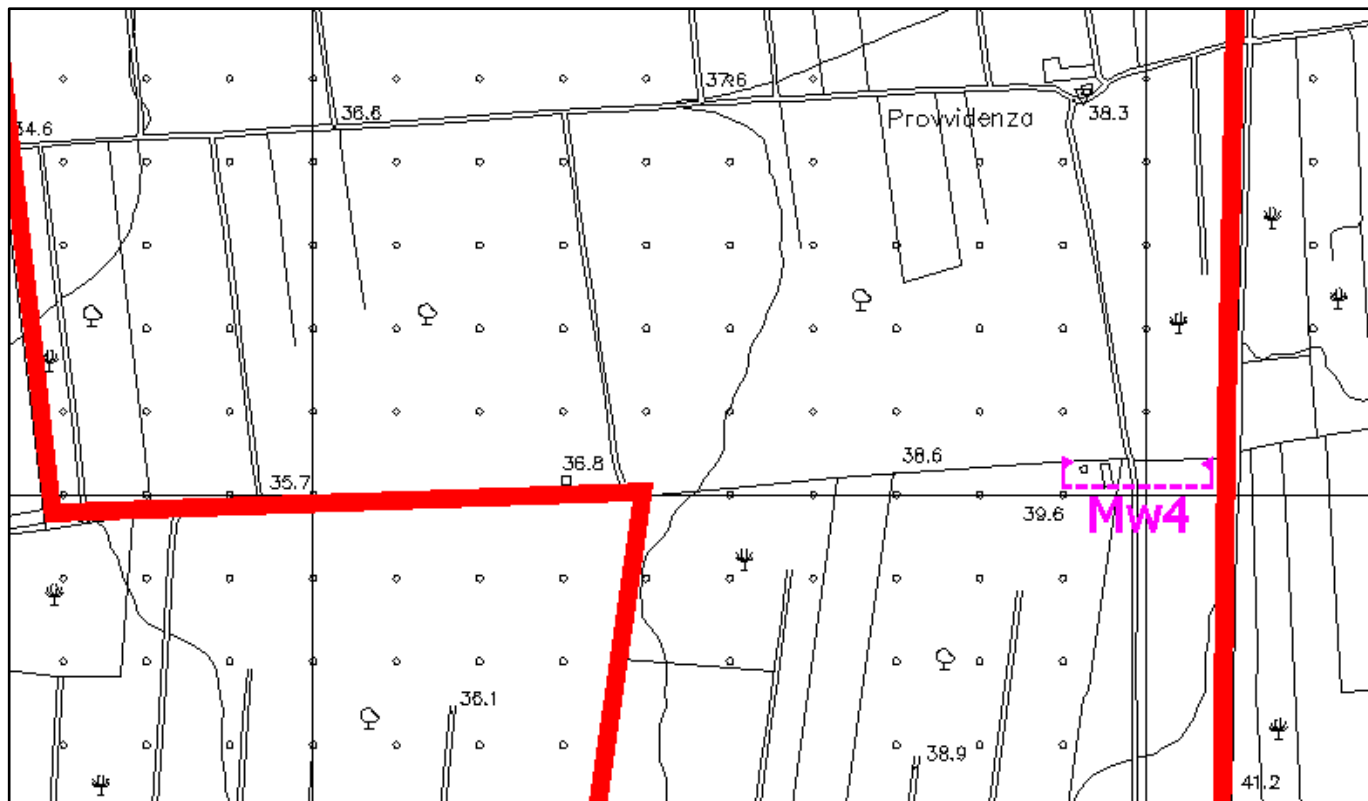


Foto 61 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw4 nell'area d'intervento "Campo 2 Sud"

#### Dati sperimentali Mw4

Distanza tra i sensori: ..... 1,50 m  
 Numero di campioni temporali ..... 4096  
 Passo temporale di acquisizione ..... 2 ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0 ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms



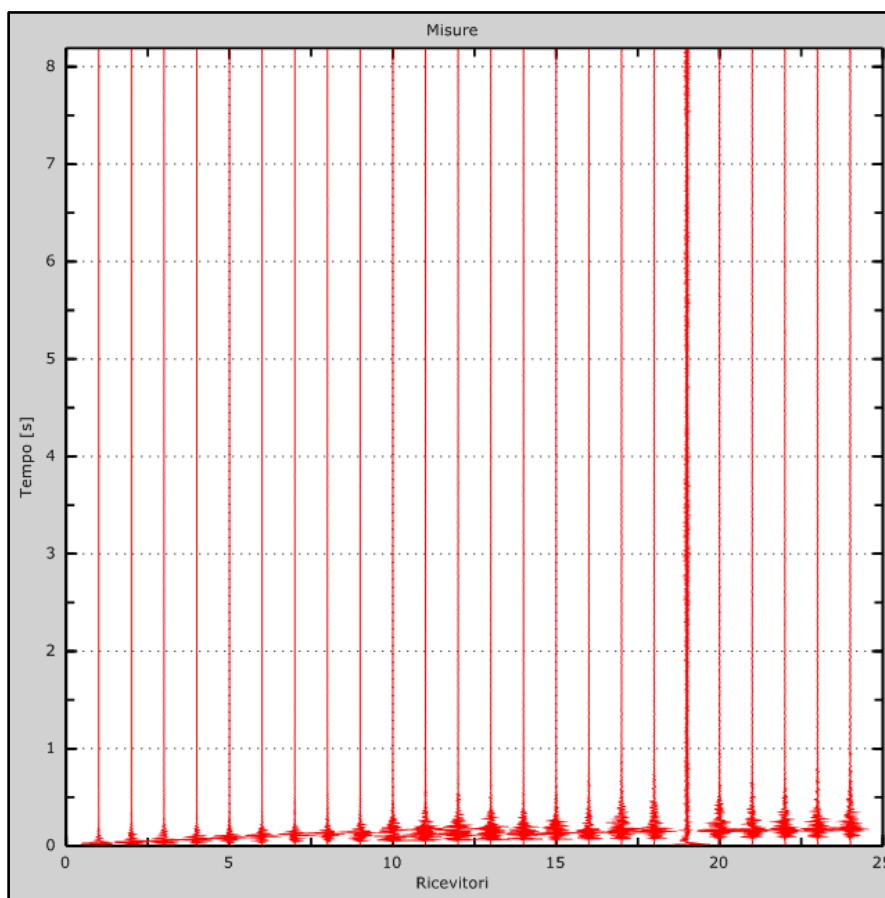


Fig. 62 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw4 (tracce sperimentali)

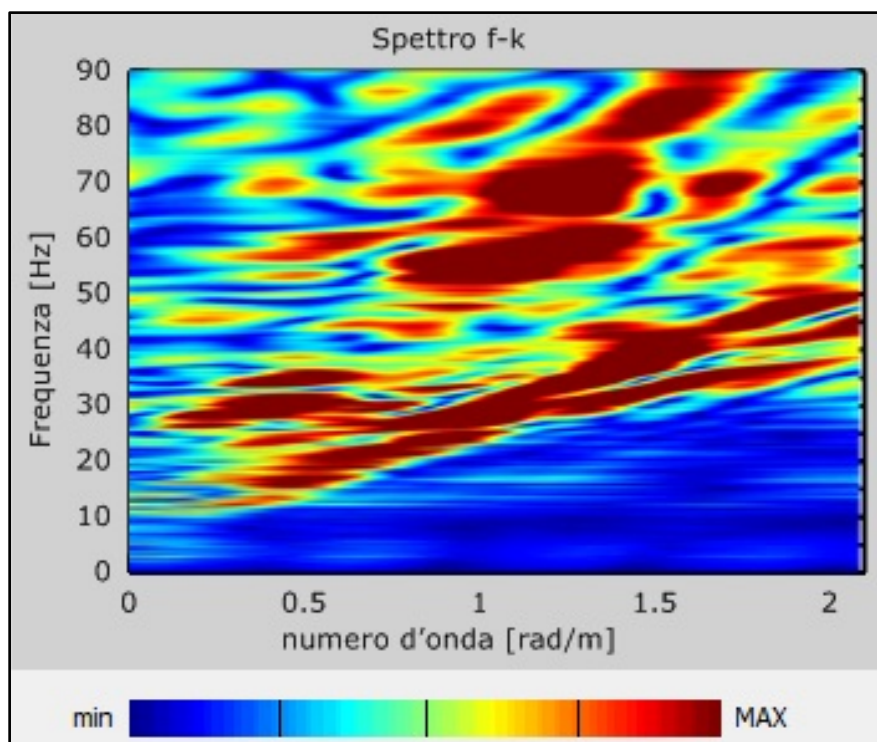
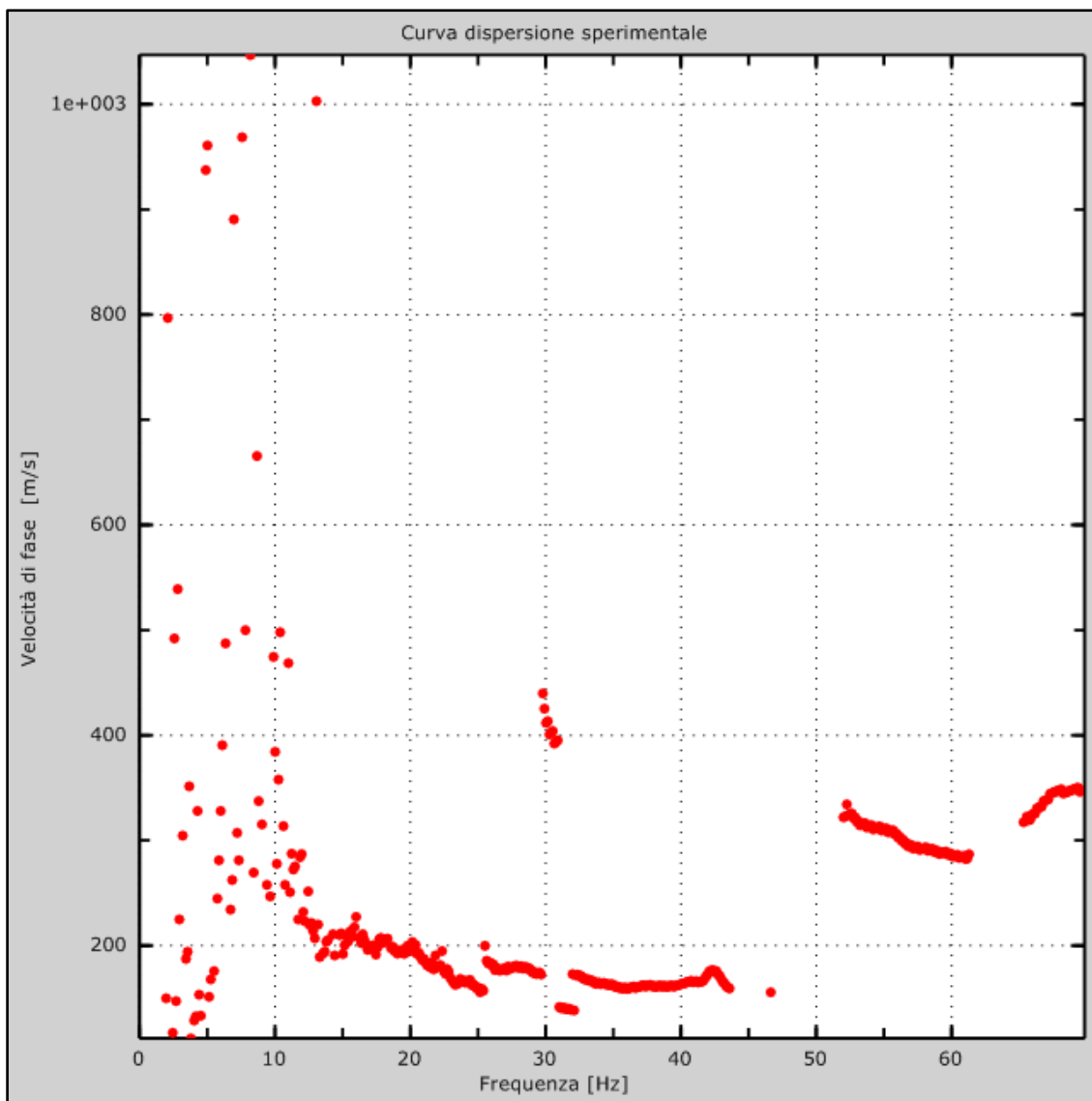


Fig. 63 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw4**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz



*Fig. 64 – Curva di dispersione sperimentale*

### Curva di dispersione Mw4

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.63293	531.11	523.808	538.413
6.1544	439.828	428.874	450.782
9.58784	326.639	315.685	337.593
13.4615	231.706	220.752	242.66
17.6872	209.798	202.496	217.101
21.7369	195.193	180.588	209.798
25.7866	180.588	169.634	191.542
31.509	176.937	169.634	184.239
35.6468	165.983	151.378	180.588
41.4572	169.634	158.68	180.588
43.7461	173.285	158.68	187.89

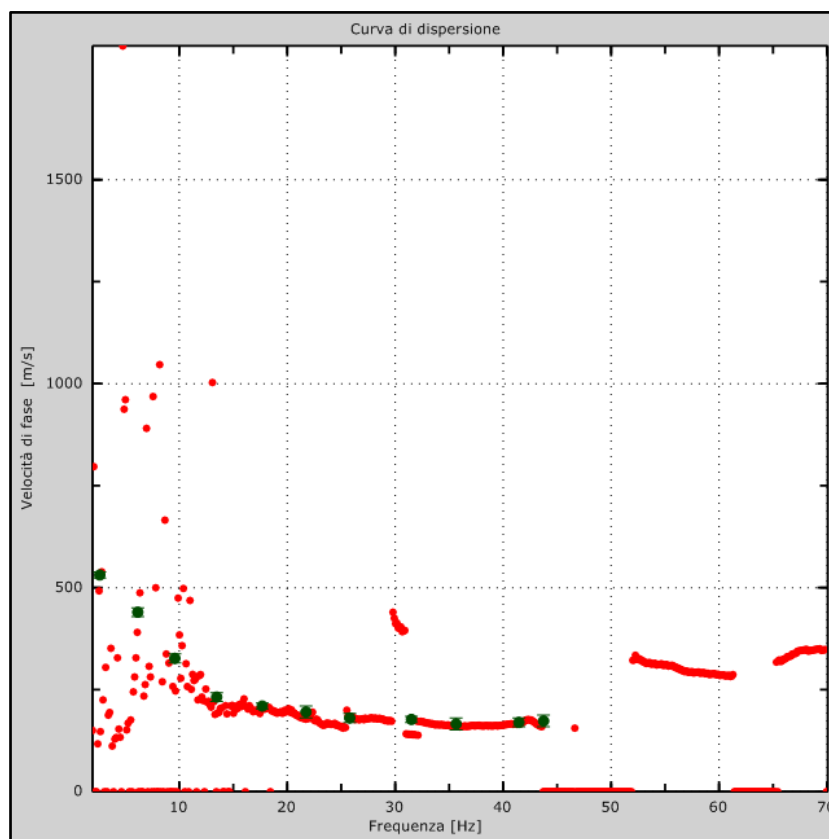


Fig. 65 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw4

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw4 – Campo 2 Sud

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,90	1,90	180	Non presente	Non alluvionale
S2	1,90 – 4,70	2,80	194	Non presente	Non alluvionale
S3	4,70 – 7,20	2,50	238	Non presente	Non alluvionale
S4	7,20 – 11,00	3,80	308	Non presente	Non alluvionale
S5	11,00 – 14,50	3,50	383	Non presente	Non alluvionale
S6	14,50 – 19,30	4,80	442	Non presente	Non alluvionale
S7	19,30 – 24,50	5,20	492	Non presente	Non alluvionale
S8	24,50 – 30,30	5,80	543	Non presente	Non alluvionale

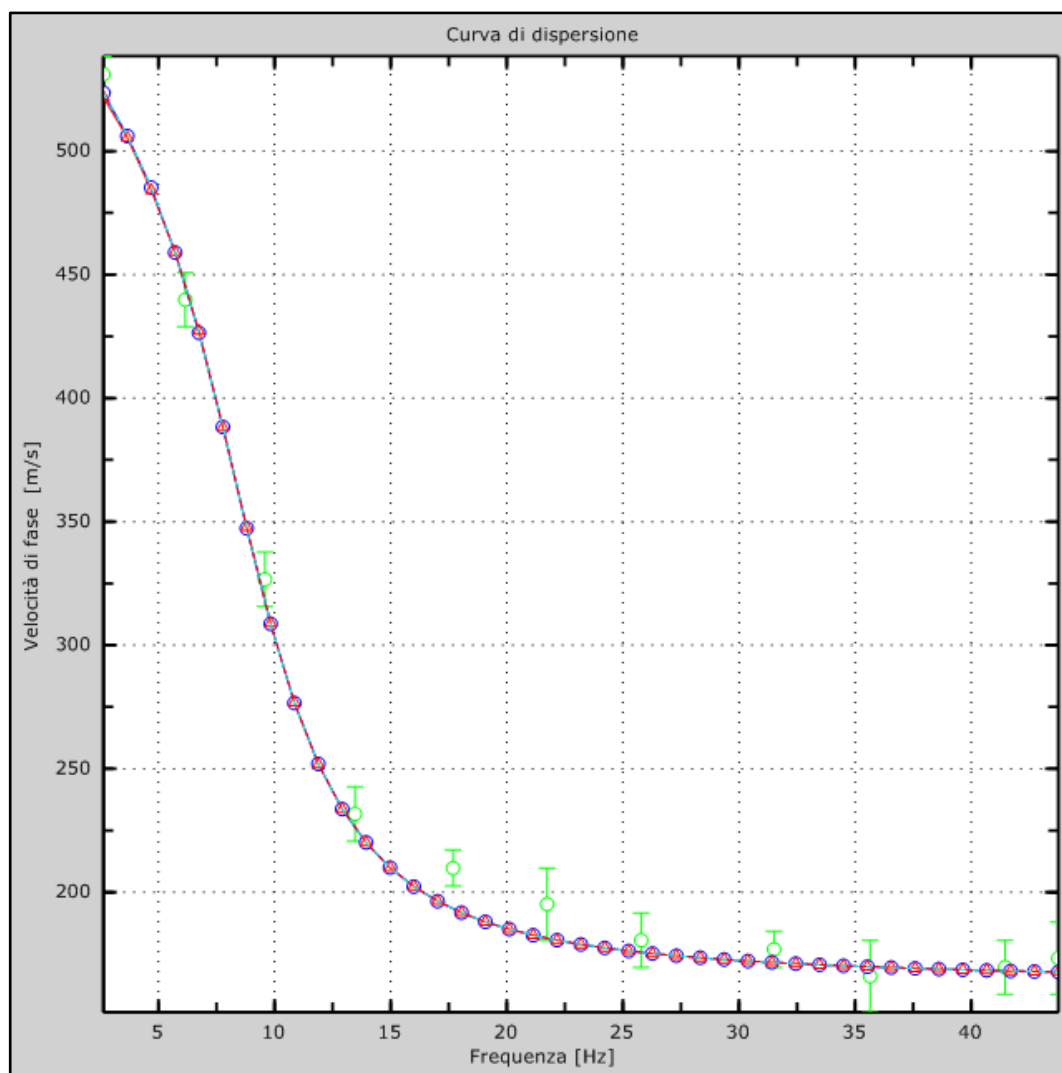


Fig. 66 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

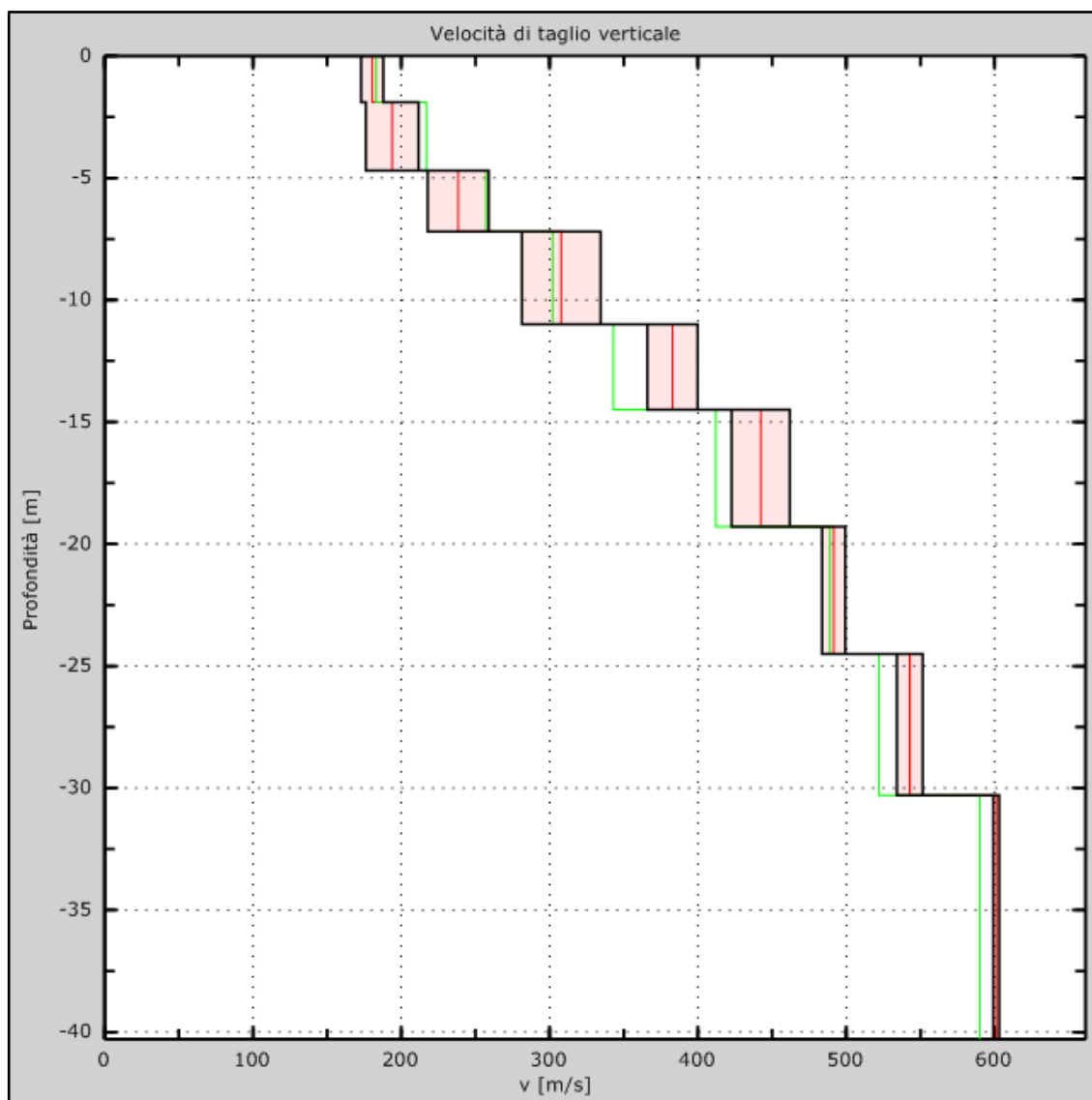


Fig. 67 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

## Prospezione sismica M.A.S.W. Mw5 eseguita presso il sito "Campo 2 Sud"

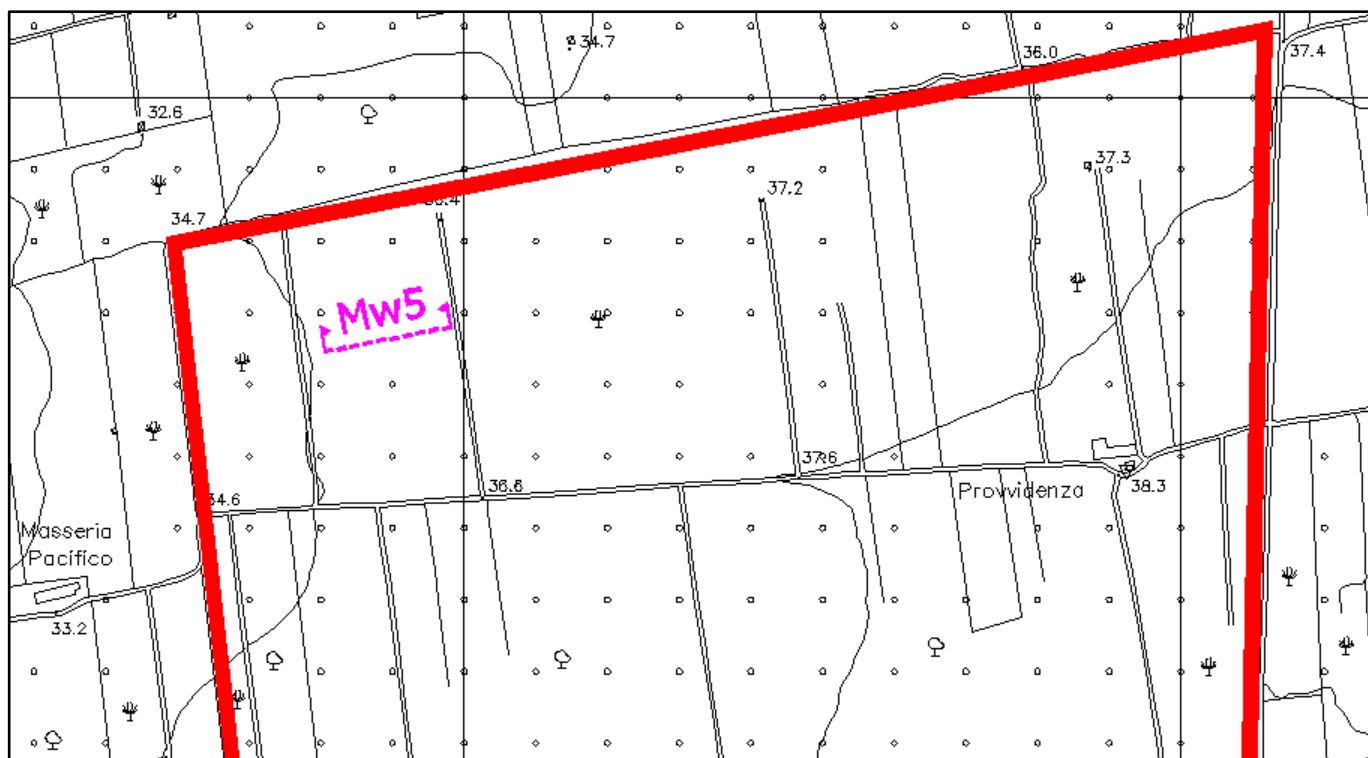


Foto 68 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw5 nell'area d'intervento "Campo 2 Sud"

### Dati sperimentali Mw5

Distanza tra i sensori: ..... 1,50 m  
 Numero di campioni temporali ..... 4096  
 Passo temporale di acquisizione ..... 2 ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0 ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

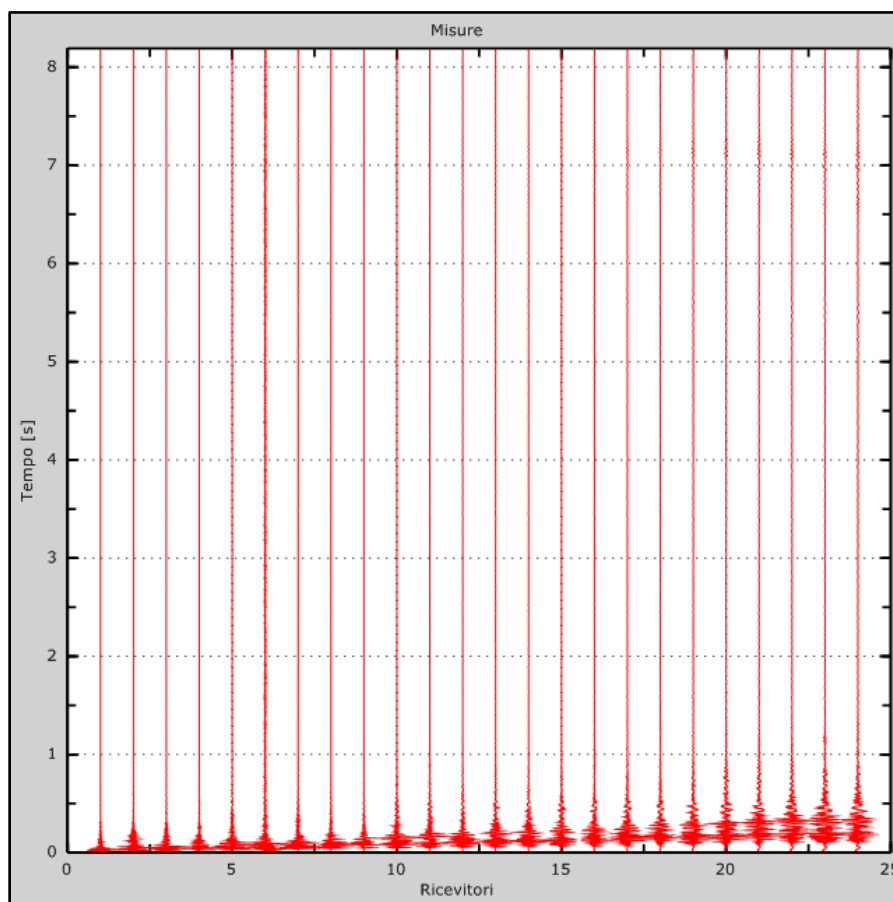


Fig. 69 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw5 (tracce sperimentali)

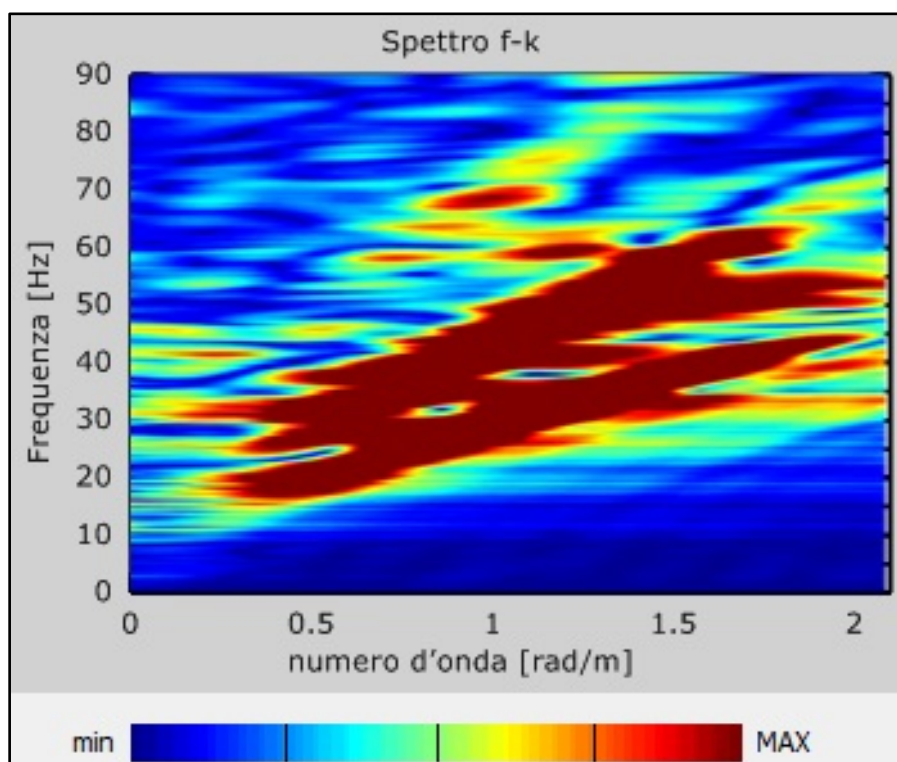


Fig. 70 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw5**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz

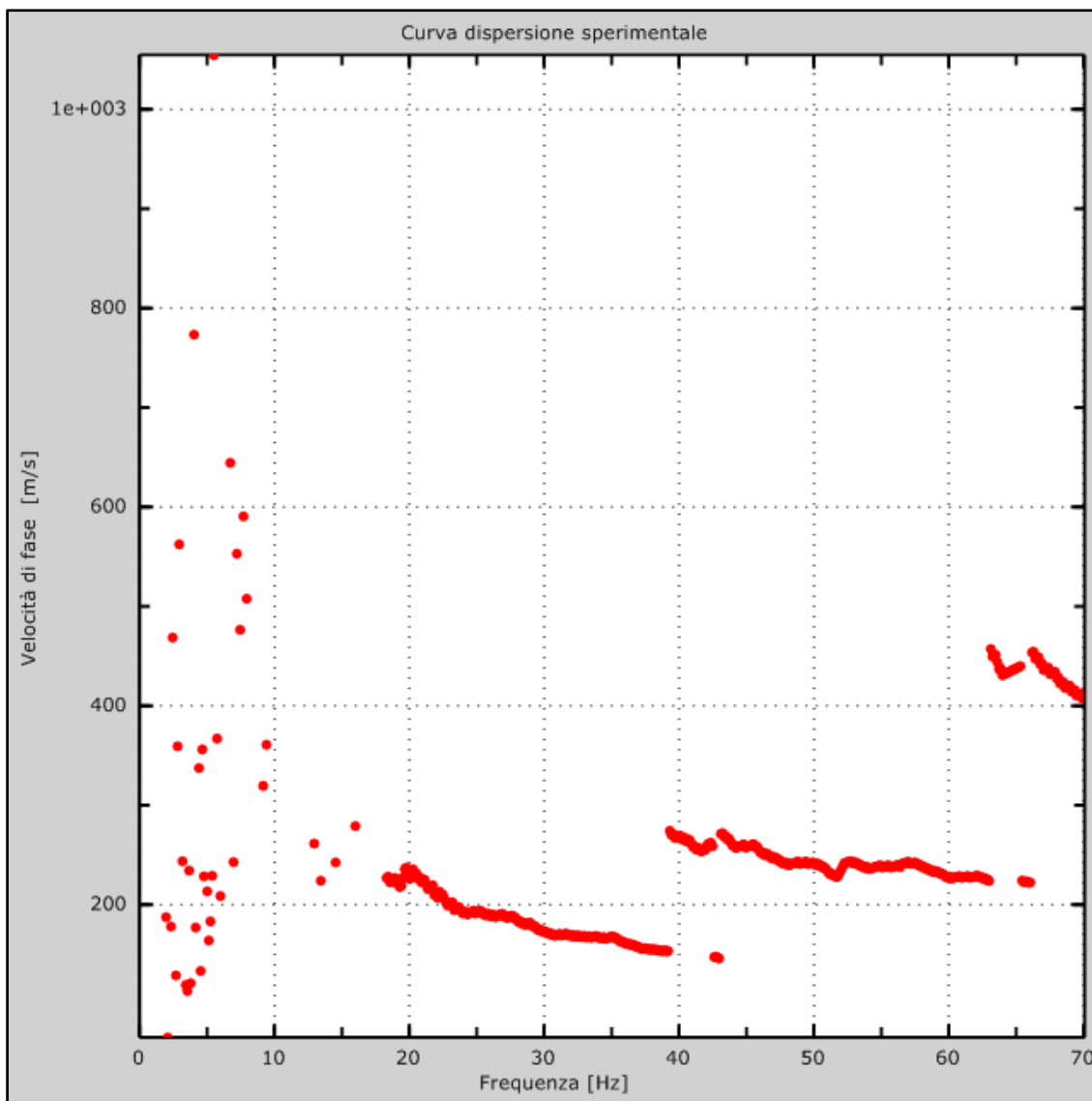


Fig. 71 – Curva di dispersione sperimentale



### Curva di dispersione Mw4

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.10471	486.713	477.725	495.701
3.68937	432.787	429.791	435.783
5.62618	372.868	360.885	384.852
9.14765	330.926	324.934	336.917
13.1974	274.003	265.015	282.991
18.1274	235.056	223.073	247.04
24.1139	202.101	184.126	220.077
51.8455	220.077	214.085	226.068
60.121	220.077	211.089	229.064
65.9314	220.077	214.085	226.068

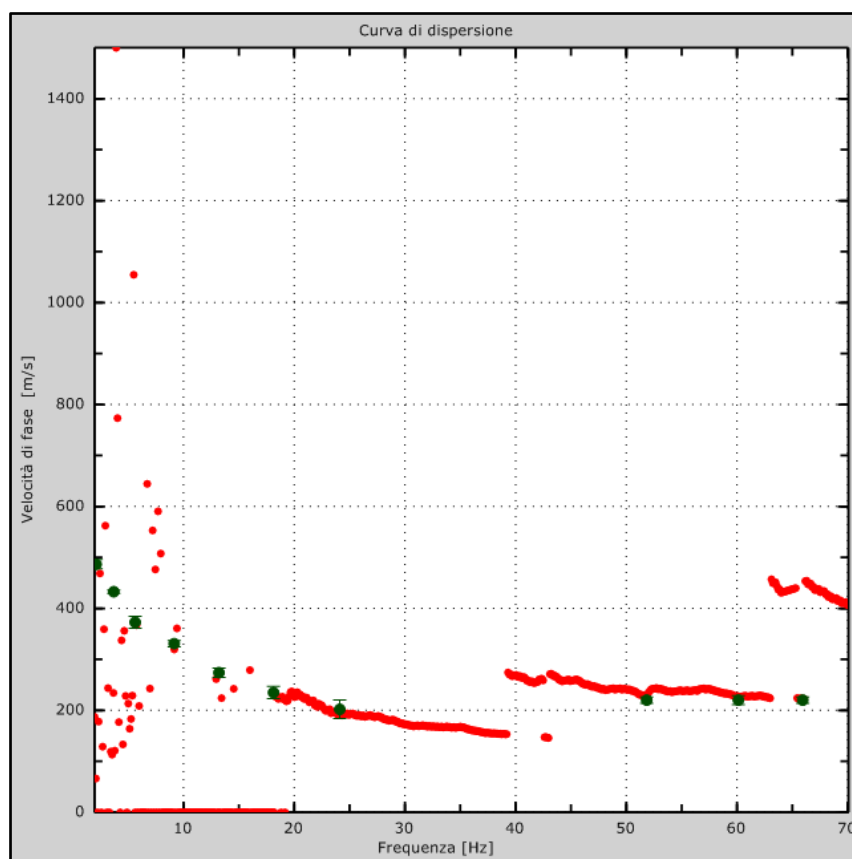


Fig. 72 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw5

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw5 – Campo 2 Sud

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,70	1,70	225	Non presente	Non alluvionale
S2	1,70 – 4,10	2,40	237	Non presente	Non alluvionale
S3	4,10 – 6,20	2,10	261	Non presente	Non alluvionale
S4	6,20 – 10,00	3,80	304	Non presente	Non alluvionale
S5	10,00 – 14,20	4,20	368	Non presente	Non alluvionale
S6	14,20 – 19,50	5,30	395	Non presente	Non alluvionale
S7	19,50 – 24,30	4,80	414	Non presente	Non alluvionale
S8	24,30 – 30,20	5,90	504	Non presente	Non alluvionale

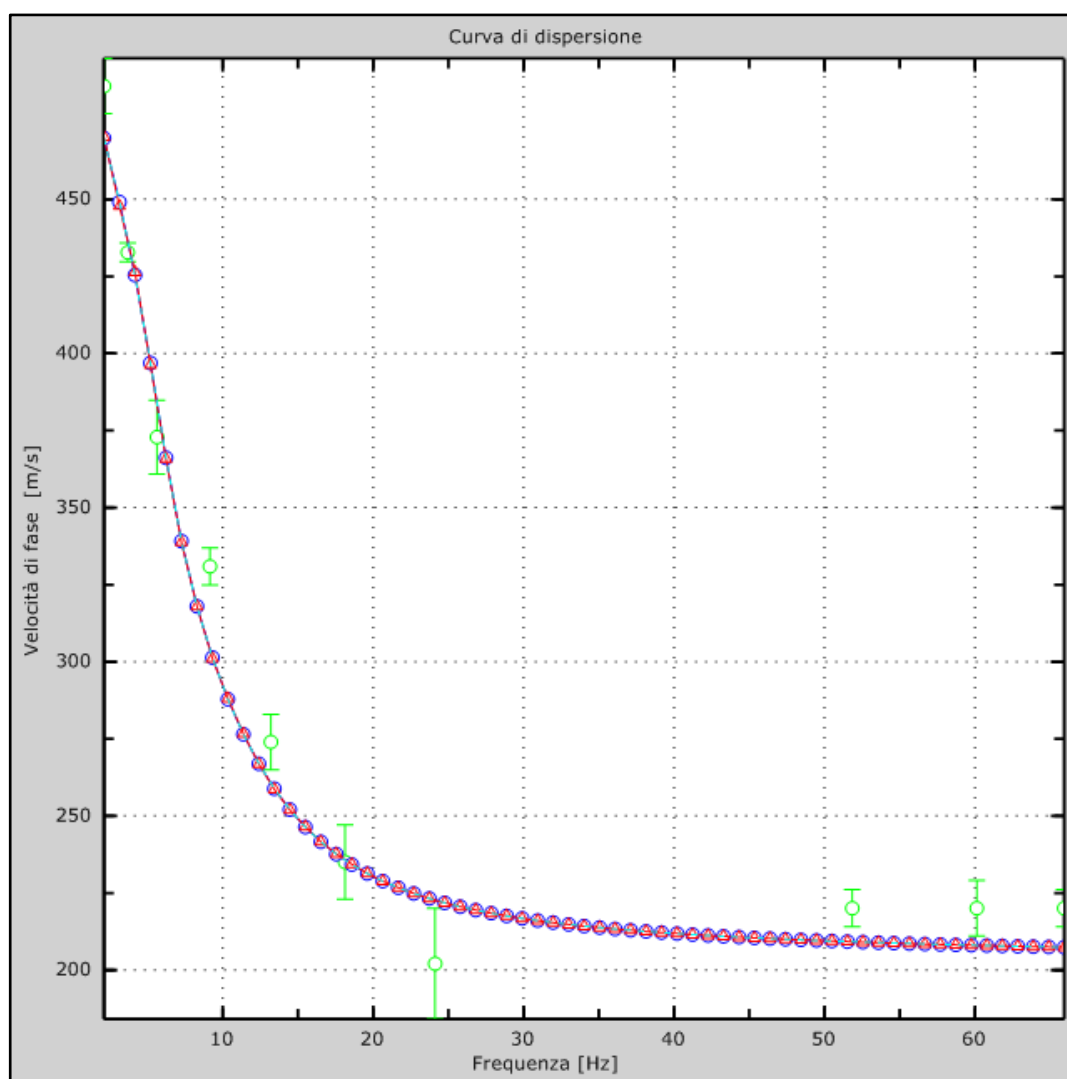


Fig. 73 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

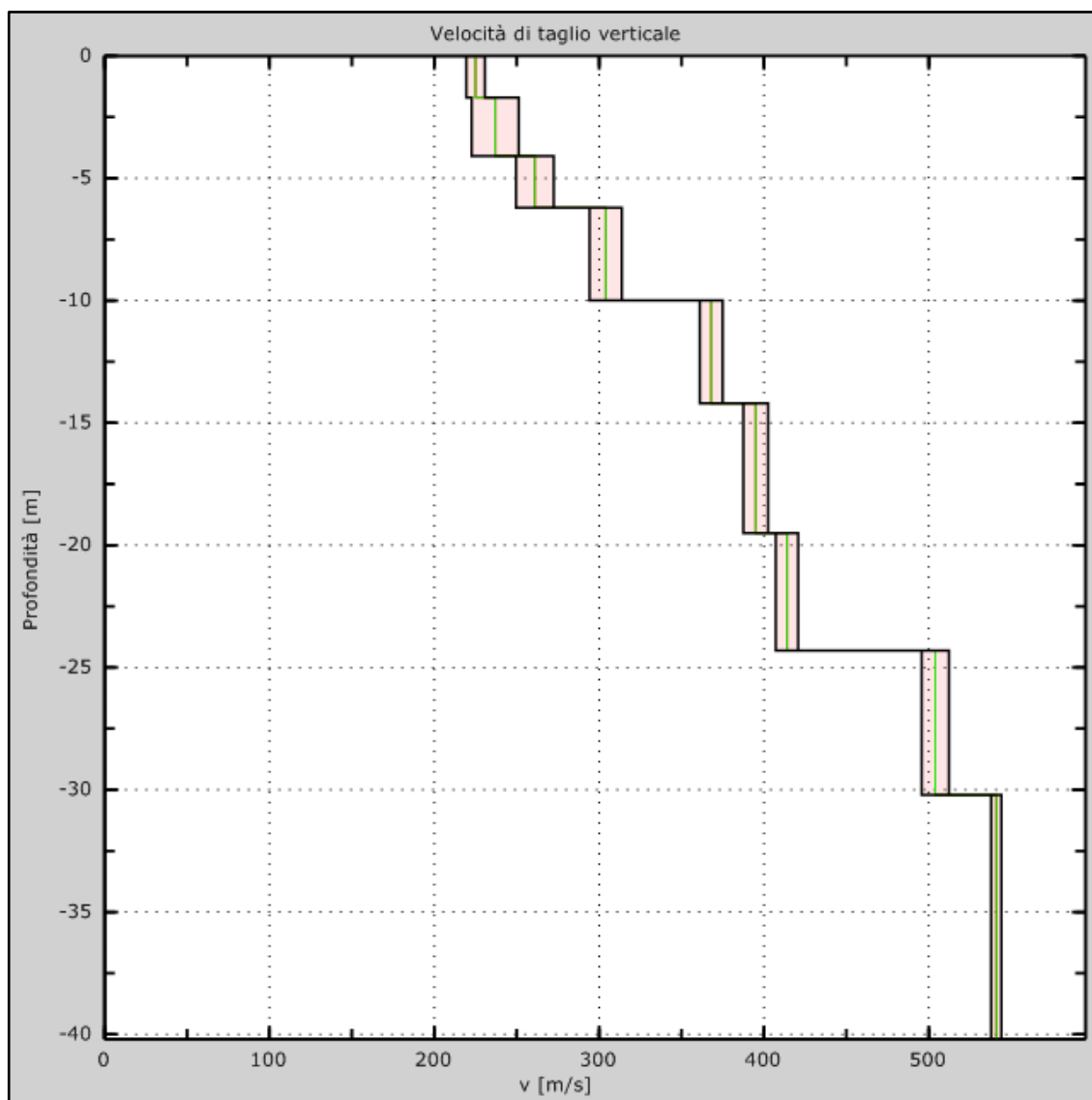


Fig. 74 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

## Prospezione sismica M.A.S.W. Mw6 eseguita presso il sito "Campo 2 Sud"

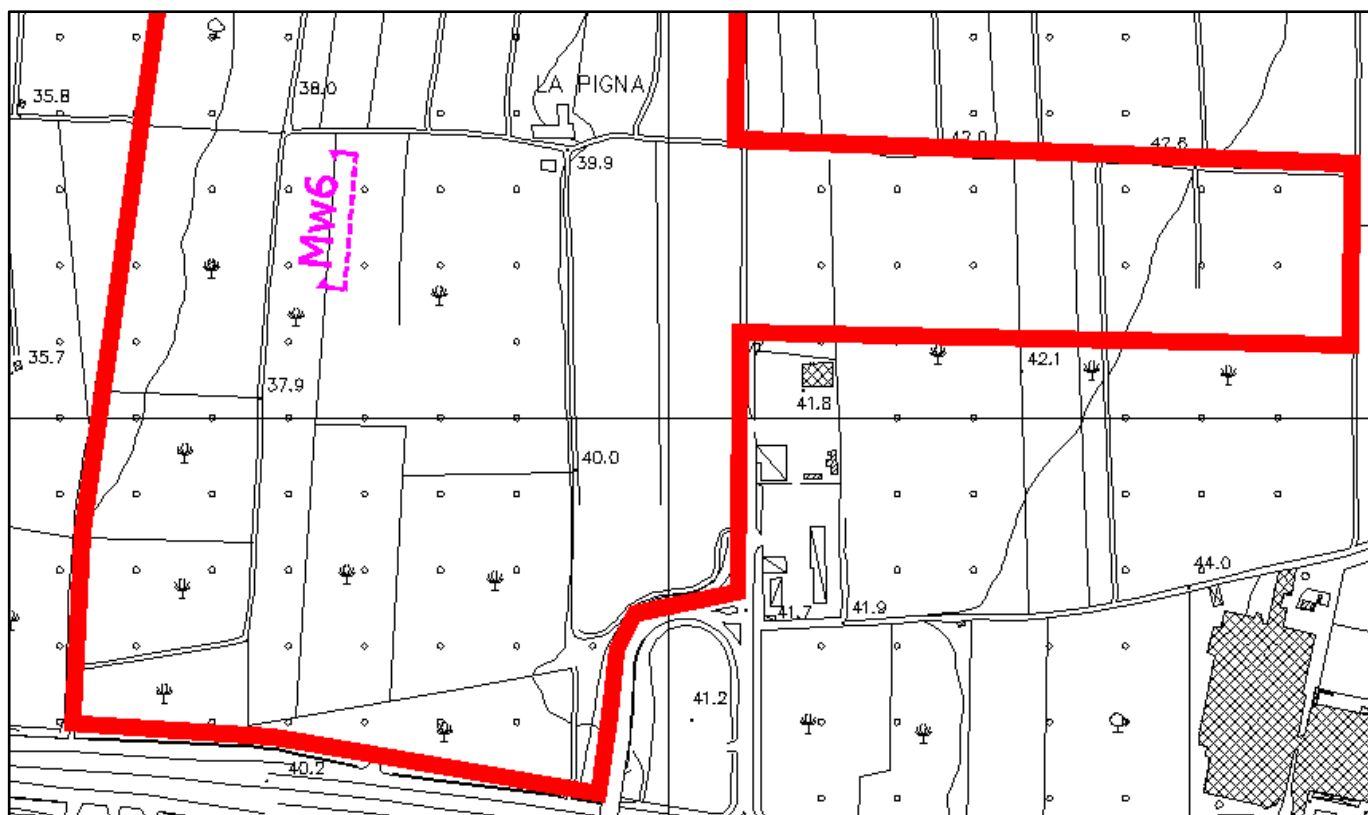


Foto 75 – Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W. Mw6 nell'area d'intervento "Campo 2 Sud"

### Dati sperimentali Mw6

Distanza tra i sensori: ..... 1,50 m  
 Numero di campioni temporali ..... 4096  
 Passo temporale di acquisizione ..... 2 ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0 ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

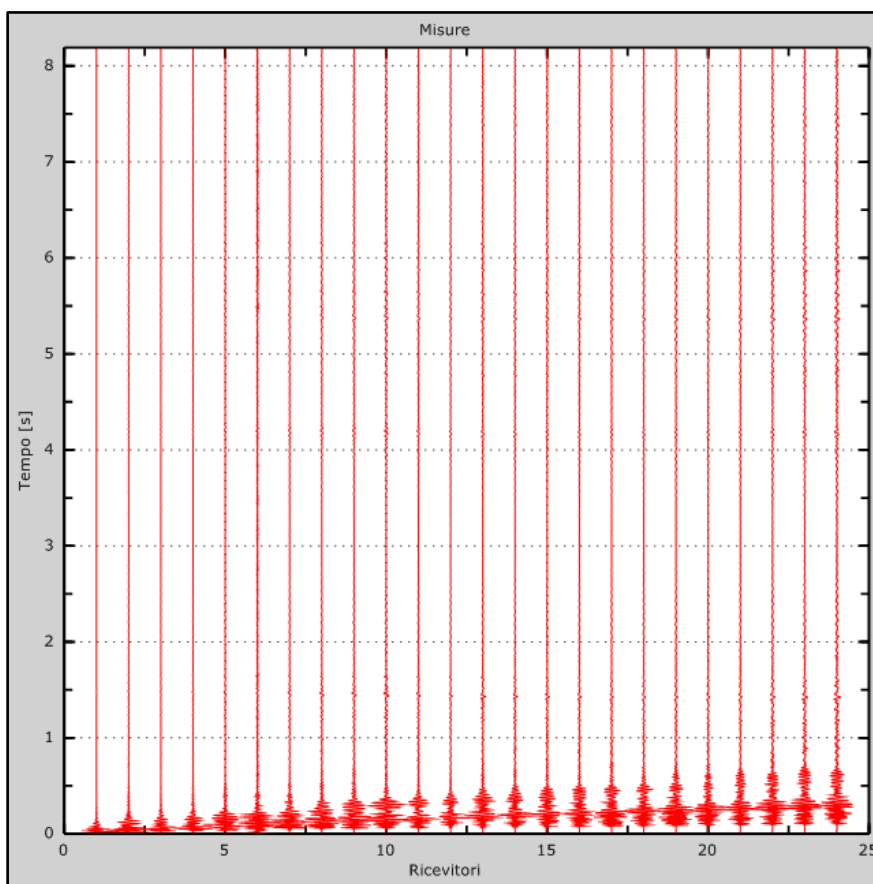


Fig. 76 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW Mw6 (tracce sperimentali)

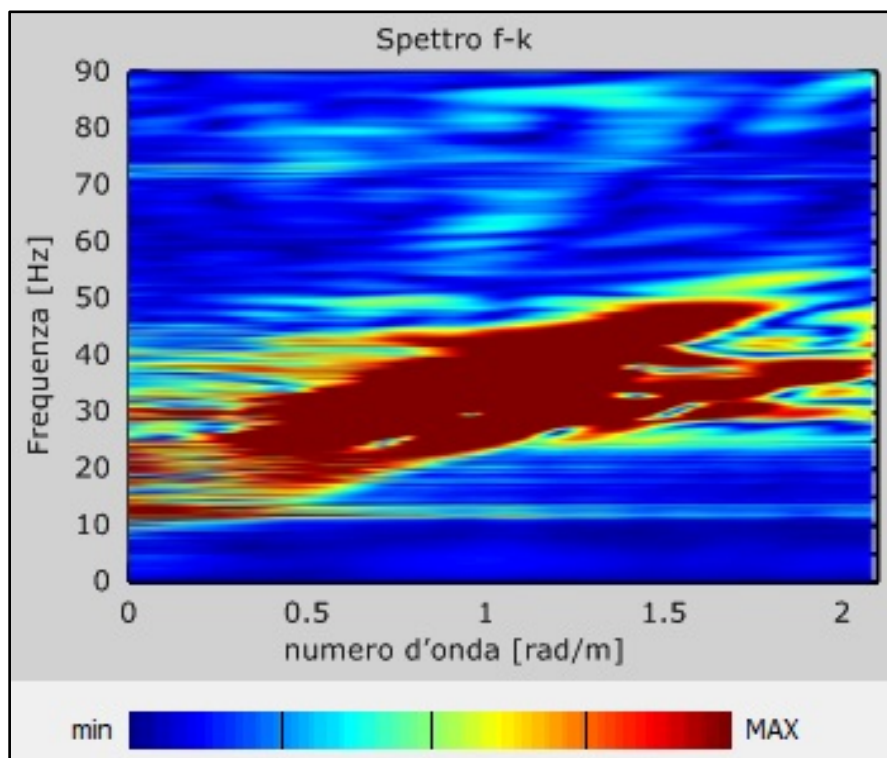
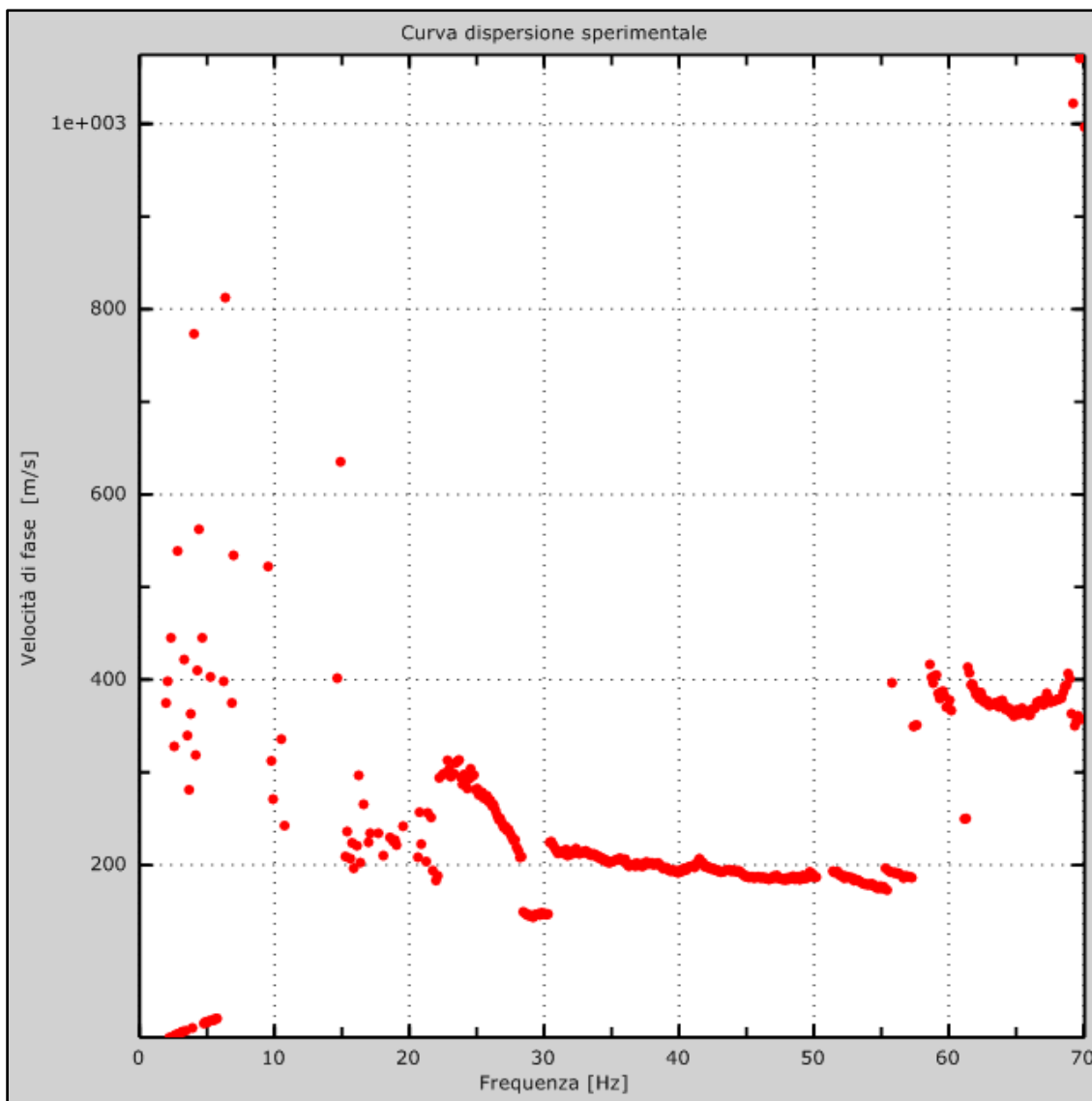


Fig. 77 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw6**

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz



*Fig. 78 – Curva di dispersione sperimentale*

### Curva di dispersione Mw6

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.10471	464.483	462.337	466.629
3.42526	430.15	423.712	436.587
5.186	408.691	404.4	412.983
7.56299	376.504	370.067	382.942
10.2921	327.15	325.004	329.296
15.7504	269.213	264.921	273.504
20.7685	256.338	247.755	264.921
26.4029	239.171	230.588	247.755
30.1885	226.296	217.713	234.88
35.4707	209.13	200.546	217.713
41.8093	200.546	189.817	211.276
48.236	189.817	179.088	200.546
54.8388	181.234	174.797	187.671

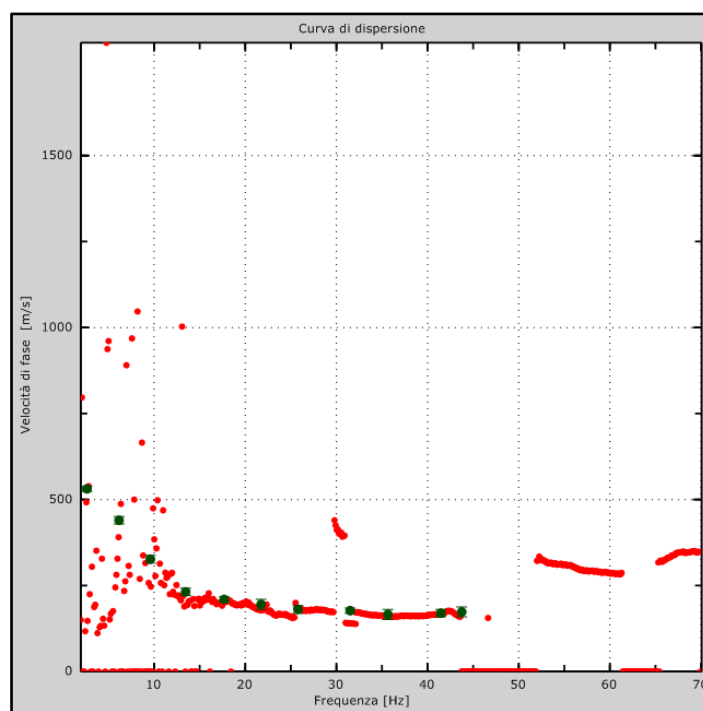


Fig. 79 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW

## Profilo in sito Mw6

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw6 – Campo 2 Sud

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato	Tipologia dello strato
S1	0,00 – 1,90	1,90	201	Non presente	Non alluvionale
S2	1,90 – 4,40	2,50	256	Non presente	Non alluvionale
S3	4,40 – 6,30	1,90	282	Non presente	Non alluvionale
S4	6,30 – 10,60	4,30	352	Non presente	Non alluvionale
S5	10,60 – 14,50	3,90	387	Non presente	Non alluvionale
S6	14,50 – 19,70	5,20	418	Non presente	Non alluvionale
S7	19,70 – 24,50	4,80	431	Non presente	Non alluvionale
S8	24,50 – 30,60	6,10	452	Non presente	Non alluvionale

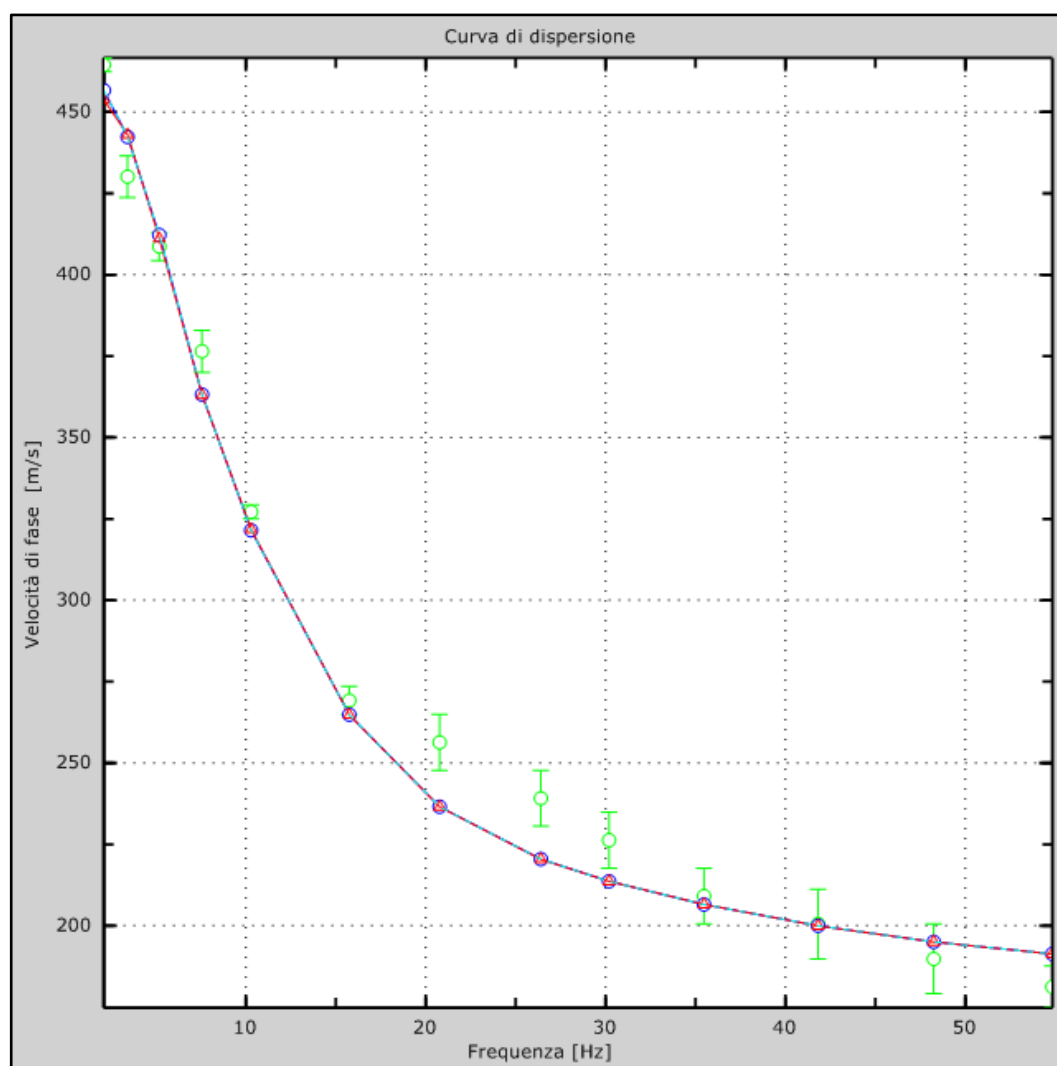
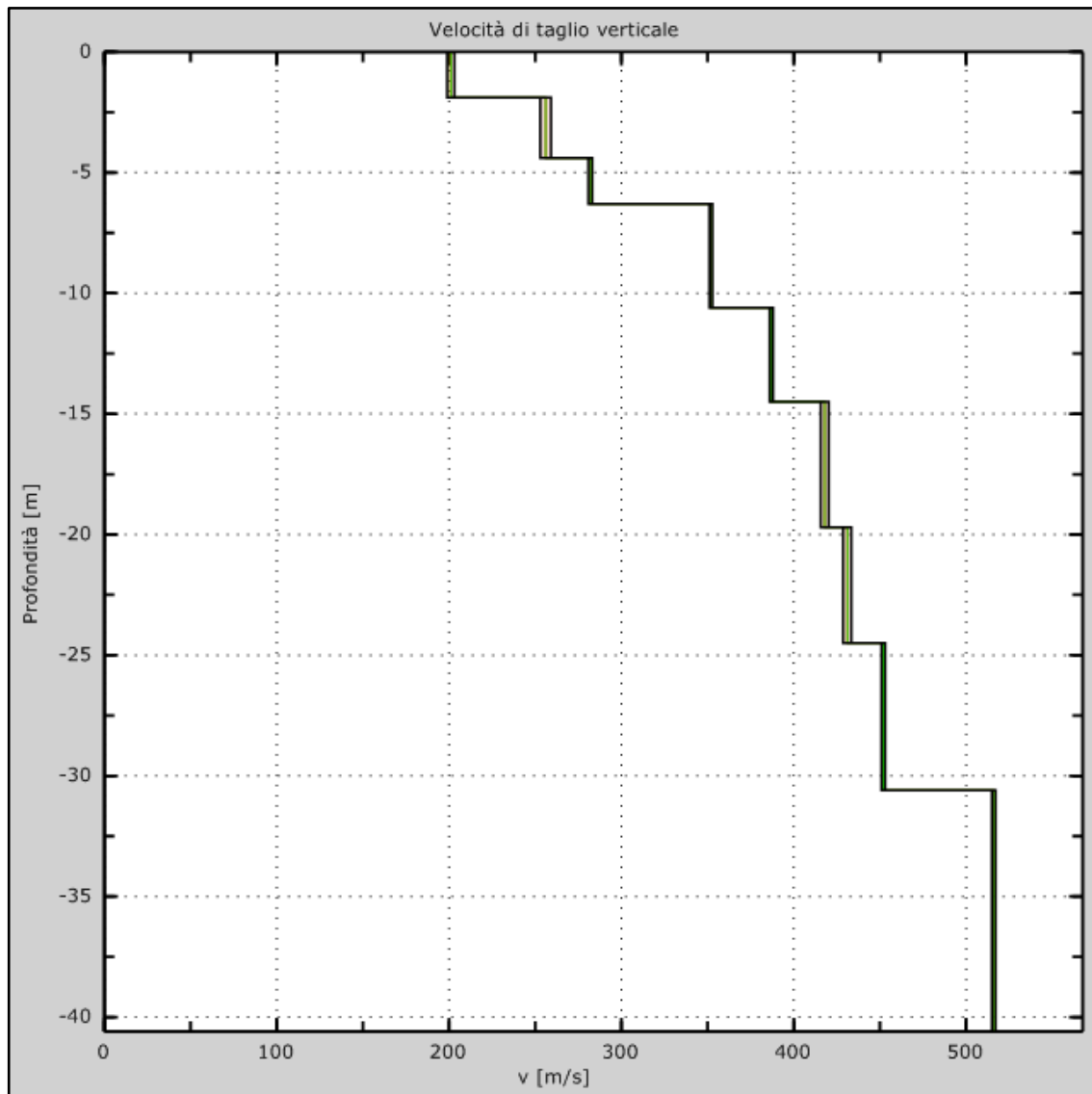


Fig. 80 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)





*Fig. 81 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh*

## 8. Considerazioni sul rischio sismico

### 8.1 Indicazione della zona sismogenetica

La Zonazione sismogenetica per il territorio nazionale, denominata ZS9, è stata eseguita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Meletti e G. Valensise - marzo 2004) che rappresenta il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone della precedente *Zonazione sismogenetica ZS4* (Scandone e Stucchi, 2000) e dell'introduzione di nuove zone (Fig. 82).



Fig. 82 – Zonazione sismogenetica ZS4

L'obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile, tenendo in considerazione soprattutto le indicazioni e gli spunti che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (tra gli altri Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002) localizzati al di fuori delle zone-sorgente in essa definite.

La zonazione sismogenetica ZS9 è stata disegnata in maniera tale da soddisfare i seguenti requisiti:

- a) *essere basata sul pregresso modello ZS4;*
- b) *recepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane alla luce delle nuove evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni;*
- c) *considerare ed analizzare i dati relativi a terremoti localizzati al di fuori delle zone sorgente definite in ZS4;*
- d) *essere utilizzabile con i dati di CPT12;*
- e) *fornire una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;*
- f) *fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile con le relazioni di attenuazione classiche modificate secondo le procedure di Bommer et al., (2003).*

La Zonazione sismogenetica ZS9 è costituita da 36 zone-sorgente identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A ad F) (Fig. 83).

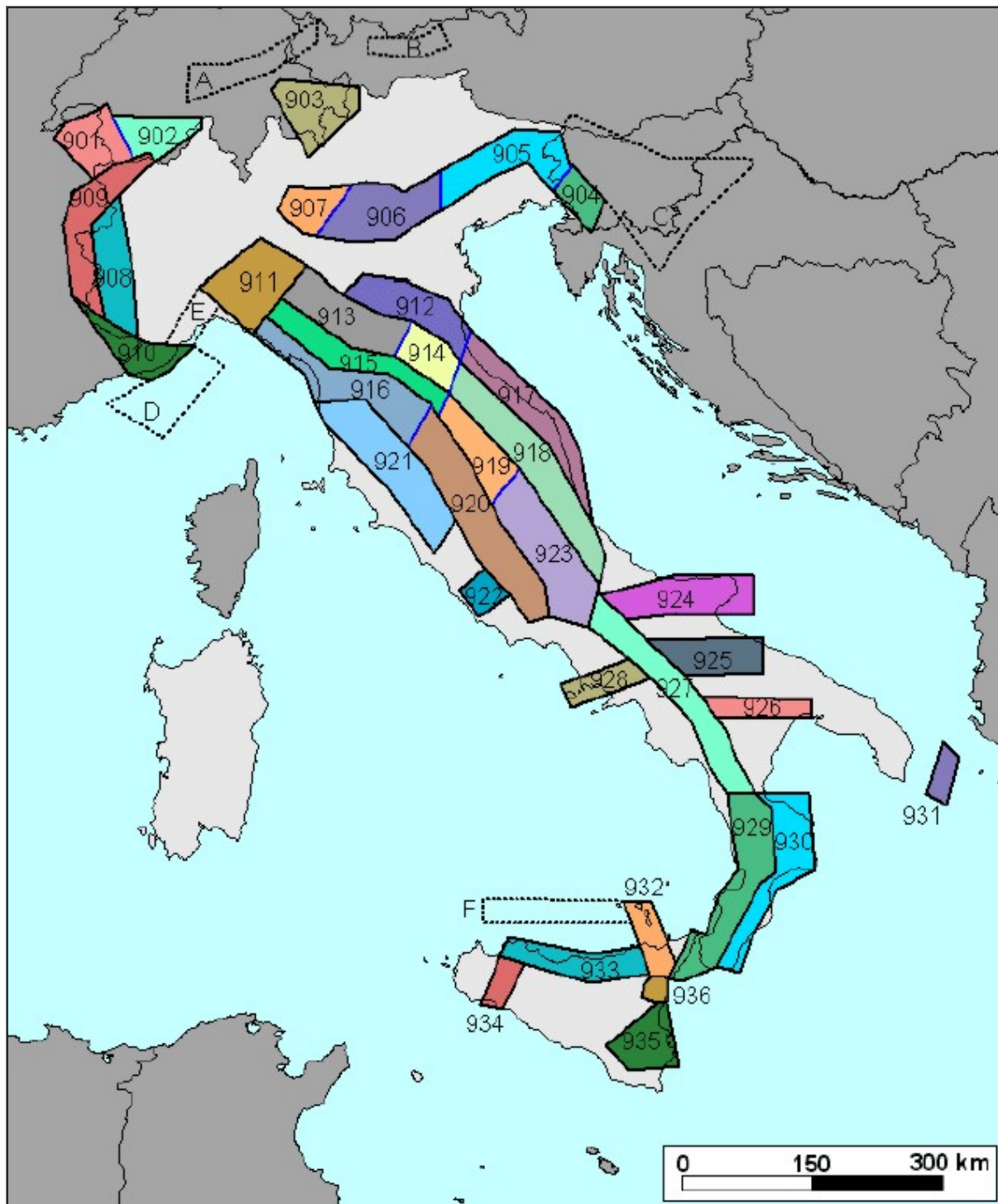


Fig. 83 – Zonazione sismogenetica ZS9

Oltre alla riduzione del numero di zone rispetto alla ZS4, la ZS9 è caratterizzata anche da modifiche dei limiti delle zone, che sono state effettuate tenendo conto dei nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Si deve però tener presente che i confini geografici di molte zone di ZS9 rappresentano il frutto di un compromesso tra numerosi parametri, di conseguenza, sono affetti da un certo margine di incertezza.

Per far fronte a questa problematica, nella redazione di ZS9 si è fatto ricorso ai “bordi morbidi”, cioè ad una fascia (definita in chilometri) di dimensioni variabili, nella quale si produce uno smussamento della distribuzione della pericolosità, producendo così gradienti meno accentuati ai confini tra le diverse ZS.

La geometria delle sorgenti sismogenetiche della Campania e, più in generale, l'Appennino Meridionale (zone da 56 a 64 in ZS4 e zone da 924 a 928 in ZS9), in seguito alla realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9, è stata sensibilmente modificata rispetto a ZS4 (Rapolla, 2005).

La zona 927 include l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da ca. 0.7 Ma, ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990). Tale zona comprende tutte le precedenti zone di ZS4 coincidenti con il settore assiale della catena, fino al confine calabro-lucano (massiccio del Pollino).

La zona 57 di ZS4, corrispondente alla fascia costiera tirrenica, è stata in gran parte cancellata. Infatti si ritiene che, in caso di zonazione della fascia tirrenica, la sismicità non sarebbe tale da consentire una definizione affidabile dei tassi di sismicità. Peraltro, il contributo che verrebbe alla PGA sarebbe del tutto trascurabile rispetto agli effetti che su questa stessa zona verrebbero dall'attivazione di sorgenti nella zona 927.

La parte rimanente della zona 57, insieme alla zona 56 sono attualmente rappresentate dalla zona 928 (Ischia-Vesuvio), che include l'area vulcanica napoletana, con profondità ipocentrali comprese nei primi 5 km.

Nell'area al confine tra la catena e la Puglia, cioè l'area dell'avanfossa e dell'avampaese apulo, le nuove conoscenze sulla sismicità locale, suggerite dalla sequenza sismica del Molise del 2002 (Di Bucci e Mazzoli, 2003; Valensise et al., 2004), hanno comportato scelte che cambiano notevolmente le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed hanno permesso di identificare sorgenti con direzione EW, caratterizzate da cinematica trascorrente.

E' stata così identificata (Fig. 84):

- nell'area garganica una zona 924 (Molise-Gargano) orientata E-W, che include tutta la sismicità dell'area e la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva;
- una zona 925 (Ofanto) la cui geometria trae in parte spunto dalla zona 62 di ZS4, ad andamento WNW-ESE;
- la zona 926 (Basento) ad andamento E-W, definita dall'allineamento di terremoti a sismicità medio-bassa nell'area di Potenza.

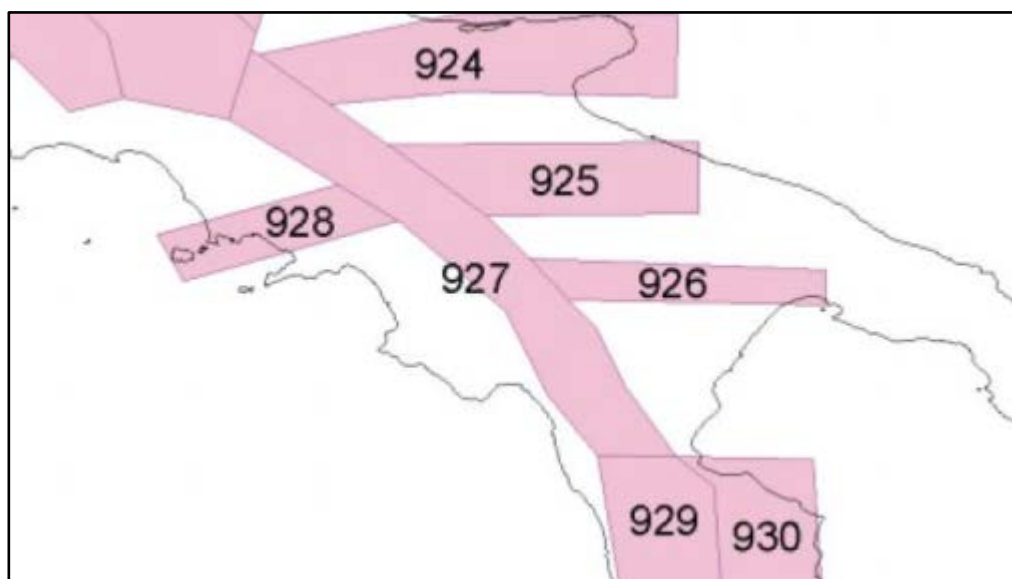


Fig. 84 – Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Appennino Meridionale

L'area di studio è prossima alla **Zona 928**. La *profondità efficace*, vale a dire quella profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, per la zona 928 è di 3 Km (Fig. 85).

Il *meccanismo di fagliazione* prevalente per la zona 928, dove per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi, è di tipo diretto (Fig. 86).

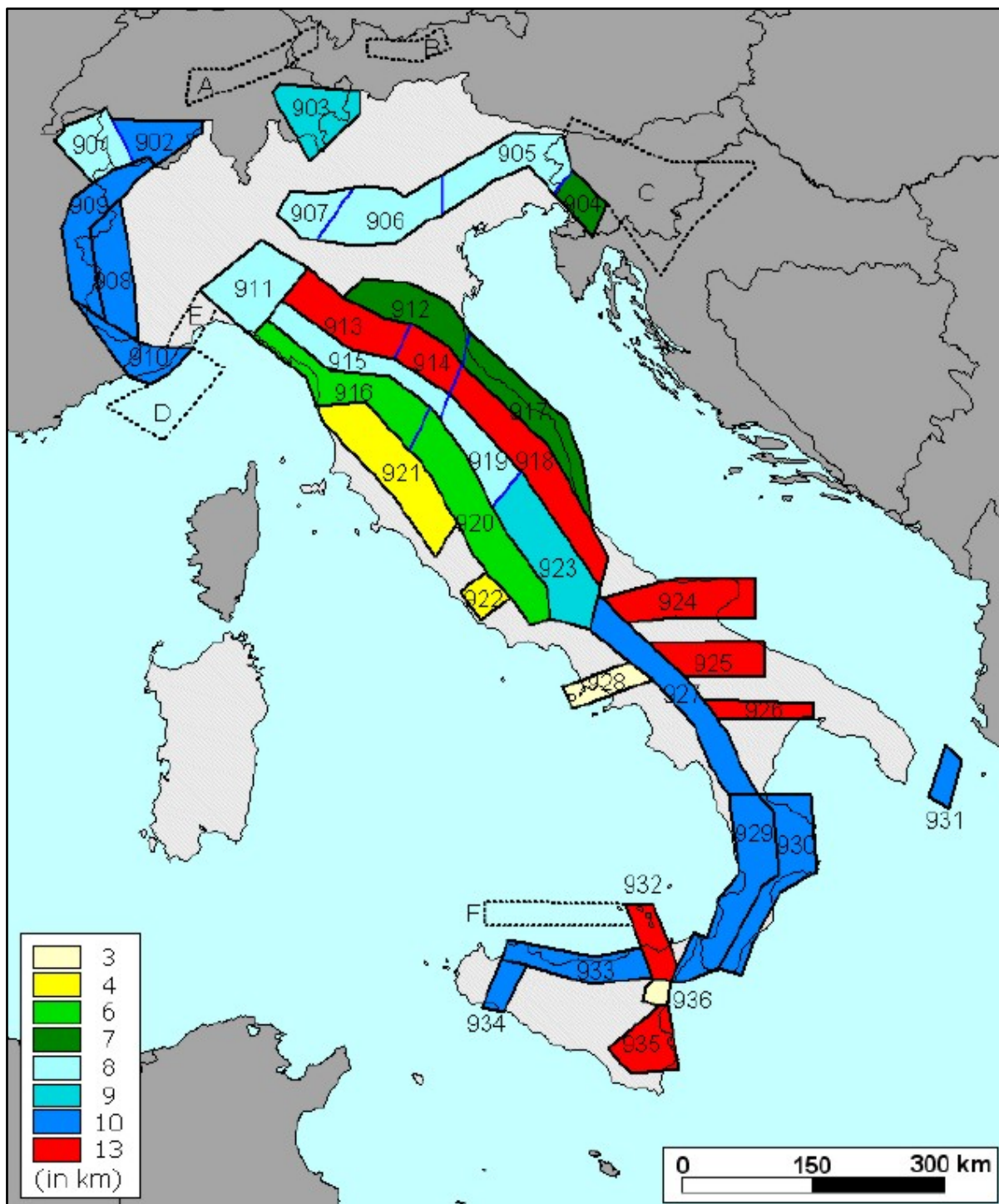


Fig. 85 – Moda delle distribuzioni di frequenza in funzione della profondità dei terremoti riportati nel catalogo strumentale INGV (1983-2002) per tutte le ZS di ZS9

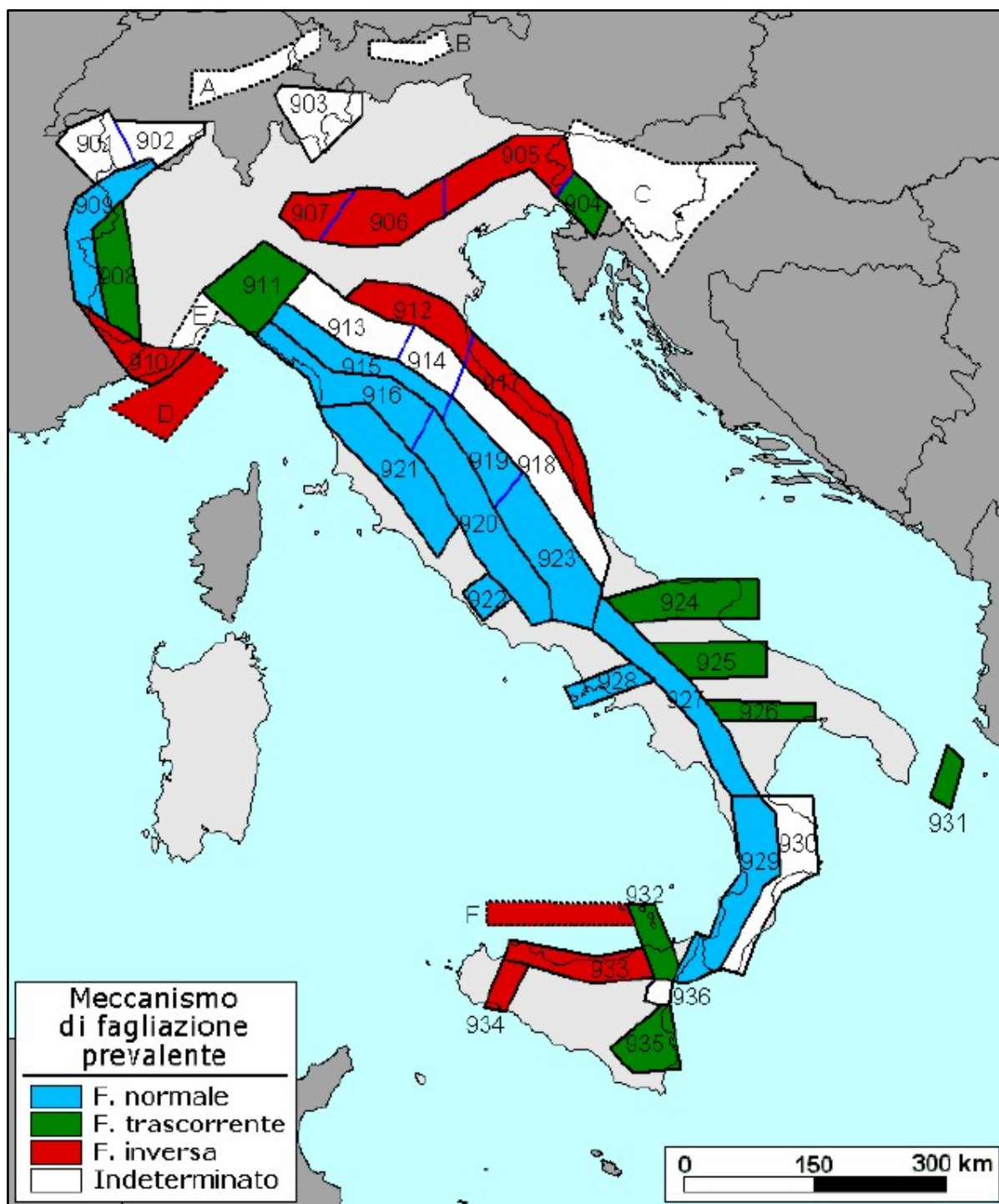


Fig. 86 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9.



## 8.2 Sismicità della Campania

La Campania è parte di un sistema geodinamico complesso, attualmente dominato da estensione orientata in direzione NE-SO (Hippolyte et alii, 1994). Le principali faglie attive dell'area sono localizzate lungo gli Appennini, con orientazione parallela alla catena (NO-SE) e lunghezza fino a qualche decina di chilometri (Valensise & Pantosti, 2001).

La regione è soggetta a un elevato tasso di sismicità, tra i più alti nel territorio nazionale, che è concentrata principalmente nella zona appenninica e nell'area vulcanica napoletana (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia).

La più recente zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, 2004) individua in Campania due zone. La prima include gli eventi appenninici caratterizzati dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata dell'Appennino meridionale (zona 927), mentre la seconda, allungata in direzione approssimativamente OSO-ENE, comprende tutta l'area vulcanica napoletana e si estende verso oriente fino alle falde appenniniche (zona 928). Quest'ultima racchiude anche la sismicità della fascia costiera tirrenica, tipicamente di intensità minore rispetto a quella localizzata in catena.

In entrambe le zone, il meccanismo prevalente di fagliazione è normale, mentre l'intervallo di profondità nel quale è localizzato il maggior numero di terremoti è significativamente diverso, con gli eventi dell'area appenninica che avvengono maggiormente tra 8 e 10 km e quelli dell'area vulcanica napoletana localizzati per lo più tra 1 e 5 km. Negli ultimi mille anni in Campania e nelle aree limitrofe si sono verificati diversi forti terremoti.

Tutti questi eventi sono avvenuti in area appenninica o in altre zone sismogenetiche più distanti. Tra questi terremoti, due in particolare (1456, 1688) hanno raggiunto un'intensità pari all'VIII grado della scala Mercalli, causando notevoli danni agli edifici. Inoltre, dalle stime di risentimento, si evince che eventi forti, con magnitudo  $M=6.5-7$ , anche se localizzati in Calabria meridionale o in Abruzzo, possono provocare a Napoli scuotimenti ben al di sopra della soglia di avvertibilità.

In genere, i terremoti che avvengono nell'area vulcanica napoletana hanno effetti sensibilmente inferiori. Infatti, nell'ultimo millennio, l'evento più significativo è stato quello di Casamicciola del 1883, che ha provocato in città un risentimento pari al V grado Mercalli. Intensità maggiori sono state raggiunte in precedenza dai terremoti vesuviani del 62 d.C. e 79 d.C., quest'ultimo associato alla nota eruzione pliniana. Per entrambi gli eventi sono riportati danni alla città di Napoli, con una stima degli effetti pari al VII-VIII grado.

I terremoti riportati dai cataloghi per i Campi Flegrei (Fig. 87) sono invece caratterizzati da energia minore, con massima intensità alla sorgente  $I_0=VII-VIII$  grado, (1538, 1582).

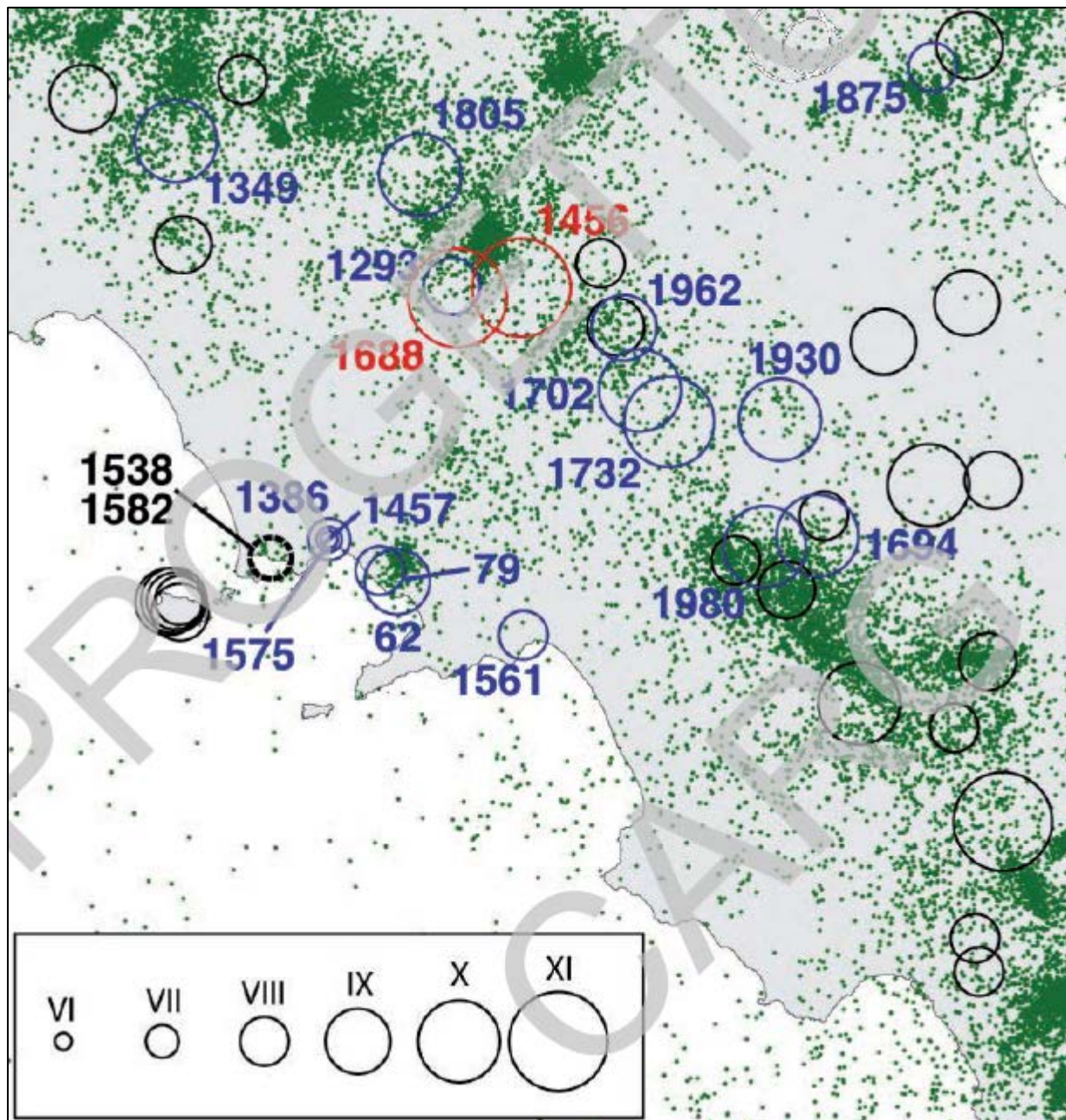


Fig. 87 – Sismicità storica (cerchi), secondo i dati riportati nei cataloghi CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004) e CPTI11 (ROVIDA et alii, 2011), e sismicità strumentale per il periodo 1981-2011 (punti), basata sul catalogo dell'INGV per il periodo 1981-2002 (<http://csi.rm.ingv.it/>) e sul bollettino sismico dello stesso istituto (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>). La mappa riporta gli eventi storici con intensità alla sorgente 10 maggiore o uguale all'ottavo grado e, comunque, quelli che hanno prodotto un risentimento a Napoli uguale o superiore al VI grado (cerchi blu). In rosso sono indicati quelli che a Napoli sono stati risentiti con un grado uguale o maggiore all'ottavo. I due eventi dei Campi Flegrei (1538, 1582), entrambi con 10 VII-VIII, hanno prodotto risentimenti prevalentemente locali, sono indicati dal cerchio tratteggiato.

Negli ultimi decenni, l'area napoletana ha prevalentemente risentito di effetti dovuti all'attivazione di sorgenti nelle zone appenniniche, dove la sismicità recente è prevalentemente diffusa nella zona compresa tra bassa Irpinia e Basilicata e, più a nord, in quella tra Sannio e Molise. I danni maggiori sono stati causati dal terremoto irpino del 1980, che ha prodotto, nell'area urbana, accelerazioni di picco al suolo dell'ordine di 0.04-0.10 g, in accordo con l'intensità osservata (VII-VIII), mentre, nella zona flegrea ha avuto un risentimento più basso, con intensità del VI grado. Nelle aree vulcaniche a est e a ovest della città di Napoli, la sismicità si è mantenuta su livelli di energia relativamente bassi, con magnitudo che raramente hanno superato  $M=3.0$ . L'attività di fondo è abbastanza regolare, con periodi di sciami più intensi, che possono raggiungere magnitudo più elevate. In particolare, l'evento del Vesuvio del 9 settembre 1999 ( $M=3.6$ ), il più forte dalla fine dell'ultima eruzione, è stato risentito a Napoli con un'intensità del IV grado Mercalli. Per quanto riguarda i Campi Flegrei, caratterizzati dalla tipica attività bradisismica, il tasso di sismicità può raggiungere numeri anche molto elevati, in particolare nei periodi di sollevamento del suolo. Infatti, durante l'ultimo episodio, avvenuto negli anni 1982-1984, sono stati registrati oltre 15000 eventi, con magnitudo massima  $M = 4.0$ , per lo più localizzati intorno alla città di Pozzuoli, centro dell'area di massimo innalzamento (1,80 m). Certamente meno importante l'attività sismica di Ischia, dove negli ultimi anni sono stati registrati solo alcuni eventi, tutti di magnitudo molto bassa ( $M_{max} = 2.2$ ), senza effetti significativi.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (la cui versione più recente è pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 108 del 11.5.2006), basata prevalentemente sulla determinazione dei tassi di sismicità e sullo studio delle leggi di attenuazione del moto del suolo, prevede per l'area napoletana un'accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_S=800$  m/s), dell'ordine di 0.150-0.175 g.

La classificazione sismica elaborata sulla base di questi risultati e sancita da Deliberazioni della Giunta Regionale (n° 5446-447 del 7.11.2002, n° 248 del 24.1.2003, n° 816 del 10.6.2004), prevede per molti comuni, tra cui quello di Giugliano in Campania, l'appartenenza alla classe 2 (media sismicità). Rispetto alla precedente, l'attuale classificazione presenta la sola variazione da bassa (3) a media sismicità (2) per il comune di Napoli.

### 8.3 Sismicità storica dell'area di studio

Il territorio comunale di Giugliano in Campania, interessato nell'arco della sua storia sismica da più eventi, risente fortemente dell'effetto di sismi generatisi in due delle zone sismogenetiche definite dalla Zonazione Sismogenetica ZS9 (Fig. 88).

Le fasce sismogenetiche sono:

- 927: *Appennino campano – lucano*;
- 928: *Vulcani vesuviani*.

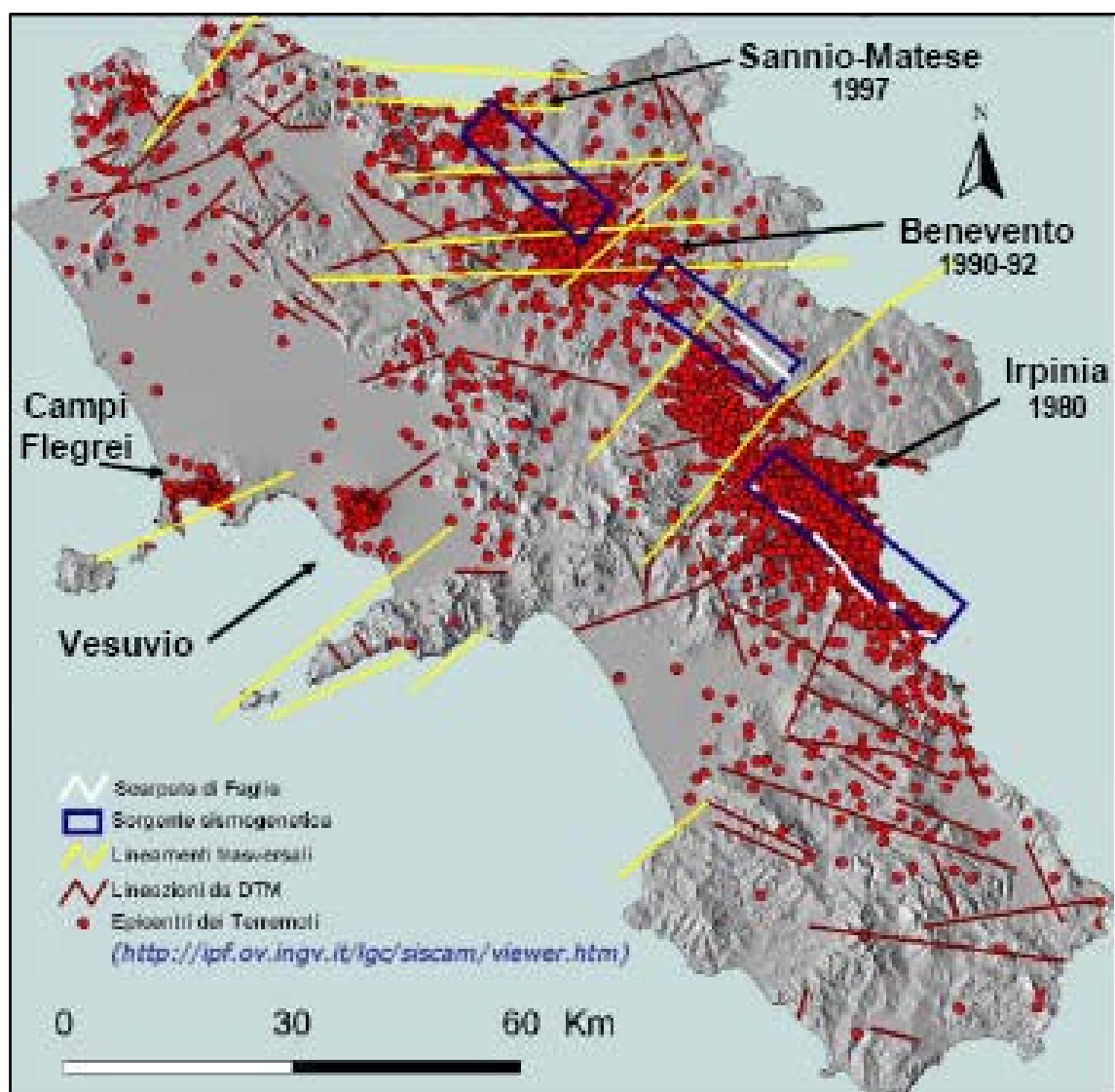


Fig. 88 - Isoleisime dei maggiori terremoti dell'appennino Campano-Lucano. Le aree a più elevata intensità sono allungate secondo l'asse della catena

Lo stesso territorio comunale è, tuttavia, ubicato a margine delle strutture sismogenetiche situate lungo la direttrice Sannio-Matese orientale sulla quale si sono sviluppati alcuni dei principali terremoti precedentemente riportati; l'intensità massima con la quale i suddetti sismi si sono manifestati nell'ambito del territorio comunale è del **VII°**.

Alla luce di quanto sopra esposto si deduce che le zone prossime al margine tirrenico risentono gli effetti in forma più attenuata, come è confermato dai campi macrosismici dei maggiori eventi storici per i quali nell'area di studio non è mai stato registrato l'VIII grado MCS.

Le intensità dello scuotimento in termini di accelerazione di gravità  $g$ , confermano la previsione fatta con l'intensità macrosismica.

Appare, pertanto, che il **7° grado MCS** può essere considerato come il massimo grado di danneggiamento per il Comune di *Giugliano in Campania* (Fig. 89).

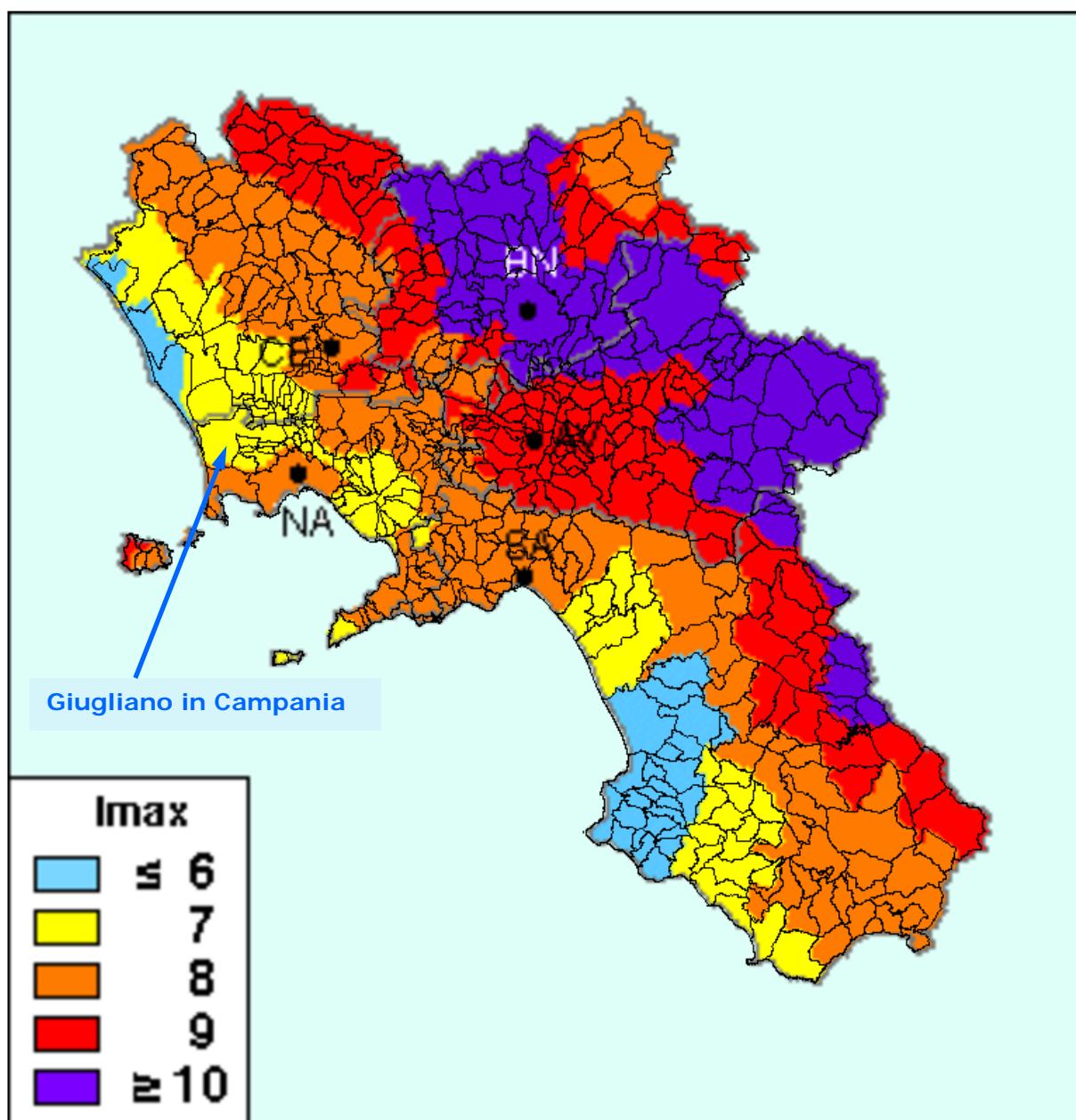


Fig. 89 – Massime intensità macrosismiche in Campania

Il **Database Macrosismico Italiano** permette di visionare la storia sismica delle località italiane. La versione **DBMI 15** è stato realizzato nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.

La versione 2015 del Database Macrosismico Italiano (DBMI15), è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15>. L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic*

Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11 (Locati et al., 2011). DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. DBMI15 contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti.

La storia sismica del Comune di **Giugliano in Campania** è di seguito riportata (Figg. 90-91-92).

## Giugliano in Campania

PlaceID	IT_60074
Coordinate (lat, lon)	40.928, 14.201
Comune (ISTAT 2015)	Giugliano in Campania
Provincia	Napoli
Regione	Campania
Numero di eventi riportati	7

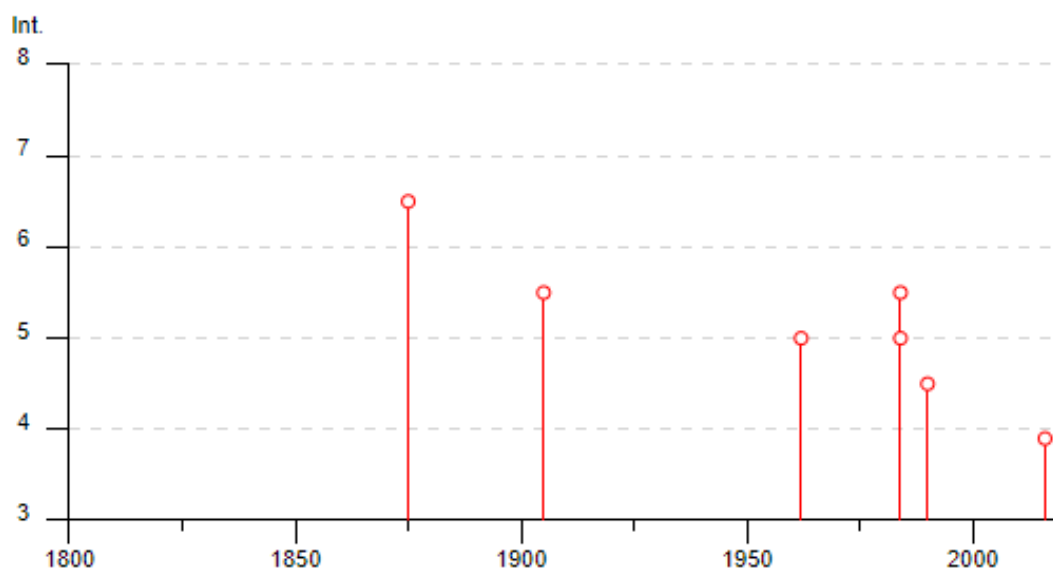


Fig. 90 – Storia sismica del Comune di Giugliano in Campania

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
5-6	1905	03	14	19	16		Avellinese	94	6-7	4.90
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
5-6	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
5	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
F	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61

Fig. 91 – Storia sismica del Comune di Giugliano in Campania

dove:

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

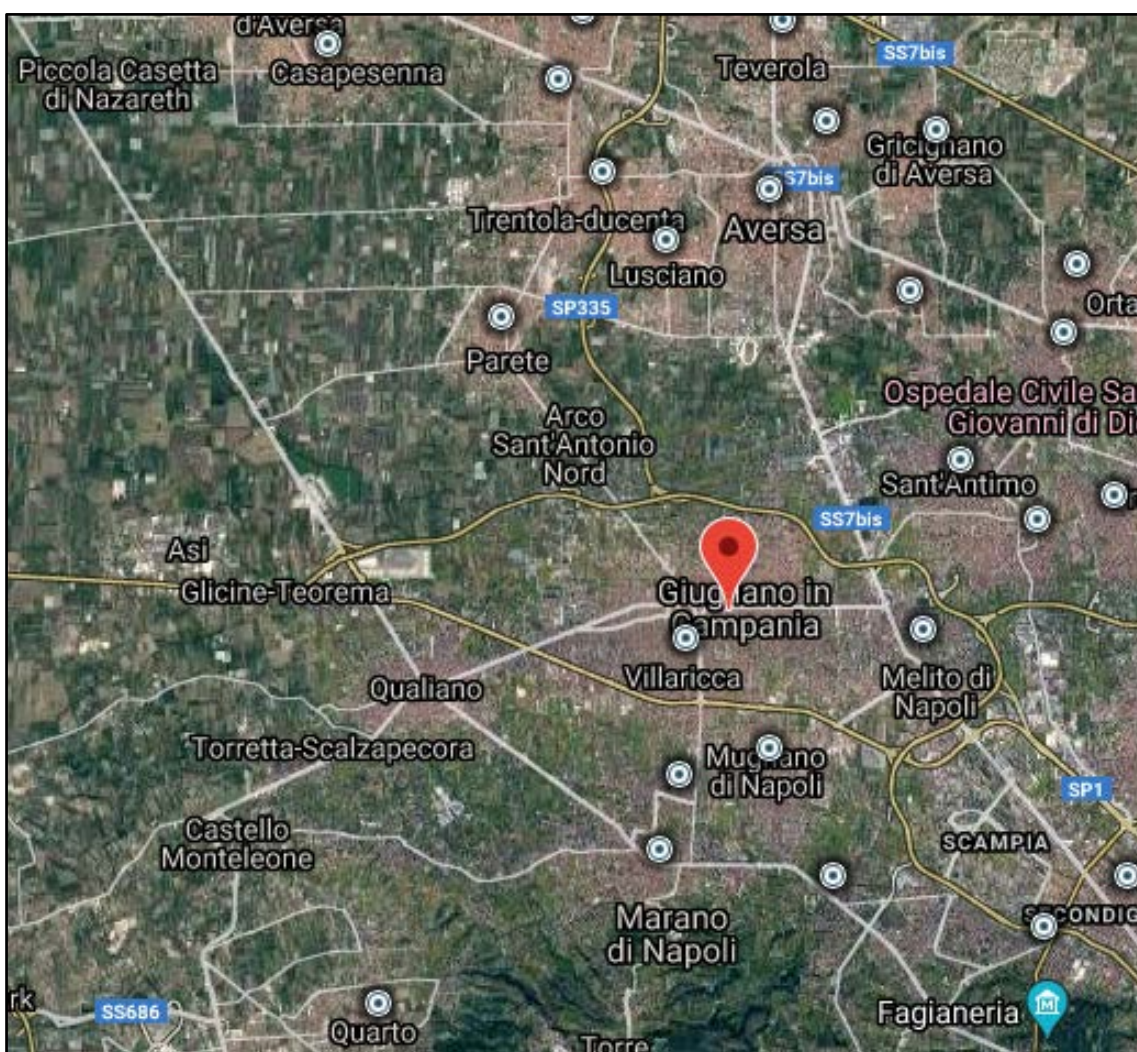


Fig. 92 – Maggiori terremoti registrati nelle località vicine al Comune di Giugliano in Campania

## 8.4 Classificazione sismica di Giugliano in Campania

A livello normativo, il problema del rischio sismico viene affrontato in modo organico con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche", in cui si prevedeva l'aggiornamento periodico della classificazione e delle norme tecniche costruttive in funzione di nuove conoscenze sulla genesi e sull'azione dinamica esercitata sulle strutture dall'azione sismica.

Ai sensi della L. 64/74 i comuni dichiarati sismici venivano classificati mediante decreti legislativi con i quali ad essi veniva assegnato un grado di sismicità "S" (6,9,12) a seconda dell'intensità macrosismica.

Dal grado di sismicità S, successivamente si determinava semplicemente il coefficiente di intensità sismica "C", inteso come percentuale dell'accelerazione di gravità g, mediante la formula  $C = (S - 2)/100$  (Fig. 93).

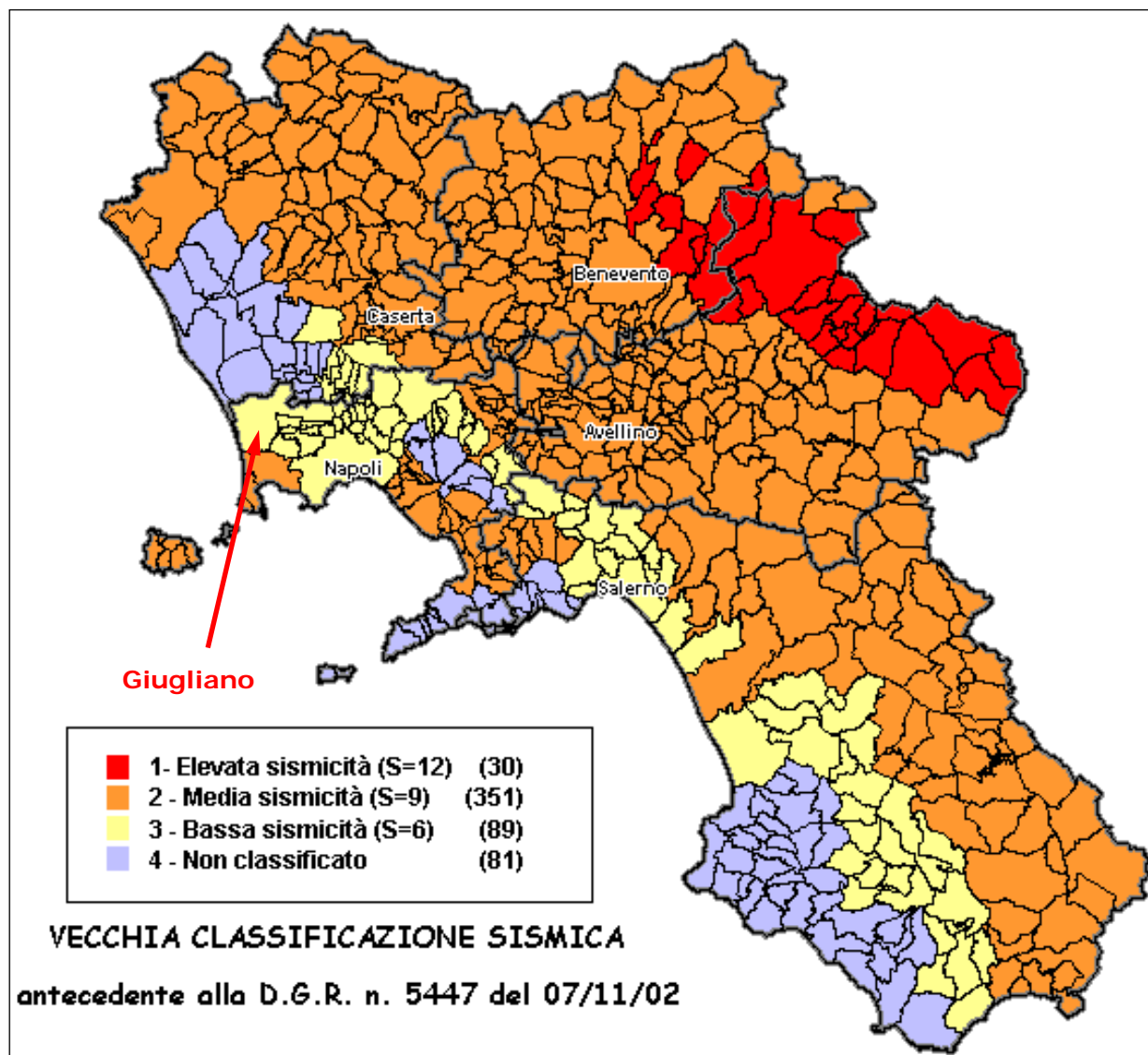


Fig. 93 – Vecchia classificazione sismica della Regione Campania



In seguito al terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, che evidenziò le errate scelte urbanistiche fino ad allora operate in chiave di protezione sismica, si rese necessario imporre norme più restrittive per l'adeguamento degli strumenti urbanistici generali e particolareggiati vigenti.

In tal senso, la Legge n.741 del 10 dicembre 1981 oltre a stabilire i criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico, determinava la delega alle Regioni (art. 20) per l'emanazione delle suddette norme, che in Campania trovò nella **Legge Regionale 9/83** una delle prime norme a livello locale che introducevano i criteri e le indagini per la redazione di mappe di Microzonazione comunale, per le progettazioni urbanistiche a carattere generale, e di Caratterizzazione sismica dei siti, per le progettazioni esecutive, nei comuni dichiarati sismici.

A seguito dei recenti eventi sismici (terremoto dell'Appennino umbro-marchigiano del 1998, terremoto del Molise del 2002), il legislatore ha emanato nel 2003 nuove norme antisismiche, introdotte con l'**Ordinanza n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*.

In anticipo rispetto alla normativa nazionale, la Regione Campania ha adottato, con **D.G.R. 5447 del 7 novembre 2002**, la nuova classificazione sismica del territorio regionale formulata dal gruppo di lavoro costituito da esperti del Servizio Sismico Nazionale, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997 e le risultanze relative ai comuni della Campania (Fig. 94).

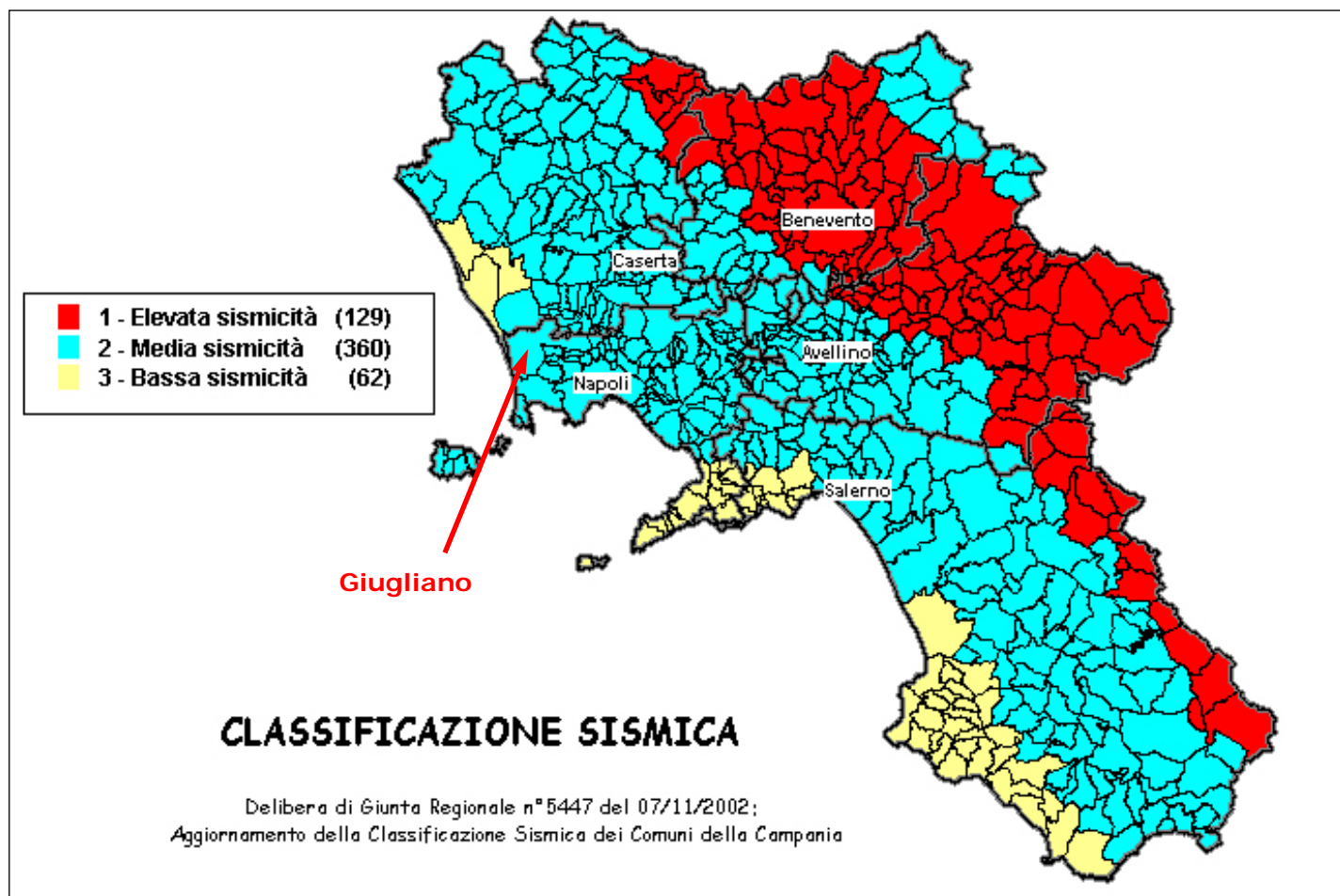


Fig. 94 – Nuova classificazione sismica del 2002 dei comuni della Regione Campania.  
Zona 1, valore di  $ag=0.35g$ ; Zona 2, valore di  $ag=0.25g$ ; Zona 3, valore di  $ag=0.15g$ .

In seguito a tale risoluzione, la classificazione sismica del territorio nazionale passa da tre a quattro categorie. In Campania i comuni classificati di *classe 1* (corrispondente ad un grado di sismicità  $S = 12$ ) passano da 30 a 131, con 101 comuni che passano dalla ex 2a categoria alla classe 1; *quelli di classe 2* ( $S = 9$ ) passano da 351 a 365, di cui 86 comuni della ex 3a categoria e 29 non classificati; quelli di *classe 3* passano da 89 a 55, di cui 52 comuni non classificati ai sensi della precedente classificazione (Figg. 95-96).

Pertanto il Comune di **Giugliano in Campania**, ai sensi della normativa vigente, è classificato a rischio sismico e rientra nella **zona 2** (*media sismicità*).

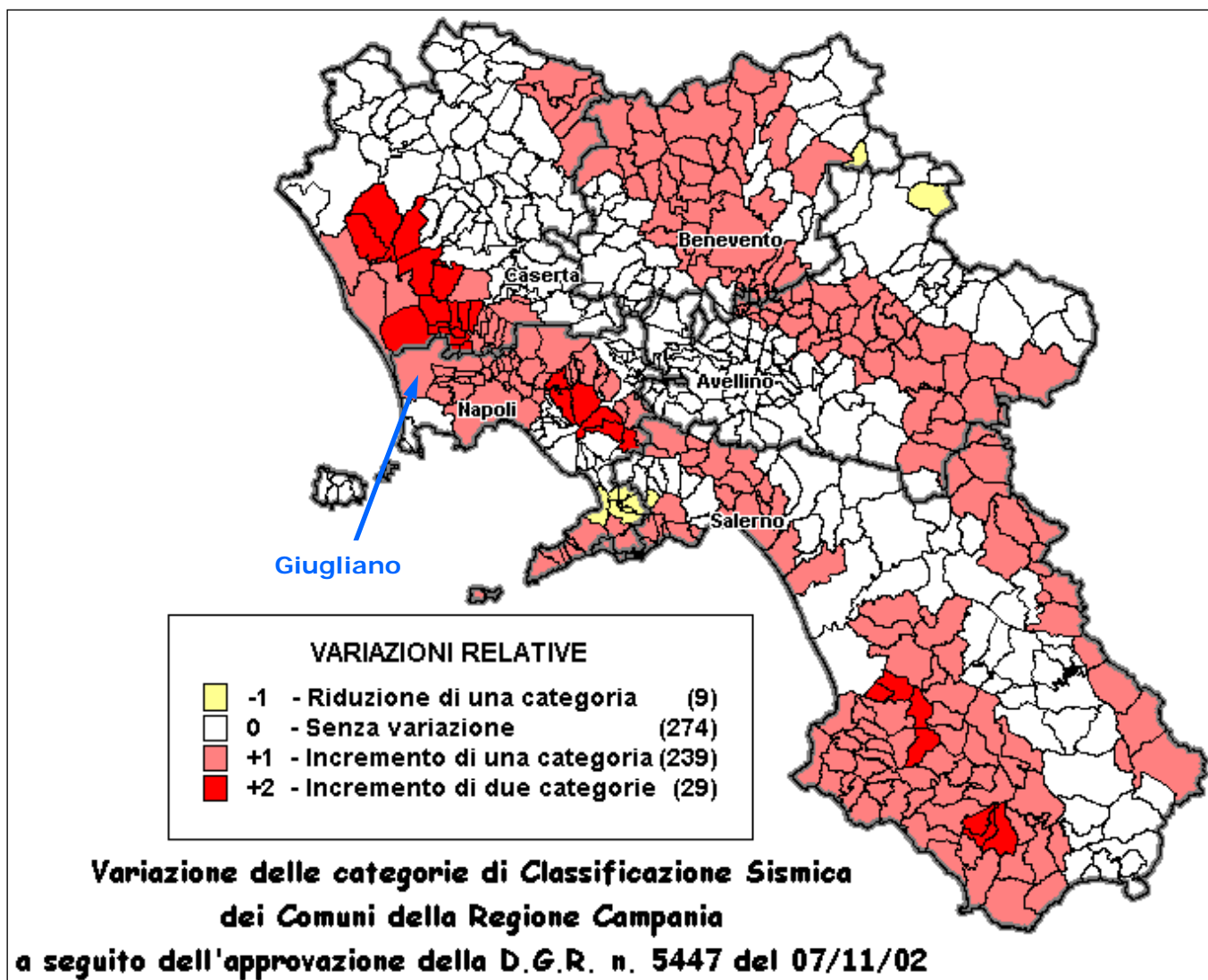


Fig. 95 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

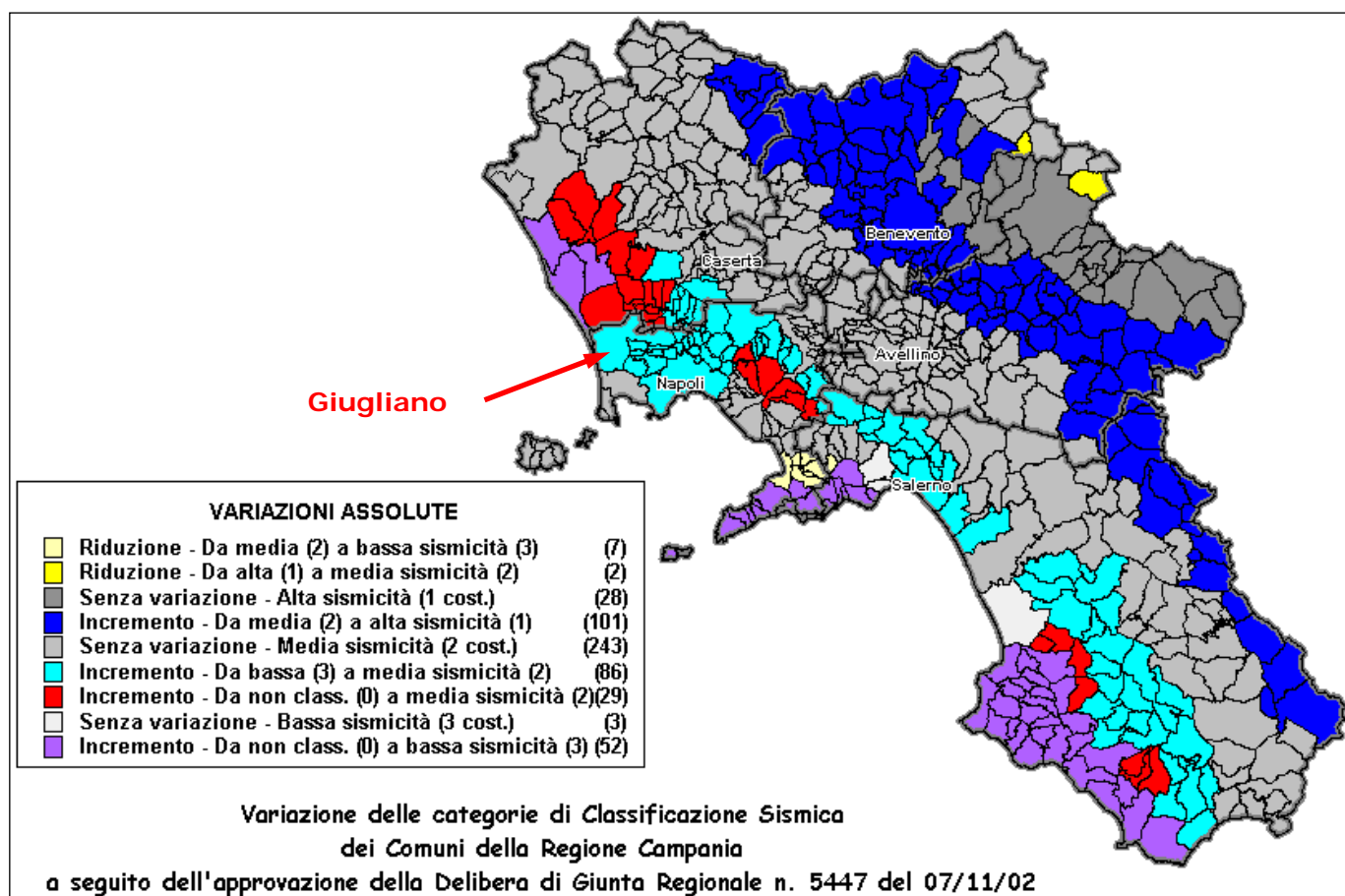


Fig. 96 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

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

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

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

Dall'applicazione della nuova normativa regionale (D.G.R.C. 248 del 24/01/2003; G.R.C. prot. 1667/SP del 5/11/2003; D.G.R.C. 816 del 10/06/2004) ne consegue che i Comuni che hanno subito una variazione dell'intensità sismica devono procedere ad una revisione degli strumenti urbanistici, in quanto questi risultano, di fatto, inadeguati a garantire la sicurezza nel territorio e, soprattutto, degli edifici in occasione dell'evento massimo atteso.

Tutti i Comuni della Campania devono, pertanto, procedere ad **azioni di valutazione dell'intensità sismica locale (Microzonazione Sismica)** e ad una **revisione degli strumenti urbanistici vigenti**, in quanto gli stessi risultano essere inadeguati, in termini di "Pericolosità Sismica", alla nuova normativa vigente in Italia (cfr. *Relazione finale della Commissione Pericolosità Sismica -Deliberazione n° 181 del 24/01/2007 dell'Ordine dei Geologi della Campania*).

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di **Giugliano in Campania** (Fig. 97) rientra nelle celle contraddistinte da valori di *ag* di riferimento compresi tra **0.125 e 0.175** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *ag*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

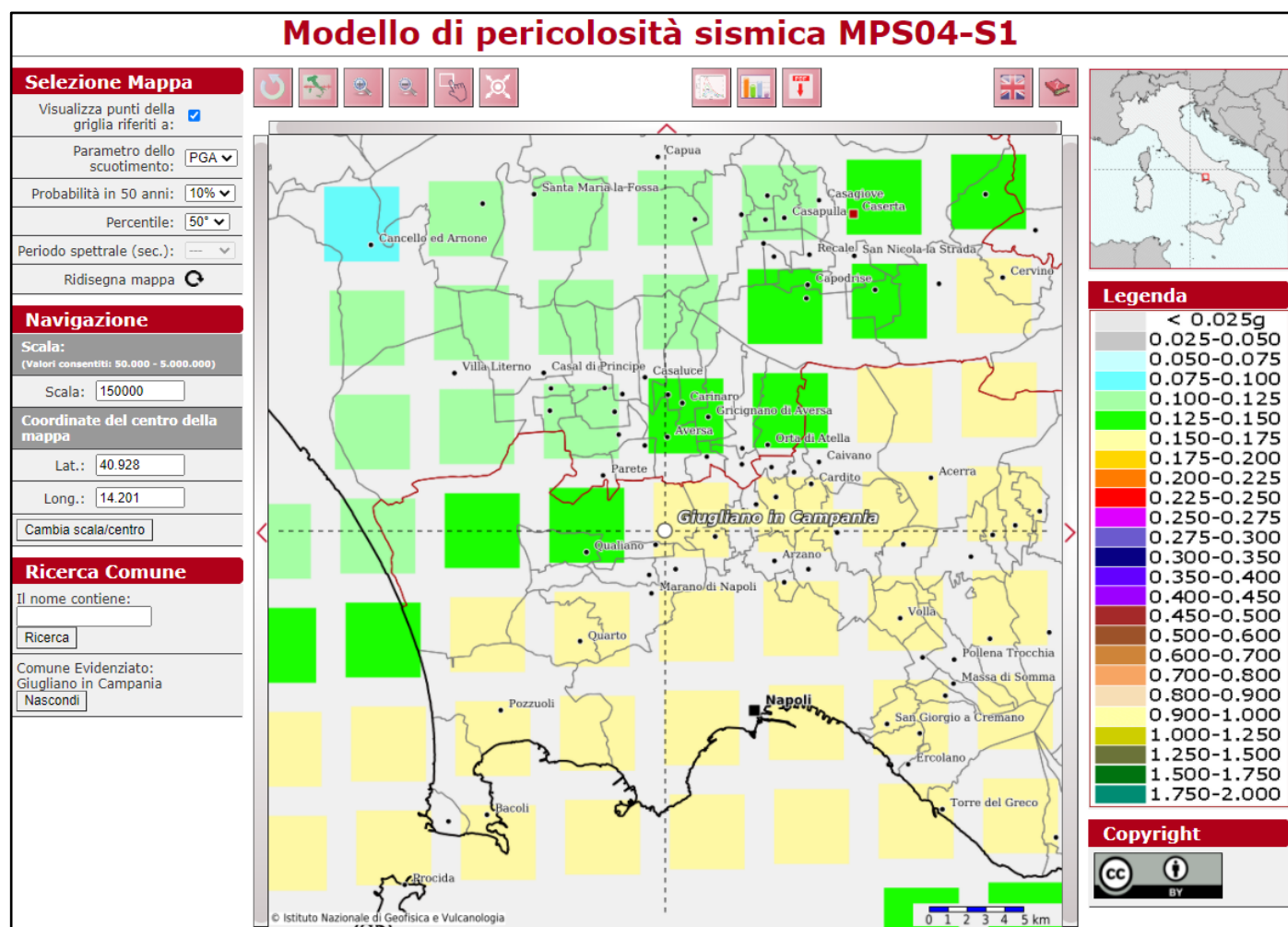


Fig. 97 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le N.T.C./2018. Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *a(g)*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

## 9. Risposta sismica locale

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

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

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono, dunque, a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della *risposta sismica locale*, cioè l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

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

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

## 9.1 Categoria di sottosuolo

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

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

Per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 (Fig. 98) si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2.

**Tabella 3.2.II delle NTC – Categorie di sottosuolo**

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

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

con:

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

$V_{s,i}$ : velocità dell'onda di taglio media nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

*H*: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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

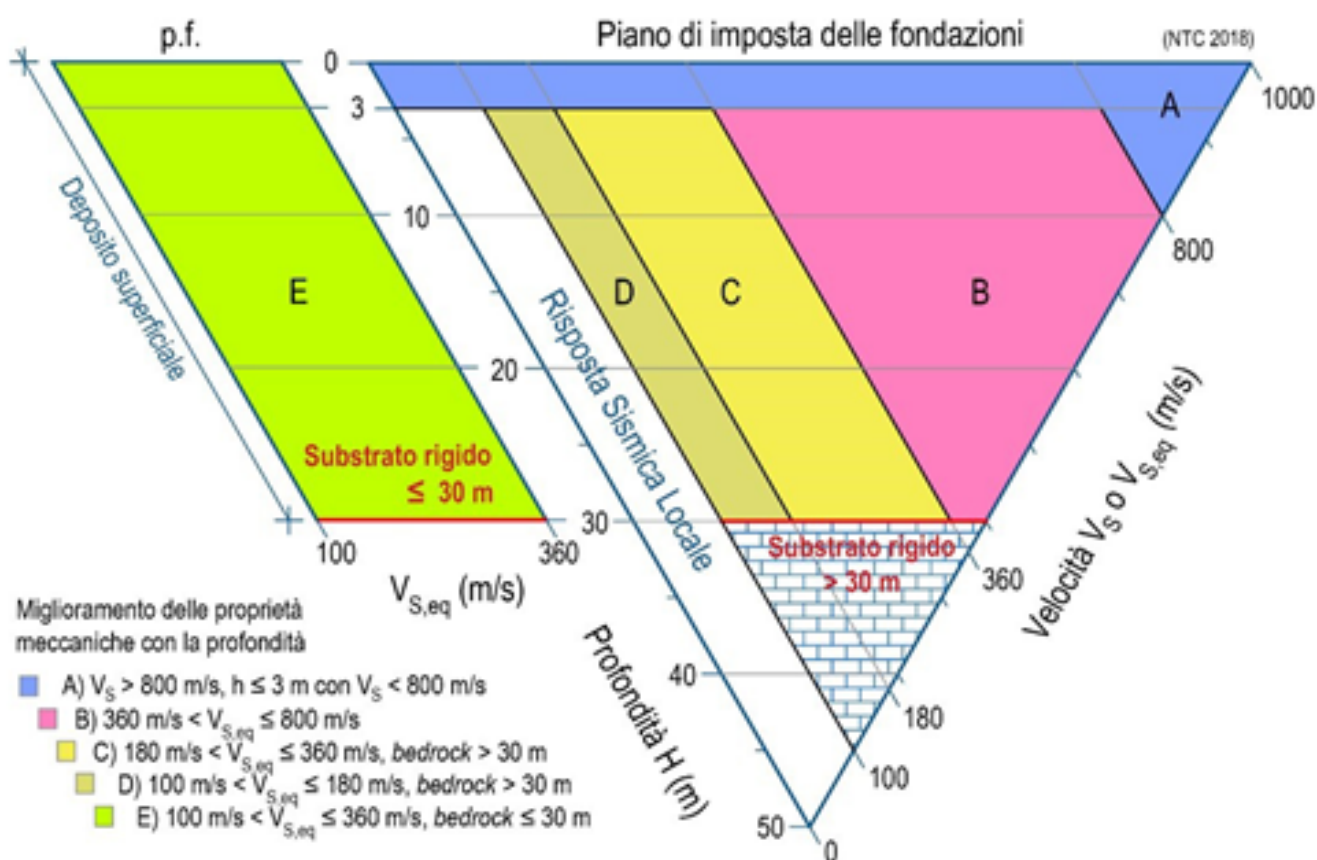
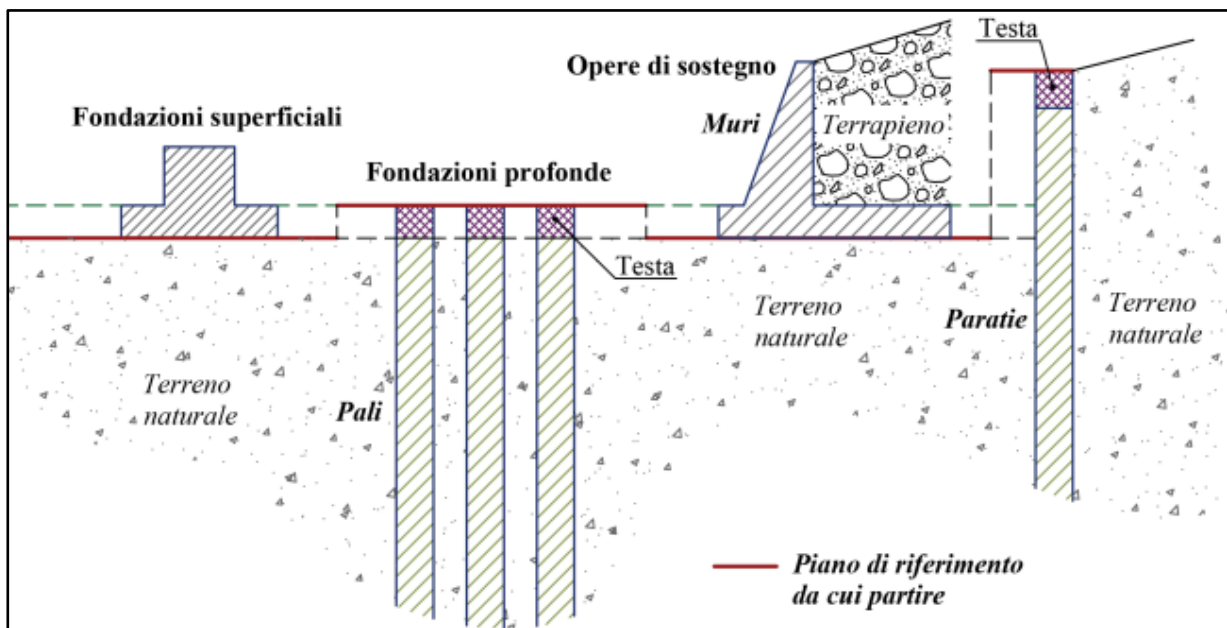


Fig. 98 - Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (Fig. 99).





*Fig. 99 – Piano di riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo  
Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.*

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

Vista la tipologia delle opere in progetto, la profondità del piano di fondazione è stata considerata corrispondente a quella del piano campagna attuale, ossia 0,00 m dal p.c.

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw1 – "Campo 1 Nord"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e h<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

Valori della M.A.S.W Mw1 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	h <sub>calc</sub> (m)	h <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,80	1,80	189,00	1,80	1,80	0,009524
2	4,00	2,20	200,00	4,00	2,20	0,011000
3	6,80	2,80	247,00	6,80	2,80	0,011336
4	10,70	3,90	298,00	10,70	3,90	0,013087
5	14,90	4,20	377,00	14,90	4,20	0,011141
6	19,80	4,90	402,00	19,80	4,90	0,012189
7	25,00	5,20	468,00	25,00	5,20	0,011111
8	30,00	5,00	502,00	30,00	5,00	0,009960

Vs,30 = **335,77** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

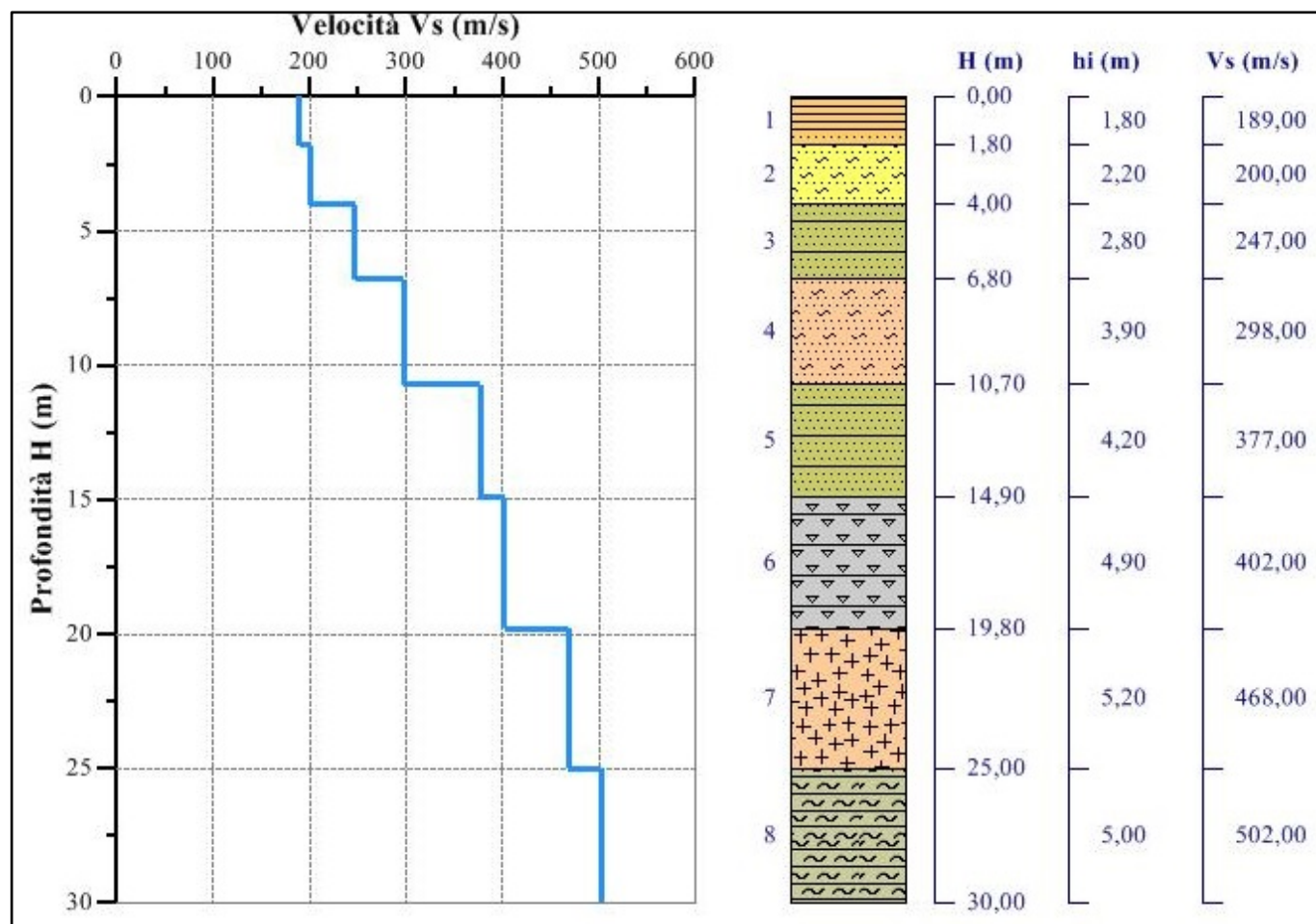


Fig. 100 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw1 eseguita in località Cinistrelli del Comune di Giugliano in Campania (Campo 1 Nord).

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw2 – "Campo 1 Nord"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e hi<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

Valori della M.A.S.W Mw2 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,80	1,80	201,00	1,80	1,80	0,008955
2	4,50	2,70	222,00	4,50	2,70	0,012162
3	7,00	2,50	248,00	7,00	2,50	0,010081
4	10,80	3,80	300,00	10,80	3,80	0,012667
5	15,00	4,20	382,00	15,00	4,20	0,010995
6	19,80	4,80	407,00	19,80	4,80	0,011794
7	25,10	5,30	460,00	25,10	5,30	0,011522
8	30,00	4,90	498,00	30,00	4,90	0,009839

Vs,30 = **340,85** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

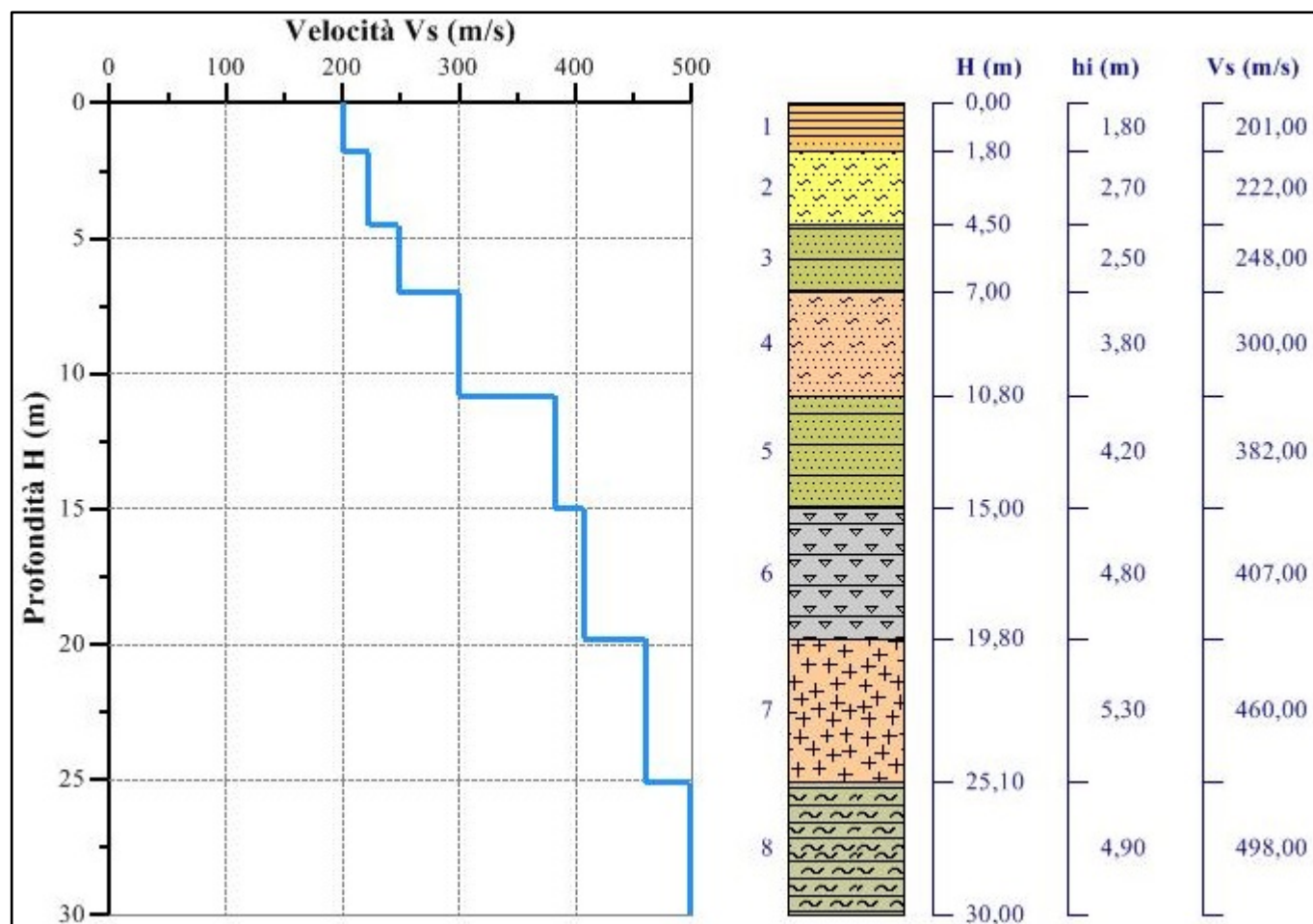


Fig. 101 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw2 eseguita in località Cinistrelli del Comune di Giugliano in Campania (Campo 1 Nord).

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw3 – "Campo 1 Nord"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e hi<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

Valori della M.A.S.W Mw3 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,70	1,70	144,00	1,70	1,70	0,011806
2	4,00	2,30	199,00	4,00	2,30	0,011558
3	6,10	2,10	220,00	6,10	2,10	0,009545
4	10,30	4,20	243,00	10,30	4,20	0,017284
5	13,80	3,50	304,00	13,80	3,50	0,011513
6	19,30	5,50	368,00	19,30	5,50	0,014946
7	24,20	4,90	410,00	24,20	4,90	0,011951
8	30,00	5,80	459,00	30,00	5,80	0,012636

Vs,30 = **296,33** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

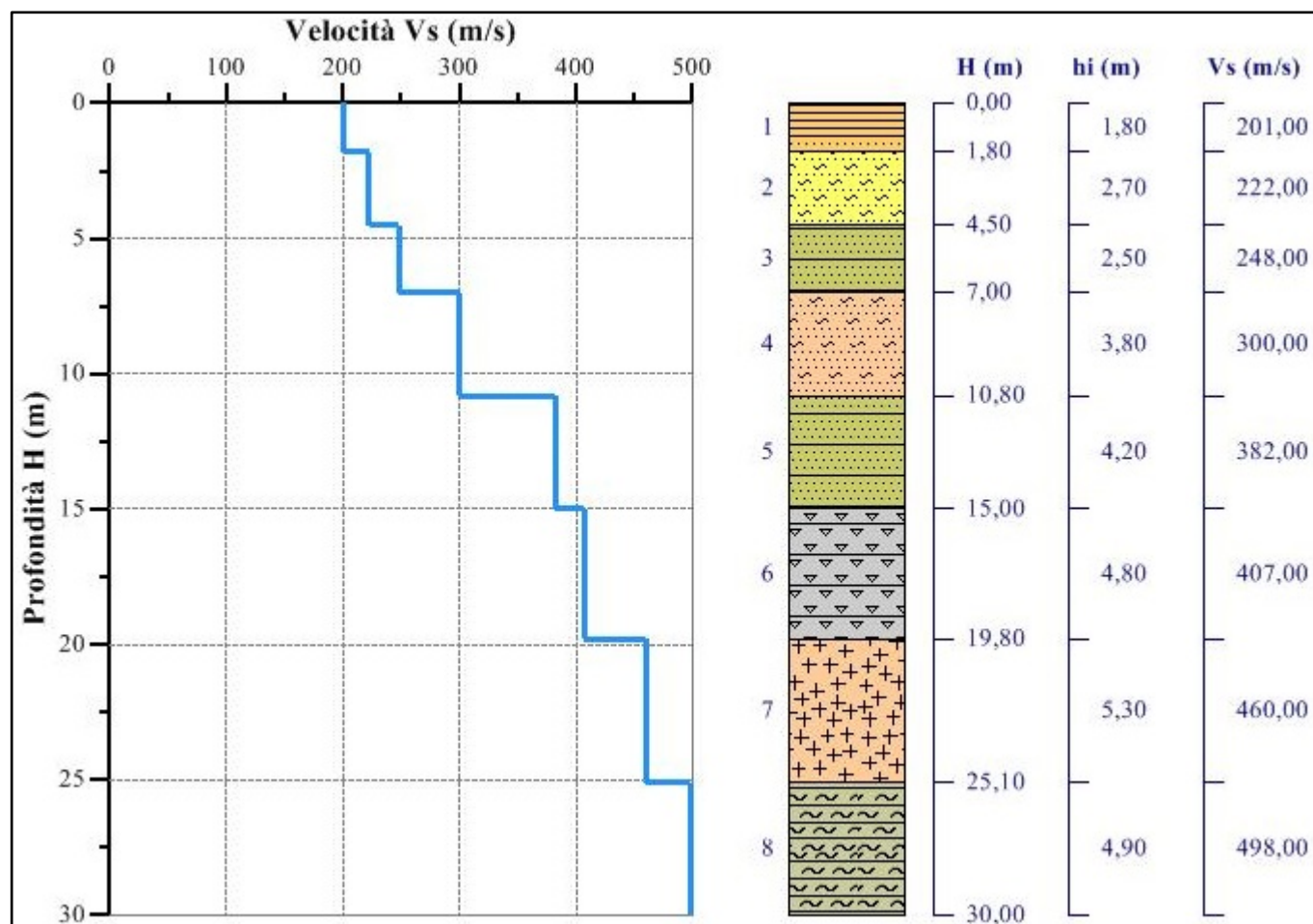


Fig. 102 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw3 eseguita in località Cinistrelli del Comune di Giugliano in Campania (Campo 1 Nord).

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw4 – "Campo 2 Sud"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e h<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

*Valori della M.A.S.W Mw4 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).*

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	h <sub>calc</sub> (m)	h <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,90	1,90	180,00	1,90	1,90	0,010556
2	4,70	2,80	194,00	4,70	2,80	0,014433
3	7,20	2,50	238,00	7,20	2,50	0,010504
4	11,00	3,80	308,00	11,00	3,80	0,012338
5	14,50	3,50	383,00	14,50	3,50	0,009138
6	19,30	4,80	442,00	19,30	4,80	0,010860
7	24,50	5,20	492,00	24,50	5,20	0,010569
8	30,00	5,50	543,00	30,00	5,50	0,010129

Vs,30 = **338,88** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

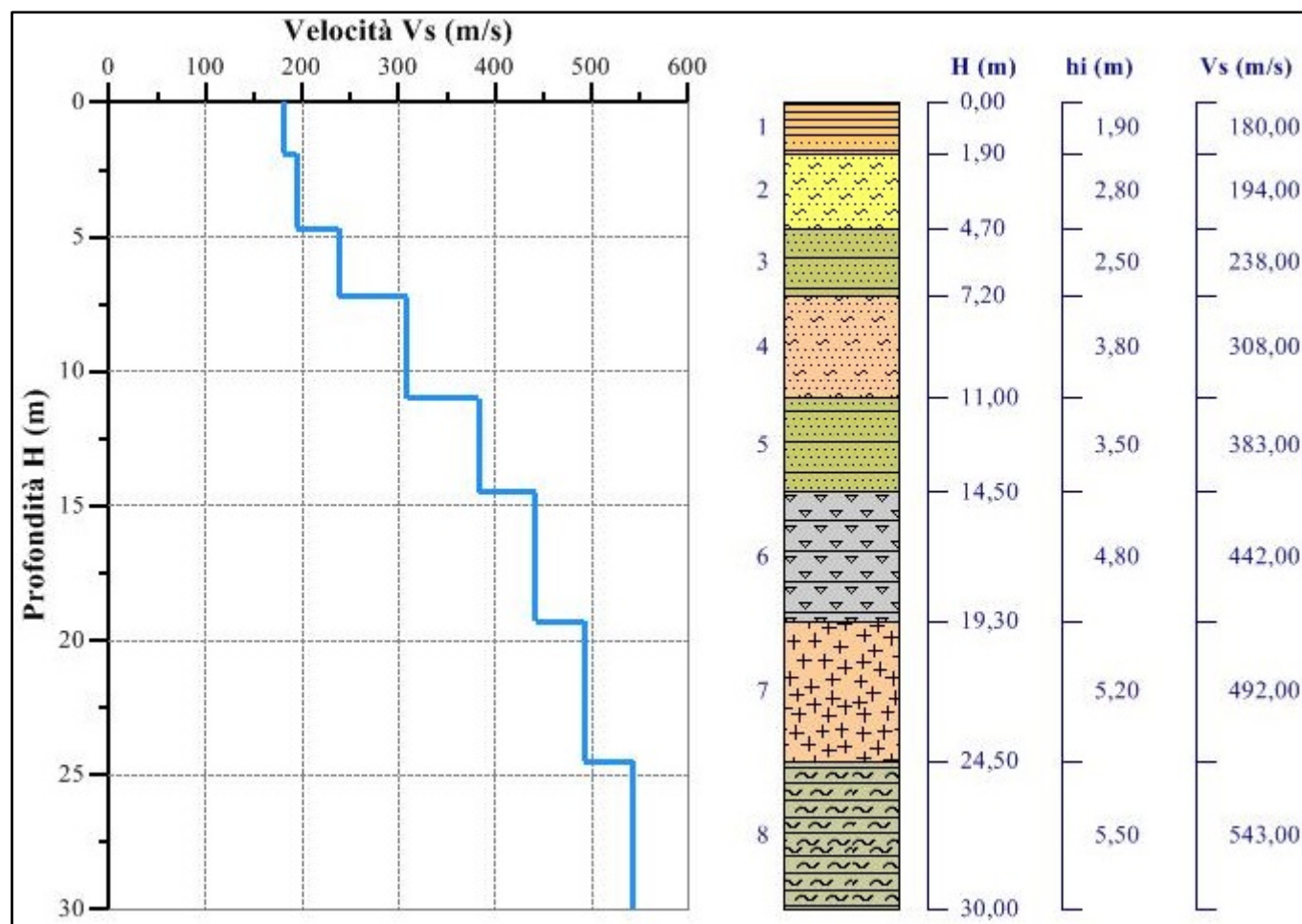


Fig. 103 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw4 eseguita in località La Pigna-Provvidenza del Comune di Giugliano in Campania (Campo 2 Sud).

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw5 – "Campo 2 Sud"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e hi<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

*Valori della M.A.S.W Mw5 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).*

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,70	1,70	225,00	1,70	1,70	0,007556
2	4,10	2,40	237,00	4,10	2,40	0,010127
3	6,20	2,10	261,00	6,20	2,10	0,008046
4	10,00	3,80	304,00	10,00	3,80	0,012500
5	14,20	4,20	368,00	14,20	4,20	0,011413
6	19,50	5,30	395,00	19,50	5,30	0,013418
7	24,30	4,80	414,00	24,30	4,80	0,011594
8	30,00	5,70	504,00	30,00	5,70	0,011310

Vs,30 = **348,99** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

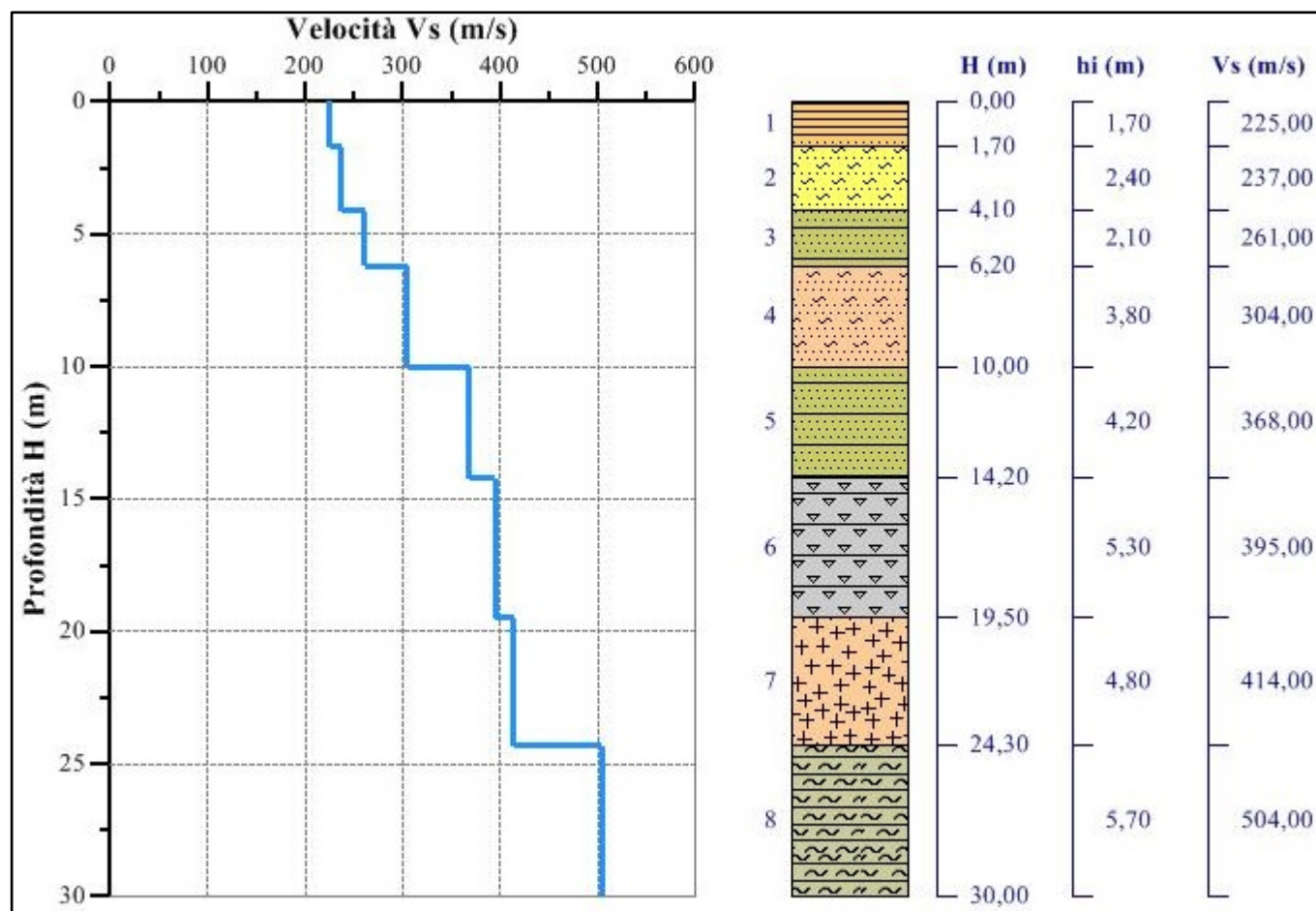


Fig. 104 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw5 eseguita in località La Pigna-Provvidenza del Comune di Giugliano in Campania (Campo 2 Sud).

**Categoria di sottosuolo calcolata dall'elaborazione della M.A.S.W. Mw6 – "Campo 2 Sud"**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e hi<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

*Valori della M.A.S.W Mw6 utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).*

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,90	1,90	201,00	1,90	1,90	0,009453
2	4,40	2,50	256,00	4,40	2,50	0,009766
3	6,30	1,90	282,00	6,30	1,90	0,006738
4	10,60	4,30	352,00	10,60	4,30	0,012216
5	14,50	3,90	387,00	14,50	3,90	0,010078
6	19,70	5,20	418,00	19,70	5,20	0,012440
7	24,50	4,80	431,00	24,50	4,80	0,011137
8	30,00	5,50	452,00	30,00	5,50	0,012168

Vs,30 = **357,17** m/s

Categoria di sottosuolo: **C**

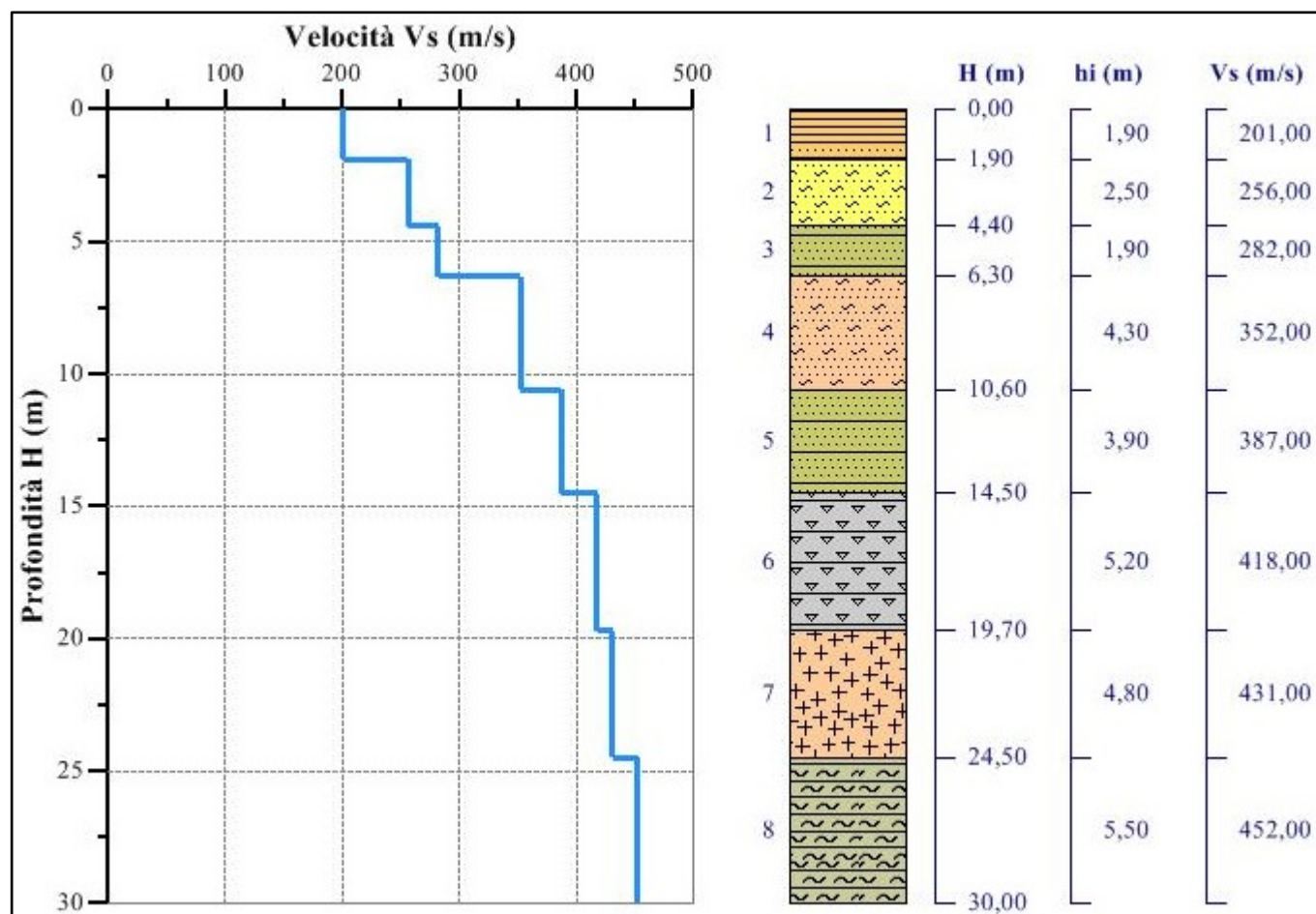


Fig. 105 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw6 eseguita in località La Pigna-Provvidenza del Comune di Giugliano in Campania (Campo 2 Sud).

### Riepilogo della determinazione delle categorie di sottosuolo

Prospezione M.A.S.W	Sito	Velocità $V_{30}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo
Mw 1	Campo 1 Nord	335,77	C
Mw 2	Campo 1 Nord	340,85	C
Mw 3	Campo 1 Nord	296,33	C
Mw 4	Campo 2 Sud	338,88	C
Mw 5	Campo 2 Sud	348,99	C
Mw 6	Campo 2 Sud	357,17	C

Come si può evincere dalla precedente tabella, i valori delle velocità delle onde di taglio ricavati dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite in località Cinistrelli (Campo 1 Nord) e in località La Pigna-Provvidenza (Campo 2 Sud) hanno evidenziato che entrambi i siti rientrano nella categoria di sottosuolo **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, avendo determinato una velocità media delle onde di taglio  $V_s$  entro i 30,0 metri di profondità compresa tra **296 m/s** e **357 m/s**.*



## 9.2 Categoria topografica

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

**Tabella 3.2.IV delle NTC – Categorie topografiche**

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

I siti interessati dalla realizzazione degli impianti fotovoltaici sono posti ad una quota di 54 m s.l.m. (Campo 1 Nord) e di 40 m s.l.m. (Campo 2 Sud) su superfici pianeggianti. Per tale motivo essi rientrano nella categoria topografica **T1**,

## 9.3 Condizioni di amplificazione stratigrafica e topografica

Come già specificato nelle pagine precedenti, la pericolosità sismica di base viene determinata facendo riferimento alle ipotesi di sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale e campo libero (*free field*).

Le condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera e le condizioni topografiche determinano una modifica delle onde sismiche in superficie (Fig. 106), in termini di ampiezza dell'oscillazione, durata e contenuto in frequenza.

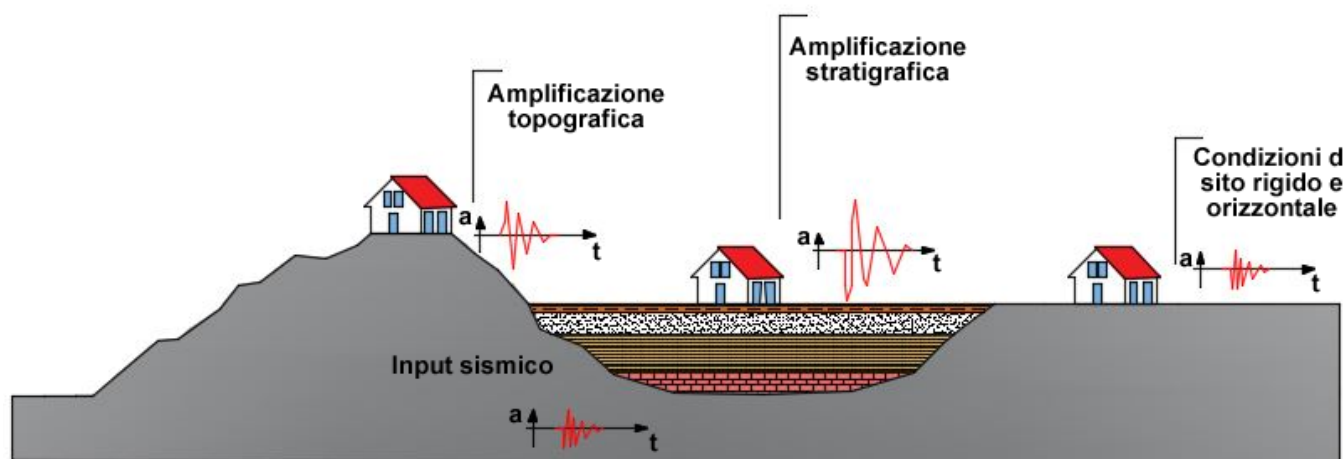


Fig. 106 – Effetto dell'amplificazione stratigrafica e topografica sull'azione sismica

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

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

In merito all'amplificazione stratigrafica per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti **S<sub>s</sub>** e **C<sub>c</sub>** valgono **1,00** mentre per le categorie di sottosuolo **B, C, D,** ed **E** tali coefficienti possono essere calcolati, in funzione dei valori di **F<sub>0</sub>** e **T\*c** relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC, nelle quali **g** è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

**Tabella 3.2.V delle NTC – Espressioni di S<sub>s</sub> e di C<sub>c</sub>**

Categoria Sottosuolo	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*c)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*c)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*c)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot ag/g \leq 1,60$	$1,10 \cdot (T^*c)^{-0,20}$

Nel caso in esame, avendo determinato una categoria di suolo **C**, il coefficiente di amplificazione stratigrafica **S<sub>s</sub>** ed il coefficiente **C<sub>c</sub>** assumono i seguenti valori:

Stato Limite	Campo 1 Nord		Campo 2 Sud	
	Coefficiente S <sub>s</sub>	Coefficiente C <sub>c</sub>	Coefficiente S <sub>s</sub>	Coefficiente C <sub>c</sub>
<b>SLO</b>	1,500	1,592	1,500	1,595
<b>SLD</b>	1,500	1,533	1,500	1,533
<b>SLV</b>	1,500	1,458	1,500	1,463
<b>SLC</b>	1,452	1,444	1,456	1,455

Relativamente all'amplificazione topografica, per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico **S<sub>T</sub>** riportati nella Tab. 3.2.VI delle NTC, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera.

**Tabella 3.2.VI delle NTC – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S<sub>T</sub>**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
<b>T1</b>		1,00
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

I siti ubicati in località Cinistrelli (Campo 1 Nord) e in località La Pigna e Provvidenza sono posti rispettivamente alle quote medie di 60 m s.l.m. e 35 m s.l.m. su superfici pianeggianti.

Per tale motivo essi rientrano nella categoria topografica **T1**, a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica **S<sub>T</sub>** pari a **1,00**.

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

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

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

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

### 10.1 Valutazione dell'azione sismica e relativi parametri

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

Negli sviluppi successivi il sito di riferimento sarà caratterizzato da sottosuolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1. Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata *P<sub>Vg</sub>*, si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle *NTC*, dalle accelerazioni *ag* e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle *NTC* sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

1. ***a<sub>g</sub>*** = accelerazione orizzontale massima del terreno;
2. ***F<sub>o</sub>*** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
3. ***T<sub>c</sub>\**** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

## 10.2 Stati limite e relative probabilità di superamento

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

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

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

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

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

- *FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base del progetto S1 - INGV).*
- *FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione.*
- *FASE 3 - Determinazione dell'azione di progetto.*

Nel seguito vengono forniti i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ , in funzione della latitudine e longitudine per ogni sito d'intervento (*Campo 1 Nord in località Cinestrelli e Campo 2 Sud in località La Pigna-Provvidenza*), per i periodi di ritorno  $T_R$ , associati a ciascuno stato limite di riferimento, da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC, mentre i successivi grafici rappresentano gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento per categoria di suolo A (**FASE 1**).

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

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

Per quanto riguarda la strategia di progettazione (**FASE 2**), su indicazione del progettista, si è valutato il periodo di riferimento  $V_R$  delle opere da realizzare in **50 anni**, ottenuto come prodotto tra la vita nominale  $V_N$  (**50 anni**) ed il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  (**1,0**) che compete alla classe d'uso delle opere di progetto (Classe II). In questo modo si sono ricavati, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{vg}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma ed i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ . (Figg. 69-74)

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

**FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1 – Campo 1 Nord**

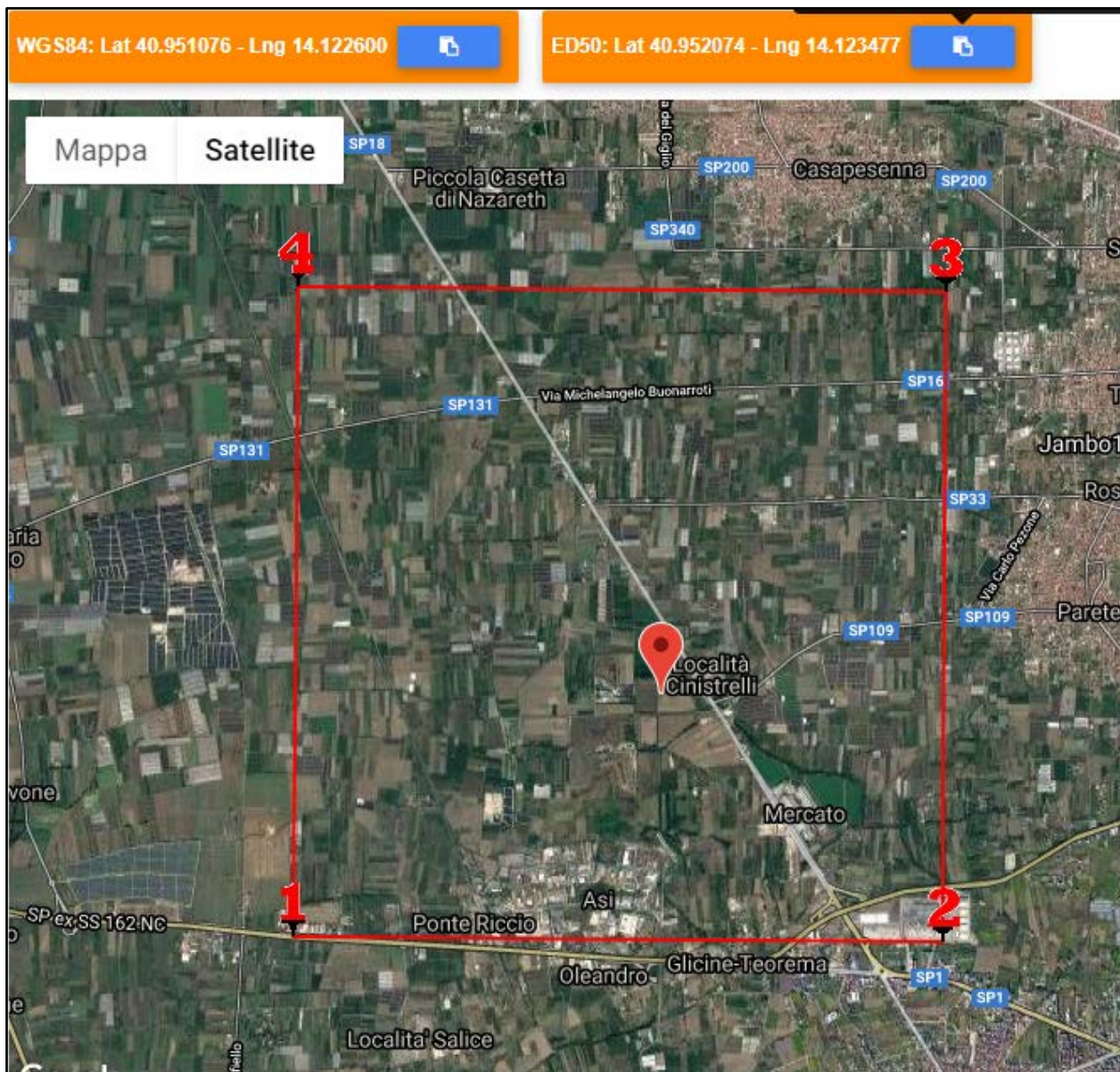


Fig. 107 - Nodi di reticolo intorno al sito "Campo 1 Nord" ubicato in località Cinistrelli del Comune di Giugliano

Si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto:

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 32754	Lat: 40,9334	Lon: 14,0859	Distanza: 3779,061
Sito 2	ID: 32755	Lat: 40,9331	Lon: 14,1521	Distanza: 3197,665
Sito 3	ID: 32533	Lat: 40,9831	Lon: 14,1525	Distanza: 4221,025
Sito 4	ID: 32532	Lat: 40,9834	Lon: 14,0863	Distanza: 4678,603

### CAMPO 1 NORD

Latitudine = 40,95207 N

Longitudine = 14,12347 E

Categoria di suolo A

Superficie topografica T1

**Tabella dei valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$   
per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,041	2,392	0,283
50	0,053	2,341	0,318
72	0,062	2,387	0,328
101	0,072	2,389	0,340
140	0,083	2,409	0,347
201	0,095	2,424	0,355
475	0,132	2,446	0,369
975	0,166	2,493	0,381
2475	0,217	2,577	0,389

dove:

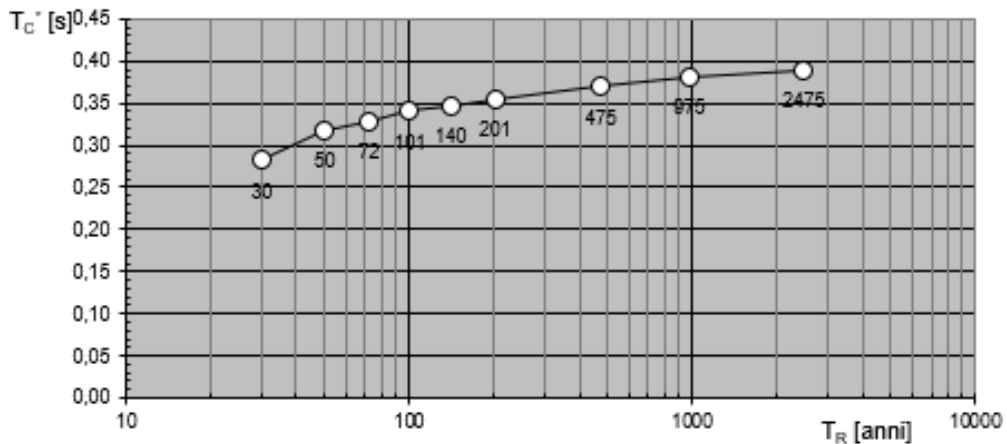
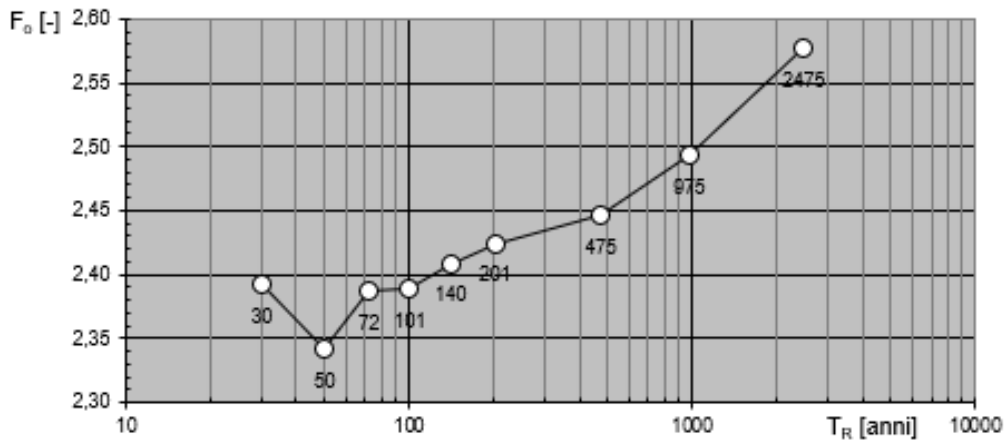
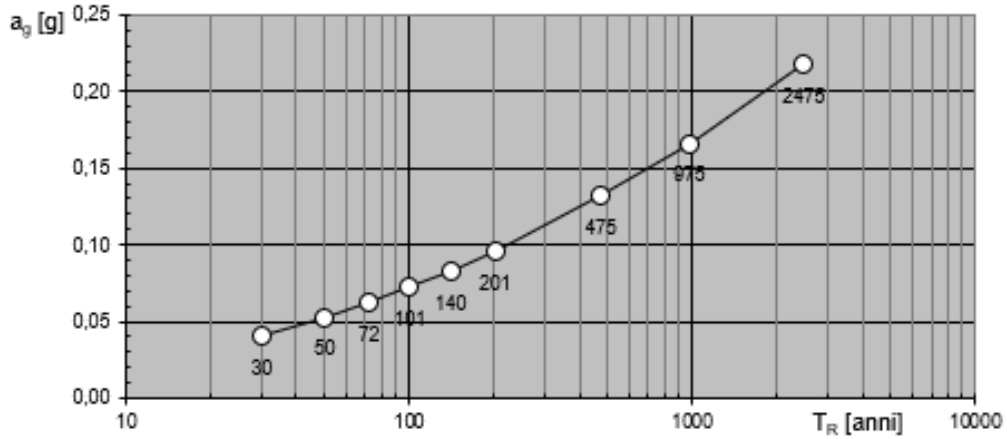
$a_g$  = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

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

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

**CAMPO 1 NORD**

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**

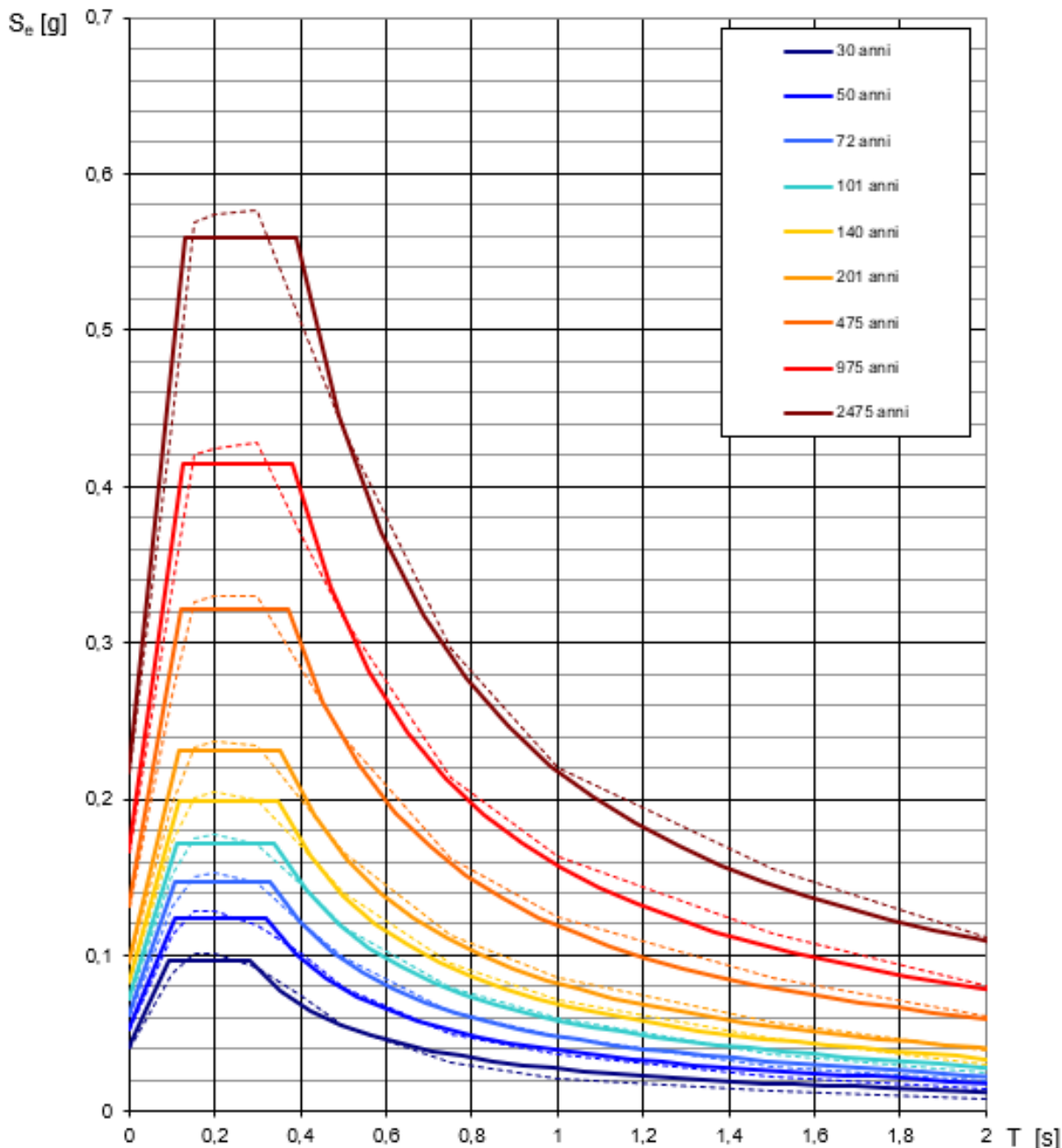




**CAMPO 1 NORD**

Coordinate del sito = Long. 14,12347 – Lat. 40,95207 (in gradi decimali)

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 108 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento, per categoria di suolo A e superficie topografica T1

## FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione: Campo 1 Nord

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,041	2,391	0,283
SLD	50	0,053	2,342	0,318
SLV	475	0,131	2,446	0,369
SLC	975	0,166	2,493	0,381

#### CAMPO 1 NORD

Latitudine = 40,95207 N

Longitudine = 14,12347 E

Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Stato Limite

### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

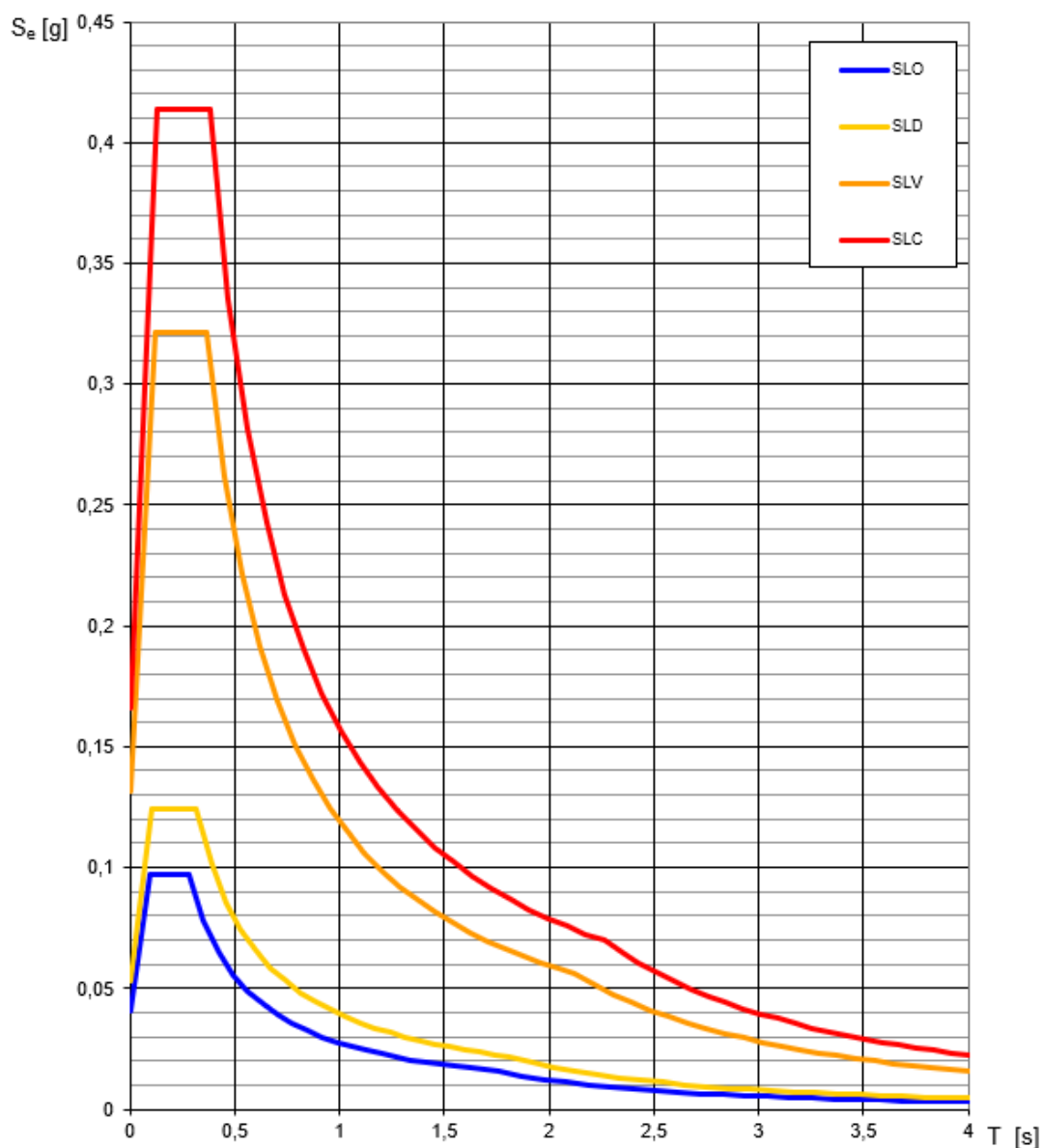


Fig. 109 - Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

**FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1-INGV). Pericolosità sismica in condizioni di campo libero e riferita a suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale T1 – Campo 2 Sud**

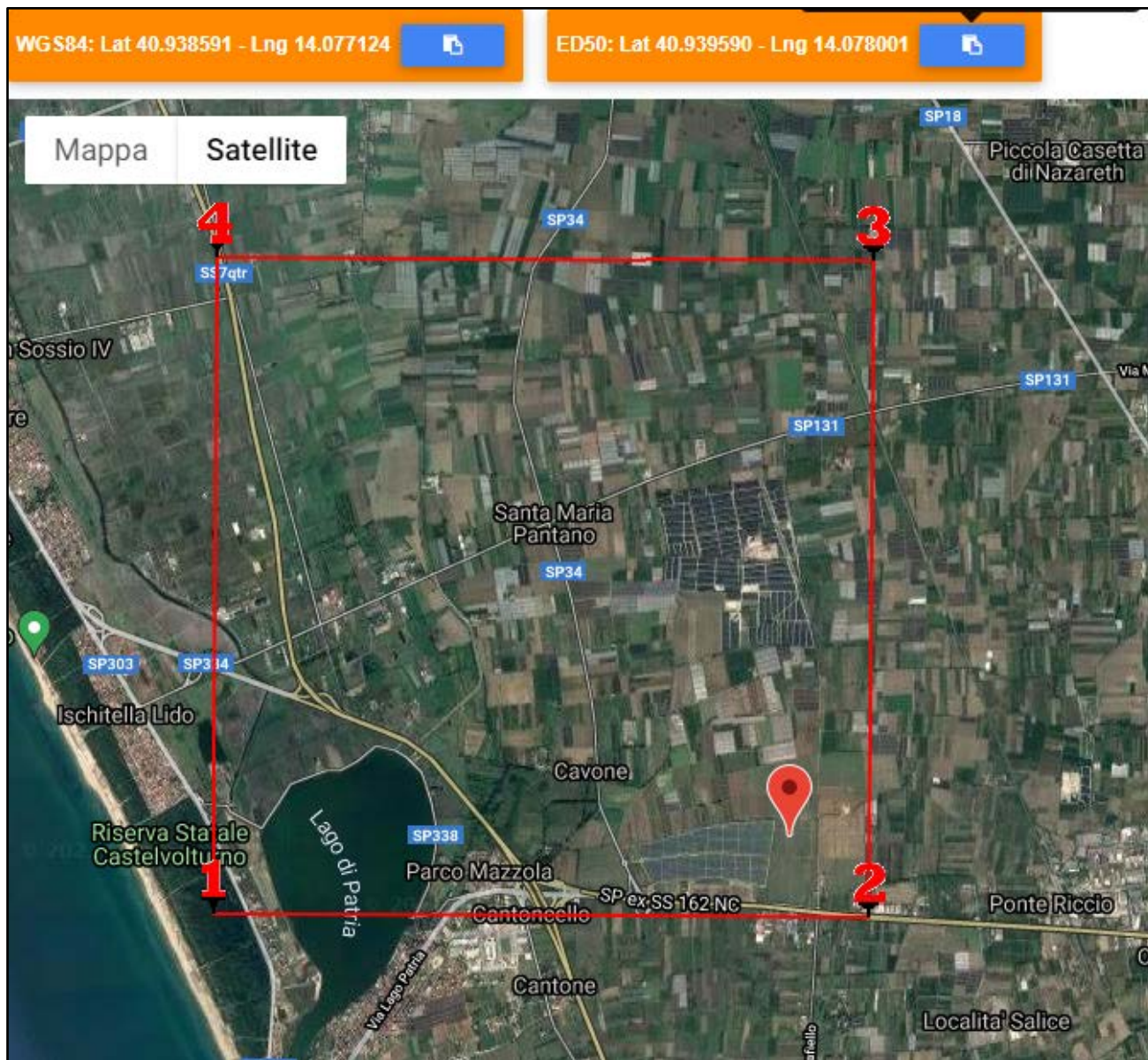


Fig. 110 - Nodi di reticolo intorno al sito "Campo 2 Sud" ubicato in località La Pigna-Provvidenza

Si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto:

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 32753	Lat: 40,9338	Lon: 14,0197	Distanza: 4938,365
Sito 2	ID: 32754	Lat: 40,9334	Lon: 14,0859	Distanza: 949,923
Sito 3	ID: 32532	Lat: 40,9834	Lon: 14,0863	Distanza: 4924,580
Sito 4	ID: 32531	Lat: 40,9838	Lon: 14,0201	Distanza: 6910,299

**CAMPO 2 SUD**

Latitudine = 40,93959 N

Longitudine = 14,07800 E

Categoria di suolo A

Superficie topografica T1

**Tabella dei valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$   
per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,040	2,396	0,281
50	0,052	2,335	0,317
72	0,060	2,388	0,327
101	0,071	2,384	0,340
140	0,081	2,406	0,347
201	0,093	2,423	0,354
475	0,129	2,442	0,366
975	0,163	2,500	0,372
2475	0,213	2,573	0,382

dove:

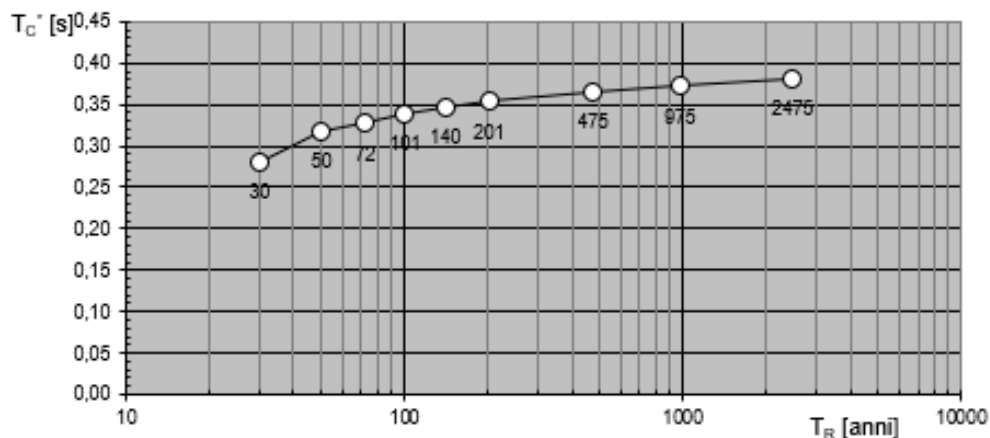
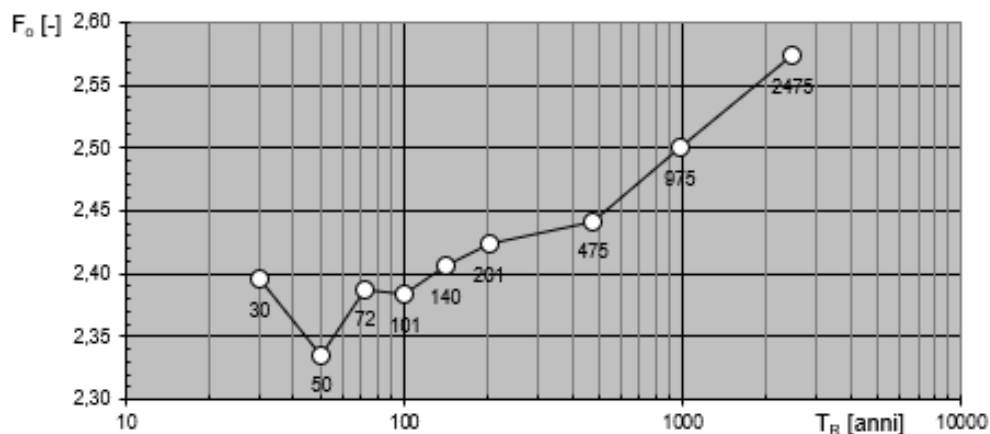
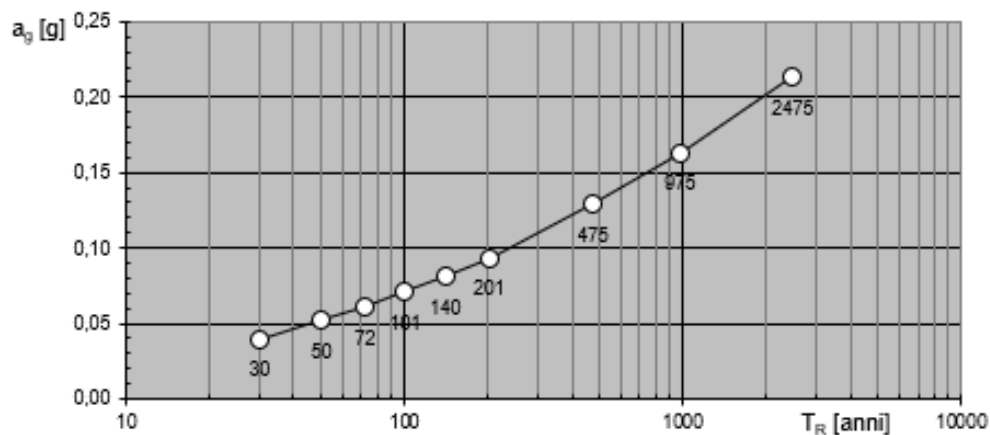
$a_g$  = accelerazione massima orizzontale del suolo della zona sismica, su sito di riferimento rigido orizzontale;

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

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

**CAMPO 2 SUD**

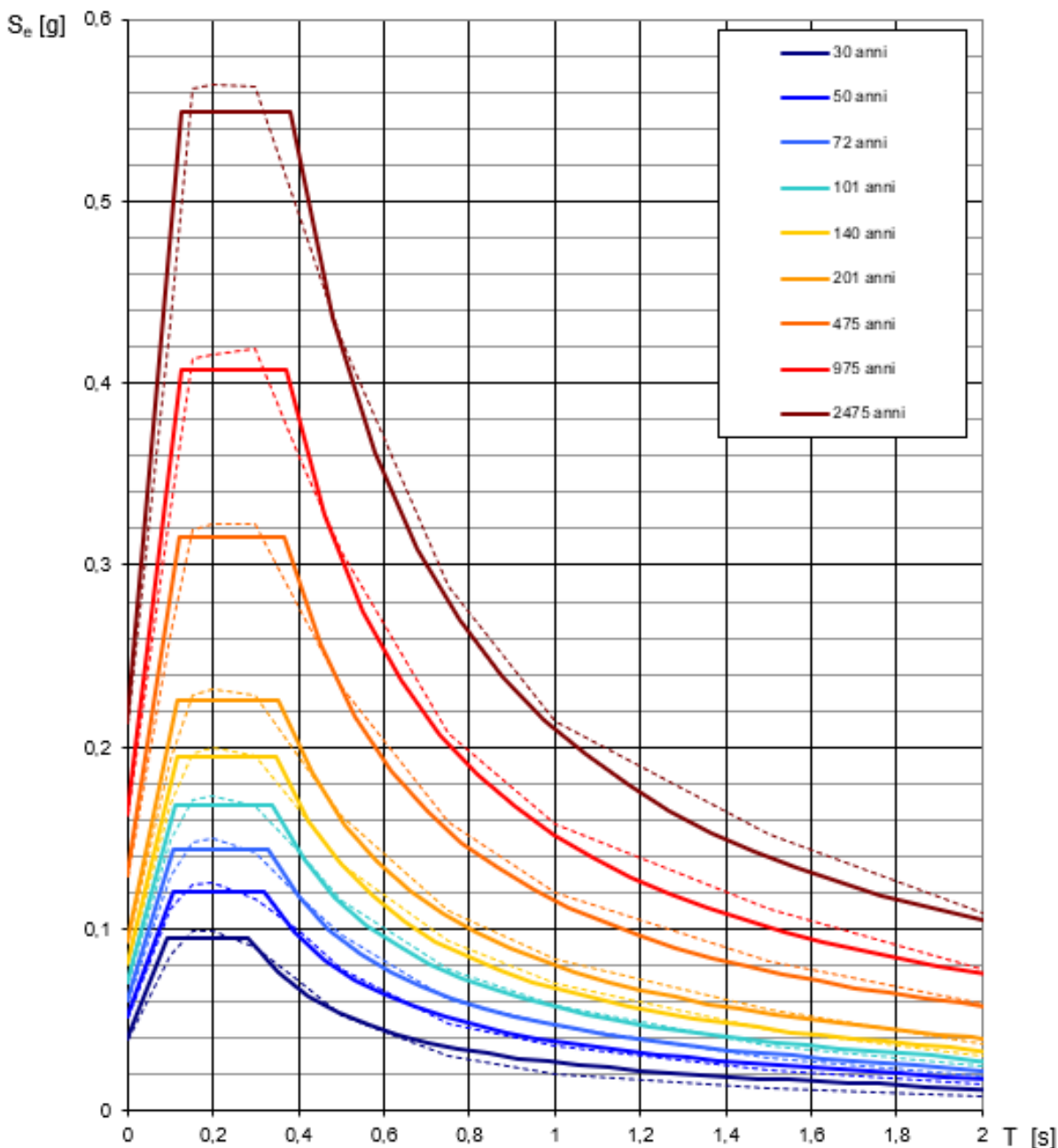
**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



### CAMPO 2 SUD

Coordinate del sito = Long. 14,07800 – Lat. 40,93959 (in gradi decimali)

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 111 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento, per categoria di suolo A e superficie topografica T1

## FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione: Campo 2 Sud

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,040	2,395	0,282
SLD	50	0,052	2,336	0,318
SLV	475	0,129	2,442	0,366
SLC	975	0,163	2,500	0,372

#### CAMPO 2 SUD

Latitudine = 40,93959 N

Longitudine = 14,07800 E

Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Stato Limite

### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

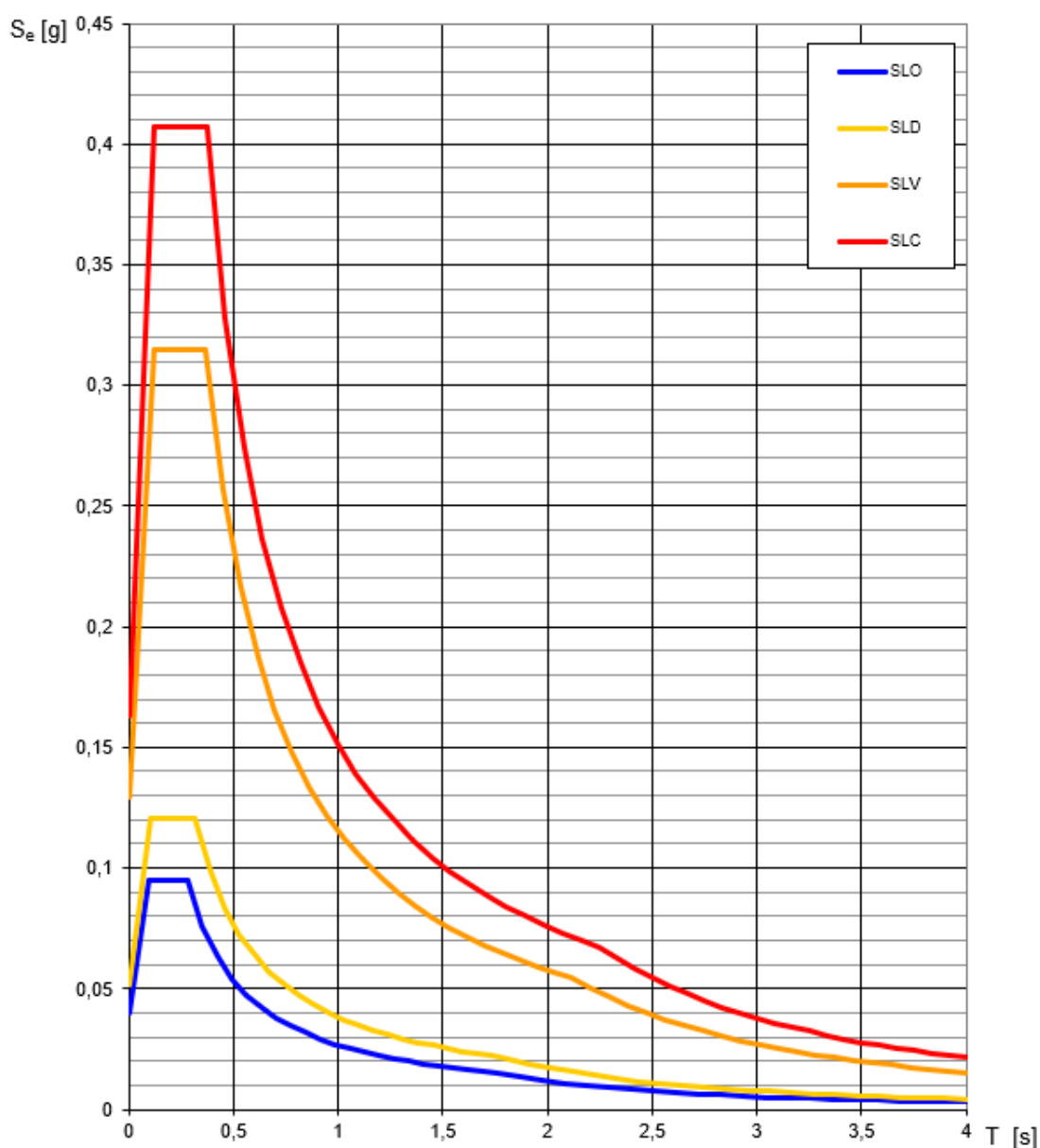


Fig. 112 - Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

### FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante la sola accelerazione massima attesa, mediante l'intero spettro di risposta o mediante storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi). La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%.

Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione  $T \leq 4$  s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante le stesse espressioni fornite dall'EN1998 nelle quali, tuttavia, non si è assunto un singolo valore per l'amplificazione massima ma si è fornita tale grandezza,  $F_0$ , in funzione della pericolosità del sito insieme alle grandezze  $ag$ ,  $T_c$  e, conseguentemente,  $T_B$ ,  $T_D$ .

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

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

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

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

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

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



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

**CAMPO 1 NORD: Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero ( $a_{max}$ )**

Stato Limite	Coefficiente $S_s$	Coefficiente $S_T$	$S = S_s \times S_T$	$ag$	$a_{max} = ag \times S$
SLO	1,500	1,000	1,500	0,041	0,0615
SLD	1,500	1,000	1,500	0,053	0,0795
SLV	1,500	1,000	1,500	0,131	0,1965
SLC	1,452	1,000	1,452	0,166	0,2410

**CAMPO 2 SUD: Valore dell'accelerazione sismica massima in campo libero ( $a_{max}$ )**

Stato Limite	Coefficiente $S_s$	Coefficiente $S_T$	$S = S_s \times S_T$	$ag$	$a_{max} = ag \times S$
SLO	1,500	1,000	1,500	0,040	0,0600
SLD	1,500	1,000	1,500	0,052	0,0780
SLV	1,500	1,000	1,500	0,129	0,1935
SLC	1,456	1,000	1,456	0,163	0,2373

## 11. Verifica delle pericolosità dovuti agli effetti cosismici

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

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

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

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

### 11.1 Stabilità nei confronti della liquefazione

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

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

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

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

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

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. Il D.M. 17.01.2018 contiene al punto 7.11.3.4.2 le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Una valutazione semplificata della suscettibilità può essere ottenuta considerando le seguenti condizioni:

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

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 KPa, e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove

penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione di verticale di 100 KPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 113 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 114 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

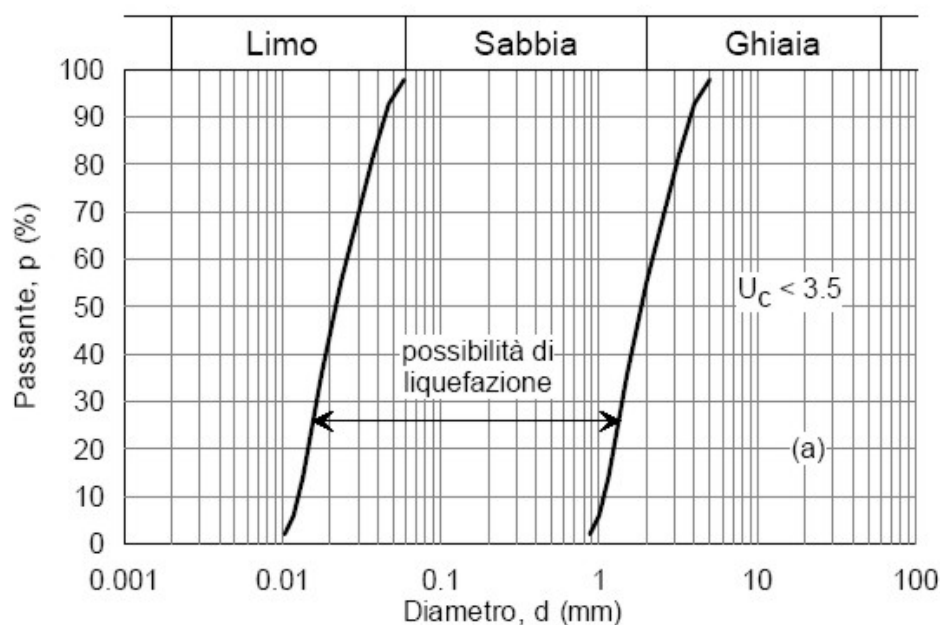


Fig. 113 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ( $U_c < 3,5$ )

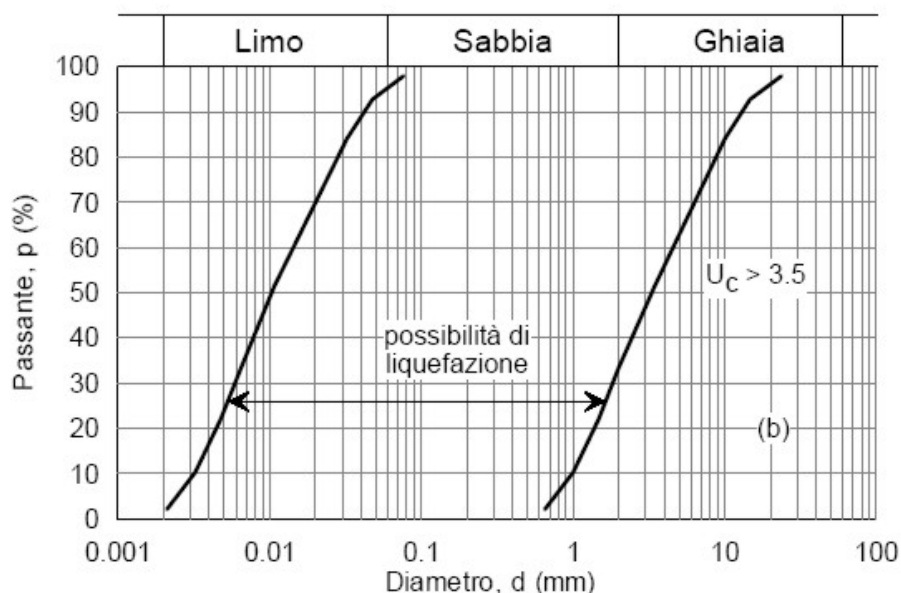


Fig. 114 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ( $U_c > 3,5$ )

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

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

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

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

La caratterizzazione sismica delle aree esaminate ubicate in località *Cinistrelli* (Campo 1 Nord) e *La Pigna-Provvidenza* (Campo 2 Sud) è stata trattata nei capitoli precedenti di questa relazione, ai quali si rimanda.

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

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

**La condizione 1 non risulta soddisfatta in quanto:**

- *il sito in esame ricade in una categoria di suolo C (cfr. Capitolo 8), in riferimento al valore di  $V_{S30}$  misurato a partire dal piano campagna. Per gli stessi siti è stato calcolato è stato determinato quanto segue:*

**Per il Campo 1 Nord**

- *un valore di  $a_g = 0,131g$ , su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 475 anni, ed i valori  $F_0 = 2,446$  e  $T_c^* = 0,369$ . L'incremento dell'accelerazione sismica massima  $a_{max}$ , attesa al piano campagna, è dato dall'espressione  $S = S_s \times S_T$ . Nel caso in esame, per SLV,  $S_s$  è pari 1,500 e il valore  $S_T$  è pari a 1,000, da cui si ricava che  $S = 1,500$ . Pertanto, l'accelerazione  $a_{max}$  attesa al piano campagna è  $a_g (0,131) \times S (1,500) = 0,1965$ .*

**Per il Campo 2 Sud**

- *un valore di  $a_g = 0,129g$ , su suolo di categoria A, per un terremoto con periodo di ritorno di 475 anni, ed i valori  $F_0 = 2,446$  e  $T_c^* = 0,369$ . L'incremento dell'accelerazione sismica massima  $a_{max}$ , attesa al piano campagna, è dato dall'espressione  $S = S_s \times S_T$ . Nel caso in esame, per SLV,  $S_s$  è pari 1,500 e il valore  $S_T$  è pari a 1,000, da cui si ricava che  $S = 1,500$ . Pertanto, l'accelerazione  $a_{max}$  attesa al piano campagna è  $a_g (0,129) \times S (1,500) = 0,1935$ .*

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

**La condizione 2 risulta soddisfatta in quanto:**

- dalle evidenze delle indagini realizzate in sito, dall'analisi delle indagini disponibili eseguite in aree limitrofe a quella di specifico e dalla misura diretta della falda freatica nei pozzi presenti nelle aree esaminate, si evince che la profondità media stagionale della falda è posta ad una profondità superiore a 15 m metri dal piano campagna.

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

## 12. Compatibilità geologica del progetto proposto

Prima di addentrarsi in considerazioni sulla compatibilità geologica dei lavori di progetto è necessario, a parere di chi scrive, effettuare un sintetico rimando ai requisiti specificati dalle norme di riferimento, sia per quanto riguarda gli aspetti generali, sia per ciò che attiene alle disposizioni specifiche per la compatibilità geologica: ciò per far sì che quanto espresso in questo capitolo sia immediatamente, e più agevolmente, riconducibile ai dettami del disposto normativo.

La *Legge sismica 64/74* prescrive la verifica (art. 13) di compatibilità delle scelte di trasformazione urbanistica territoriale con le condizioni geomorfologiche del territorio. Il *Decreto 11/3/88* è richiamato per quanto riguarda la fattibilità geotecnica di opere su grandi aree, e, in maniera specifica, per i criteri di carattere geotecnico da adottare nell'elaborazioni di piani urbanistici (nuovi insediamenti urbani o civili o industriali, ristrutturazione di insediamenti già esistenti).

In presenza di questi riferimenti normativi, nella nostra regione fu attivata, già dal 1983, una procedura di analisi geologica del territorio ai fini della pianificazione, con la *L.R. 07.01.1983, n. 9 - Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico* - che rappresenta un importante strumento concepito per fornire informazioni sulle limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle sue caratteristiche geologico-tecniche, morfologiche e dalla valutazione degli effetti delle sollecitazioni sismiche.

Gli obiettivi del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico predisposto dall'ex Autorità di Bacino Campania Centrale sono, tra gli altri:

- a) *prevedere e disciplinare vincoli e limitazioni d'uso del suolo, le attività e gli interventi antropici consentiti, le prescrizioni e le azioni di prevenzione nelle diverse tipologie di aree a rischio e di pericolo, nei casi più delicati subordinatamente ai risultati di appositi studi di compatibilità idraulica o idrogeologica;*

- b) *stabilire norme per il corretto uso del territorio e delle risorse naturali nonché per l'esercizio compatibile delle attività umane a maggior impatto sull'equilibrio idrogeologico del bacino;*
- c) *dettare disposizioni per l'adeguamento della strumentazione urbanistico-territoriale, con la costituzione di vincoli, prescrizioni e destinazioni d'uso del suolo in relazione ai diversi gradi di rischio;*
- d) *conseguire condizioni accettabili di sicurezza idraulica e geologica del territorio mediante la programmazione degli interventi non strutturali ed interventi strutturali e la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti;*
- e) *programmare la sistemazione, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua, anche attraverso la moderazione delle piene e la manutenzione delle opere, adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;*
- f) *programmare altresì la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, adottando modalità d'intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;*
- g) *definire le necessità di manutenzione delle opere in funzione del grado di sicurezza compatibile e del rispettivo livello di efficienza ed efficacia;*
- h) *indicare le necessarie attività di prevenzione, di allerta e di monitoraggio dello stato dei dissesti.*

La compatibilità delle nuove attività, opere e sistemazioni con le prescrizioni del citato Piano deve essere verificata alla luce del "rischio atteso" determinato. Tutte le nuove attività, opere e sistemazioni e tutti i nuovi interventi consentiti nelle aree a rischio da frana, rispetto alla pericolosità da frana dell'area, devono essere tali da:

- a) *migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di sicurezza del territorio e di difesa del suolo;*
- b) *non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità da dissesti di versante, attraverso significative e non compatibili trasformazioni del territorio nelle aree interessate;*
- c) *non compromettere la stabilità dei versanti;*
- d) *non costituire elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- e) *non pregiudicare le sistemazioni definitive delle aree a rischio né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- f) *garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;*

- g) *limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
- h) *rispondere a criteri di basso impatto ambientale; è pertanto necessario, ogni qualvolta possibile, prevedere l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica di cui al D.P.G.R.C. n.574 del 22 luglio.*

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

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

*Tale caratterizzazione ha messo in evidenza che nell'area di studio non sono presenti fenomeni d'instabilità in atto, non ci sono versanti in equilibrio precario (in terre o in roccia) che possano essere interessati da fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi, come pure sono assenti terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua, che possano essere sottoposti a possibili rifluimenti parziali o generalizzati, a causa dei fenomeni di liquefazione. I rilievi effettuati in campagna traggono, quindi, spiegazione dalle considerazioni sopra effettuate, e contemporaneamente le supportano come evidenze tangibili della loro coerenza.*

*I rilevamenti di campagna eseguiti nell'area di studio indicano che le sue condizioni geomorfologiche sono stabili, in quanto non sono emersi fattori predisponenti al dissesto, non sono state riscontrate evidenze di fenomeni franosi pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi.*

***I risultati dello studio geologico eseguito consentono di poter affermare che c'è piena compatibilità tra il progetto proposto e la caratterizzazione geomorfologica del territorio per i seguenti motivi:***

- i rilevamenti di campagna eseguiti presso il sito in esame indicano che le condizioni geomorfologiche del sito sono stabili, in quanto non sono state riscontrate evidenze di fenomeni di dissesto pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi;
- l'area risulta sistemata da attività antropiche ed opere di regimazione delle acque superficiali funzionanti;



- in aggiunta, nella stessa area, i terreni di copertura di natura piroclastica giacenti sono disposti su una superficie sub-pianeggiante, hanno un discreto grado di addensamento e non presentano segni di instabilità.

Tanto premesso, e volendo sintetizzare i risultati dell'analisi del progetto presentato e dello studio geologico effettuato, le opere previste il progetto "Impianto agrivoltaico, suddiviso in due campi, del tipo ad inseguitori monoassiali per la produzione di energia elettrica in regime di cessione totale, con sistema di accumulo (energy storage system), da realizzarsi nel Comune di Giugliano in Campania (NA) in località Provvidenza, La Pigna e Cinistrelli, avente potenza nominale complessiva di 82.365 KW comprensivo delle opere di rete per la connessione":

- non creano disequilibri di masse lungo il versante e di conseguenza non determinano un aumento della pericolosità da frana;
- non apportano variazioni dell'attuale conformazione del pendio, né creano neosuperfici esposte ad elevata pendenza: ciò si traduce nell'eliminazione di un ben noto fattore d'innescio di eventi franosi;
- non producono condizioni di concentrazione di deflusso superficiale tali da innescare processi di erosione e denudazione che possano evolvere in reali dissesti e, nello stesso tempo, non costituiscono ostacolo ai deflussi attualmente in essere nella zona.
- non sono riscontrabili nella zona di specifico interesse evidenze di fenomeni di dissesto pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi.

*In definitiva, i lavori di progetto non interferiranno sull'assetto idrogeologico attuale del territorio in esame risultando in linea con il dispositivo vincolistico e tecnico del Piano Stralcio dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale, in quanto non peggiorano le condizioni di sicurezza attuali del territorio e di difesa del suolo, non costituiscono un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante, non costituiscono elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti ed, infine, non pregiudicano eventuali interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente.*

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

***A valle del presente studio, viste le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche delle aree esaminate, e per i motivi fin qui considerati, si può affermare che le opere necessarie per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico previsto nelle località Cinistrelli, La Pigna e Provvidenza del Comune di Giugliano in Campania (NA) risultano compatibili con la caratterizzazione geomorfologica del territorio interessato.***

### 13. Considerazioni conclusive

Il presente studio eseguito su incarico ricevuto dalla soc. **NP Tella del Sole S.r.l.**, con sede in Milano alla Via San Marco n°11 – P.IVA 12080400968, ha avuto lo scopo di illustrare considerazioni di carattere geologico, geotecnico e sismico (DPR 328/01, art. 41; D.M. 17/01/2018, 3.2.2, 6.2.2;) per il progetto denominato “*Impianto agro-fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e produzione agricola ubicato nel Comune di Giugliano in Campania (NA) in Località Provvidenza, La Pigna, Cinistrelli della potenza nominale di 86626,1 kW e comprensivo delle opere di rete per la connessione dell’impianto alla rete elettrica nazionale*”.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici il presente studio geologico è stato redatto secondo le disposizioni della L.R. 9/83 “*Norme per l’esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico*”, nonché in accordo con quanto previsto dalle normative in materia di rischio sismico (D.G.R. 5447/02 “*Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Regione Campania*”, O.P.C.M. n. 3274/03 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”; D.M. 17.01.2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*”) e con le disposizioni del D.M. 11.03.88.

In aggiunta, la presente relazione geologica è stata redatta anche secondo le disposizioni delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PSAI) predisposto dall’ex Autorità di Bacino Campania Centrale, oggi Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale, adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015) a seguito dei lavori della Conferenza Programmatica alla quale hanno partecipato i Comuni e le Province interessate, ai sensi della normativa vigente in materia, ed in particolare in conformità dei “*Criteri per la redazione dello studio di compatibilità geologica nelle aree a rischio da frana (art. 36 N.d.A.)*” descritti nell’allegato “*B*” delle citate norme.

Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito di specifico interesse, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito consistente nella realizzazione di n°4 sondaggi a carotaggio continuo, n°15 prove penetrometriche statiche del tipo CPT, n°19 prove penetrometriche dinamiche continue e n°6 prospezioni sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*).

In particolare, le indagini in sito sono state distribuite nelle aree dove sarà realizzato l’impianto nel seguente modo:

#### **Campo 1 Nord**

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2)
- N°7 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT1 a CPT7)
- N°9 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd1 a Pd9)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw1 a Mw3).

### Campo 2 Sud

- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S3, S4)
- N°8 prove penetrometriche dinamiche statiche del tipo CPT (da CPT8 a CPT15)
- N°10 prove penetrometriche dinamiche continue (da Pd10 a Pd19)
- N°3 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (da Mw4 a Mw6).

Ad integrazione delle suddette indagini sono stati presi in considerazione anche gli studi specifici eseguiti in zone limitrofe a quella di specifico interesse e riportate nei seguenti lavori:

- *Progetto CARG Foglio 446-447 "Napoli".*
- *"Interventi urgenti di messa in sicurezza e bonifica delle aree di Giugliano in Campania e dei laghetti di Castel Volturno (SOGESID)".*
- *"Studio del sito contaminato di Masseria Del Pozzo-Schiavi nel Comune di Giugliano in Campania. Considerazioni quantitative sull'efficacia della tecnologia pump and treat (A. Di Nardo, I. Bortone, D. Musmarra)".*
- *"Compensorio irriguo in sx Regi Lagni: Lavori di costruzione della rete di adduzione primaria, secondaria e terziaria per il completamento dell'impianto irriguo in sinistra Regi Lagni – I Lotto 2° Stralcio, Sub Compensorio Alto – II Lotto – Sub Compensorio Medio (Consorzio generale di bonifica del Bacino Inferiore del Volturno)".*
- *"Piano Comunale di Protezione Civile – Aggiornamento Dicembre 2011 (Comune di Giugliano in Campania)".*
- *"Piani finanziari delle opere degli impianti di acquedotto e fognatura nel mezzogiorno d'Italia - Piano d'Ambito A.T.O. N°2 Napoli-Volturno (SOGESID)".*
- *"Proprietà geologico-tecniche della pozzolana flegrea ed effetto della suzione sulla stabilità dei fronti di scavo (P. De Vita, A.C. Angrisani, E. Di Clemente)".*

Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.

Nel corso dello studio si è seguito un metodo multicriterio, che ha integrato differenti risultati di analisi provenienti da diverse aree tecnico-applicative, tra le quali:

- geologia, mediante la caratterizzazione dell'assetto stratigrafico e strutturale, della litologia e della geomorfologia del sito di studio;
- geofisica, con l'individuazione dei sismostrati presenti mediante prospezioni geofisiche;
- geotecnica, attraverso la caratterizzazione meccanica dei terreni sulla base delle indagini appositamente realizzate per la redazione del presente studio;

- sismicità storica, tramite la consultazione della documentazione riportante la presenza di situazioni di danno prodotte da terremoti del passato e quindi indicative di particolari incrementi dell'azione sismica.

Lo studio geologico eseguito si è basato su conoscenze bibliografiche e su dati specifici ricavati mediante indagini dirette in sito e di laboratorio, come ampiamente riferito nei paragrafi precedenti e negli appositi elaborati allegati; esso descrive le varie formazioni geologiche presenti nel sito, illustra e caratterizza compiutamente gli aspetti stratigrafico-strutturali, idrogeologici, geomorfologici e fisico-meccanici dei terreni del sottosuolo in esame.

E' stato accertato che il sottosuolo è costituito da terreni di copertura di natura piroclastica che ricoprono per uno spessore medio di circa 2,0 metri circa il substrato geologico dell'area costituito dalle formazioni del Tufo Giallo Napoletano e del Tufo Grigio Campano. La falda idrica è ubicata ad una profondità maggiore di 15 metri. Inoltre, relativamente a un'area di ampiezza significativa rispetto all'ubicazione dei siti in esame si è rilevata l'insussistenza di fenomeni franosi in atto.

L'acquisizione e l'elaborazione dei dati disponibili ha consentito di individuare le condizioni geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche, geotecniche e sismiche dell'area, le cui risultanze possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

- I siti esaminati sono ubicati nella porzione centro-settentrionale del territorio comunale e si sviluppano a Ovest del capoluogo in un'area a vocazione agricola, delimitata a Sud dalla Strada Statale 162 NC Asse Mediano. Essi si sviluppano su una superficie complessiva di circa 140 ettari con quote mediamente comprese tra i 35 e i 60 metri s.l.m. nel settore Nord-Ovest del nucleo abitativo principale del Comune di Giugliano e si presentano con forma in pianta irregolare; esse si estendono tra l'area del Nuovo Mercato Ortofrutticolo di Giugliano e il comune di Parete (a est) e l'agglomerato Industriale ASI di Giugliano-Qualiano (a sud). Il carattere paesaggistico dell'area, tipica plana alluvionale, è simile a quello delle aree limitrofe: si tratta di un paesaggio agricolo, coltivato, estremamente parcellizzato, scarsamente urbanizzato e totalmente pianeggiante. La locale morfologia è caratterizzata da basse pendenze degradanti debolmente da Est verso Ovest ed il profilo topografico è costituito da ampi terrazzamenti che non presentano azioni gravitative in atto e, dunque, da ritenersi stabili.
- L'impianto agrivoltaico denominato "**Campo 1 Nord**" sarà realizzato in località Cinistrelli su un appezzamento di terreno di circa 67 ettari confinato ad est dalla Strada Provinciale Santa Maria a Cubito-Giugliano e ad ovest dai siti di discarica denominati Masseria del Pozzo-Schiavi e Giuliani.

- L'impianto agrivoltaico denominato "**Campo 2 Sud**" sarà realizzato in località Provvidenza e La Pigna, su un appezzamento di terreno di circa 71 ettari che si sviluppa immediatamente a Nord della Strada Statale 162 NC Asse Mediano, ad ovest della località Ponte Riccio.

- I litotipi rinvenuti durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono i seguenti:

Stratigrafia sondaggio S1

- 0,00 ÷ 1,50 m: Limo argilloso debolmente sabbioso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,50 ÷ 2,00 m: Limo di natura vulcanica, di colore giallastro, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 2,00 ÷ 5,00 m: Sabbia debolmente limosa di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da poco a moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 10,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore grigio chiaro, a granulometria variabile da fine a medio-grossolana con la profondità.
- 10,0 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.
- 11,0 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore variabile dal marrone-rossastro al grigio-giallastro, a granulometria prevalentemente medio grossolana, inglobante vetri vulcanici centimetrici di colore nero e pomici millimetriche biancastre.

Stratigrafia sondaggio S2

- 0,00 ÷ 1,00 m: Limo argilloso debolmente sabbioso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,00 ÷ 1,90 m: Limo argilloso sabbioso di natura vulcanica, di colore marrone chiaro, inglobante rare pomici millimetriche di colore giallastro.
- 1,90 ÷ 3,00 m: Sabbia debolmente limosa di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da poco a moderatamente addensata inglobante al letto dello strato frammenti litici vulcanici di colore nerastro.
- 3,00 ÷ 9,00 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore grigio chiaro, a granulometria variabile da fine a media con la profondità.

- 9,00 ÷ 11,8 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro a granulometria grossolana.
- 11,8 ÷ 12,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria medio-fine, inglobante litici vulcanici centimetrici.
- 12,0 ÷ 12,6 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro a granulometria media.
- 12,6 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica, a tratti debolmente limosa, di colore marrone-rossastro, a granulometria prevalentemente medio grossolana, inglobante litici vulcanici di colore rossastro.

### Stratigrafia sondaggio S3

- 0,00 ÷ 0,60 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore biancastro.
- 0,60 ÷ 2,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, poco addensata.
- 2,00 ÷ 5,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 6,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 6,00 ÷ 8,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 8,20 ÷ 9,50 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone-nocciola, inglobante abbondanti pomici millimetriche di colore rossastro.
- 9,50 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore giallo ocre, a granulometria media.
- 11,0 ÷ 12,3 m: Tufo giallo napoletano litoide a struttura vacuolare.
- 12,3 ÷ 13,5 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.
- 13,5 ÷ 14,3 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio scuro, a granulometria grossolana.
- 14,3 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone-rossastro, a granulometria fine.

### Stratigrafia sondaggio S4

- 0,00 ÷ 1,00 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore bruno, inglobante rare pomici millimetriche di colore biancastro.
- 1,00 ÷ 3,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone, a granulometria fine, poco addensata.
- 3,20 ÷ 3,80 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio chiaro, a granulometria fine, da moderatamente addensata ad addensata.
- 3,80 ÷ 5,00 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 5,00 ÷ 7,50 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 7,50 ÷ 8,20 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria media, moderatamente addensata.
- 8,20 ÷ 10,2 m: Sabbia di natura vulcanica di colore grigio, a granulometria fine.
- 10,2 ÷ 11,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore marrone scuro, a granulometria media.
- 11,0 ÷ 13,3 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone, inglobante abbondanti pomici millimetriche di colore biancastro.
- 13,3 ÷ 14,1 m: Limo sabbioso argilloso di natura vulcanica, di colore marrone chiaro, inglobante litici vulcanici centimetrici.
- 14,1 ÷ 15,0 m: Sabbia di natura vulcanica di colore variabile dal rossastro al grigio scuro, a granulometria fine.
- La caratterizzazione fisico-meccanica media delle varie unità litotecniche determinate nell'ambito del volume significativo, dove per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata (direttamente o indirettamente) dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, è di seguito riportata:

### **Caratteristiche geotecniche e sismiche per il sito Campo 1 Nord**

#### **Unità litotecnica A – Limo sabbioso debolmente argilloso**

- Spessore medio = 2,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 3
- Densità relativa = 14,36%
- Peso unità di volume = 1,48 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,82 t/mc
- Angolo di attrito = 25,09°
- Coesione drenata = 0,04 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,07 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 26 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 44 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 178 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,35
- Modulo di reazione  $K_0$  = 0,43
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 249 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 5 Kg/cm<sup>q</sup>

#### **Unità litotecnica B – Sabbia limosa**

- Spessore medio = 6,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 10
- Densità relativa = 34,10%
- Peso unità di volume = 1,69 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,88 t/mc
- Angolo di attrito = 27,92°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cm<sup>q</sup>
- Coesione non drenata = 0,26 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo elastico = 50 Kg/cm<sup>q</sup>
- Modulo edometrico = 75 Kg/cm<sup>q</sup>
- Velocità onde di taglio = 276 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,18
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 699 Kg/cm<sup>q</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 21 Kg/cm<sup>q</sup>



***Unità litotecnica C – Sabbia a tratti debolmente limosa con pomici e litici vulcanici***

- Spessore medio = > 5,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 23
- Densità relativa = 54,35%
- Peso unità di volume = 1,87 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,98 t/mc
- Angolo di attrito = 32,43°
- Coesione drenata = 0,08Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,54 Kg/cm $q$
- Modulo elastico = 86 Kg/cm $q$
- Modulo edometrico = 122 Kg/cm $q$
- Velocità onde di taglio = 442 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,31
- Modulo di reazione  $K_0$  = 4,25
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 1215 Kg/cm $q$
- Resistenza punta penetrometro statico = 44 Kg/cm $q$

**Caratteristiche geotecniche e sismiche per il sito Campo 2 Sud**

***Unità litotecnica A – Limo sabbioso debolmente argilloso***

- Spessore medio = 2,60 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 3
- Densità relativa = 15,67%
- Peso unità di volume = 1,46 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,69 t/mc
- Angolo di attrito = 26,80°
- Coesione drenata = 0,044 Kg/cm $q$
- Coesione non drenata = 0,08 Kg/cm $q$
- Modulo elastico = 27 Kg/cm $q$
- Modulo edometrico = 47 Kg/cm $q$
- Velocità onde di taglio = 202 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,35
- Modulo di reazione  $K_0$  = 0,55
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 272 Kg/cm $q$
- Resistenza punta penetrometro statico = 6 Kg/cm $q$

### **Unità litotecnica B – Sabbia limosa**

- Spessore medio = 7,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 11
- Densità relativa = 34,50%
- Peso unità di volume = 1,71 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,87 t/mc
- Angolo di attrito = 29,11°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cm<sup>2</sup>
- Coesione non drenata = 0,27 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo elastico = 55 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo edometrico = 83 Kg/cm<sup>2</sup>
- Velocità onde di taglio = 297 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,26
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 718 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 22 Kg/cm<sup>2</sup>

### **Unità litotecnica C – Limo sabbioso debolmente argilloso**

- Spessore medio = 1,30 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 6
- Densità relativa = 23,07%
- Peso unità di volume = 1,63 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,84 t/mc
- Angolo di attrito = 26,41°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cm<sup>2</sup>
- Coesione non drenata = 0,15 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo elastico = 35 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo edometrico = 49 Kg/cm<sup>2</sup>
- Velocità onde di taglio = 380 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,34
- Modulo di reazione  $K_0$  = 1,18
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 451 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 12 Kg/cm<sup>2</sup>

### **Unità litotecnica D – Tufo giallo napoletano litoide**

- Spessore medio = 1,30 m
- Peso unità di volume = 1,57 t/mc
- Angolo di attrito = 36,50°

**Unità litotecnica E – Sabbia a tratti debolmente limosa con pomici e litici vulcanici**

- Spessore medio = > 5,00 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 13
- Densità relativa = 37,12%
- Peso unità di volume = 1,72 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,97 t/mc
- Angolo di attrito = 29,18°
- Coesione drenata = 0,08 Kg/cm<sup>2</sup>
- Coesione non drenata = 0,31 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo elastico = 58 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo edometrico = 90 Kg/cm<sup>2</sup>
- Velocità onde di taglio = 455 m/s
- Coefficiente di Poisson = 0,33
- Modulo di reazione  $K_0$  = 2,56
- Modulo deformazione a taglio dinamico = 791 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistenza punta penetrometro statico = 25 Kg/cm<sup>2</sup>

- Dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite nelle aree esaminati si sono individuati diversi sismostrati caratterizzati dai seguenti valori delle velocità delle onde di taglio:

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw1 – Campo 1 Nord

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,80	1,80	189	Non presente	Non alluvionale
S2	1,80 – 4,00	2,20	200	Non presente	Non alluvionale
S3	4,00 – 6,80	2,80	247	Non presente	Non alluvionale
S4	6,80 – 10,70	3,90	298	Non presente	Non alluvionale
S5	10,70 – 14,90	4,20	377	Non presente	Non alluvionale
S6	14,90 – 19,80	4,90	402	Non presente	Non alluvionale
S7	19,80 – 25,00	5,20	468	Non presente	Non alluvionale
S8	25,00 – 30,80	5,80	502	Non presente	Non alluvionale

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw2 – Campo 1 Nord*

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,80	1,80	201	Non presente	Non alluvionale
S2	1,80 – 4,50	2,70	222	Non presente	Non alluvionale
S3	4,50 – 7,00	2,50	248	Non presente	Non alluvionale
S4	7,00 – 10,80	3,80	300	Non presente	Non alluvionale
S5	10,80 – 15,00	4,20	382	Non presente	Non alluvionale
S6	15,00 – 19,80	4,80	407	Non presente	Non alluvionale
S7	19,80 – 25,10	5,30	460	Non presente	Non alluvionale
S8	25,10 – 30,70	5,60	498	Non presente	Non alluvionale

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw3 – Campo 1 Nord*

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,70	1,70	144	Non presente	Non alluvionale
S2	1,70 – 4,00	2,30	199	Non presente	Non alluvionale
S3	4,00 – 6,10	2,10	220	Non presente	Non alluvionale
S4	6,10 – 10,30	4,20	243	Non presente	Non alluvionale
S5	10,30 – 13,80	3,50	304	Non presente	Non alluvionale
S6	13,80 – 19,30	5,50	368	Non presente	Non alluvionale
S7	19,30 – 24,20	4,90	410	Non presente	Non alluvionale
S8	24,20 – 30,30	6,10	459	Non presente	Non alluvionale

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw4 – Campo 2 Sud*

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,90	1,90	180	Non presente	Non alluvionale
S2	1,90 – 4,70	2,80	194	Non presente	Non alluvionale
S3	4,70 – 7,20	2,50	238	Non presente	Non alluvionale
S4	7,20 – 11,00	3,80	308	Non presente	Non alluvionale
S5	11,00 – 14,50	3,50	383	Non presente	Non alluvionale
S6	14,50 – 19,30	4,80	442	Non presente	Non alluvionale
S7	19,30 – 24,50	5,20	492	Non presente	Non alluvionale
S8	24,50 – 30,30	5,80	543	Non presente	Non alluvionale

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw5 – Campo 2 Sud*

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,70	1,70	225	Non presente	Non alluvionale
S2	1,70 – 4,10	2,40	237	Non presente	Non alluvionale
S3	4,10 – 6,20	2,10	261	Non presente	Non alluvionale
S4	6,20 – 10,00	3,80	304	Non presente	Non alluvionale
S5	10,00 – 14,20	4,20	368	Non presente	Non alluvionale
S6	14,20 – 19,50	5,30	395	Non presente	Non alluvionale
S7	19,50 – 24,30	4,80	414	Non presente	Non alluvionale
S8	24,30 – 30,20	5,90	504	Non presente	Non alluvionale

*Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw6 – Campo 2 Sud*

<b>Numero sismostrato</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> finale (m/s)</b>	<b>Falda nello strato</b>	<b>Tipologia dello strato</b>
S1	0,00 – 1,90	1,90	201	Non presente	Non alluvionale
S2	1,90 – 4,40	2,50	256	Non presente	Non alluvionale
S3	4,40 – 6,30	1,90	282	Non presente	Non alluvionale
S4	6,30 – 10,60	4,30	352	Non presente	Non alluvionale
S5	10,60 – 14,50	3,90	387	Non presente	Non alluvionale
S6	14,50 – 19,70	5,20	418	Non presente	Non alluvionale
S7	19,70 – 24,50	4,80	431	Non presente	Non alluvionale
S8	24,50 – 30,60	6,10	452	Non presente	Non alluvionale

- I valori delle velocità delle onde di taglio ricavati dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite in località Cinistrelli (Campo 1 Nord) e in località La Pigna-Provvidenza (Campo 2 Sud) hanno evidenziato che entrambi i siti rientrano nella categoria di sottosuolo **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, avendo determinato una velocità media delle onde di taglio  $V_s$  entro i 30,0 metri di profondità compresa tra **296 m/s** e **357 m/s**.*
- I siti ubicati in località Cinistrelli (Campo 1 Nord) e in località La Pigna e Provvidenza sono posti rispettivamente alle quote medie di 60 m s.l.m. e 35 m s.l.m. su superfici pianeggianti. Per tale motivo essi rientrano nella categoria topografica **T1**, a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica  **$S_T$**  pari a **1,00**.

- L'obiettivo generale dell'analisi di microzonazione è stato quello di caratterizzare in maniera qualitativa e quantitativa le modificazioni locali dello scuotimento sismico e gli effetti cosismici del territorio analizzato. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto le risultanze dello studio eseguito non hanno messo in evidenza particolari effetti di instabilità che possano derivare da fenomeni cosismici, in quanto non sono state riscontrate condizioni tali da favorire fenomeni di instabilità per il raggiungimento della resistenza al taglio disponibile del terreno. Ciò è confermato dal fatto che nelle aree esaminate non ci sono versanti in equilibrio precario (in terre o in roccia) che possano essere interessati da fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per i quali il sisma rappresenta un fattore d'innescò del movimento, sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo che indirettamente a causa della repentina modifica delle pressioni interstiziali. Nello stesso tempo, sono assenti terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche e per terreni granulari fini (sabbiosi), saturi d'acqua, che possano essere sottoposti a possibili rifluimenti parziali o generalizzati, a causa dei fenomeni di liquefazione.
- Le opere previste per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico non interferiscono sull'assetto idrogeologico attuale del territorio in esame risultando pienamente in linea con il dispositivo vincolistico e tecnico del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico varato dall'ex Autorità di Bacino regionale Campania Centrale, in quanto non peggiorano le condizioni di sicurezza attuali del territorio e di difesa del suolo, non costituiscono un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante, non costituiscono elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti ed, infine, non pregiudicano eventuali interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente.
- Le conoscenze geologiche acquisite nel corso dello studio eseguito consentono di affermare che le aree che saranno interessate dal progetto dell'impianto agrivoltaico rientrano in un territorio che per le sue generali condizioni risulta idoneo ad accogliere i lavori di proposti, in quanto gli stessi non appaiono in contrasto con i dettami, i requisiti e gli scopi del Piano Stralcio varato dalla citata Autorità di Bacino, non apportando incrementi della pericolosità idrogeologica in termini di dissesti di versante, e rientrando a tutti gli effetti tra gli interventi adottabili coerentemente con quanto disposto dalle Norme di Attuazione e Prescrizioni di Piano.

Tutte queste considerazioni, associate alle conoscenze geologiche acquisite nel corso dello studio di dettaglio eseguito, consentono di affermare che l'area in esame rientra in un territorio che per le sue generali condizioni risulta idoneo ad accogliere i lavori di progetto, che verranno messi in atto adottando tutti gli accorgimenti necessari per garantire la funzionalità e la sicurezza delle opere.

Ritenendo di aver assolto al mandato conferito si rassegna la presente relazione al Committente in n°2 copie.

Mercato San Severino, Novembre 2021

Il Geologo  
dott. Mattia Lettieri

Il Geologo  
dott. Antonio Viggiano

**Allegati alla relazione:**

- *Certificati delle indagini geognostiche eseguite in sito per il Campo 1 Nord*
- *Certificati delle indagini geognostiche eseguite in sito per il Campo 2 Sud*

**Allegati alla relazione fuori testo:**

- *Tavola 1: Planimetrie di inquadramento territoriale e zone di P.R.G. scala 1:25.000*
- *Tavola 2: Stralcio aerofotogrammetrico C.T.R. scala 1:5.000*
- *Tavola 3: Carta geolitologica scala 1:5.000*
- *Tavola 4: Carta geomorfologica e della stabilità scala 1:5.000*
- *Tavola 5: Carta idrogeologica scala 1:5.000*
- *Tavola 6: Carte del Piano di tutela delle acque Regione Campania scala 1:50.000*
- *Tavola 7: Carte dell'ex Autorità di bacino Campania Centrale scala 1:75.000*
- *Tavola 8: Carta di ubicazione delle indagini geognostiche Campo 1 Nord scala 1:2.000*
- *Tavola 9: Carta di ubicazione delle indagini geognostiche Campo 2 Sud scala 1:2.000*
- *Tavola 10: Carta della zonazione sismica e della categoria di sottosuolo scala 1:5.000*
- *Tavola 11: Sezioni di correlazione litostratigrafica Campo 1 Nord scala 1:100/1:1.000*
- *Tavola 12: Sezioni di correlazione litostratigrafica Campo 2 Sud scala 1:100/1:1.000*