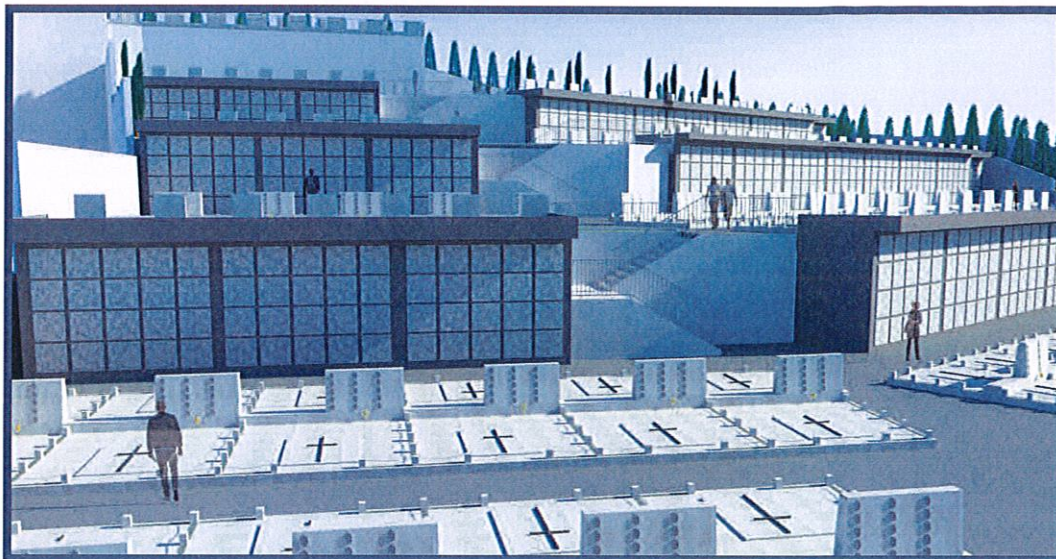


PROGETTO ESECUTIVO

ai sensi degli articoli da 33 a 43 del D.P.R. 207/2010



COMUNE DI TERMINI IMERESE
Provincia di Palermo

IL CONCESSIONARIO

Service
Termini Imerese Srl

Amm.re Unico
Luigi Carrino

Service
Termini Imerese Srl
L'Amministratore Unico
Luigi Carrino

I PROGETTISTI



Amm.re Unico
ing. Vincenzo Caputo

ing. Vincenzo Caputo
Ord. Ing. Caserta n° 3358

ing. Domenico Porfidia
Ord. Ing. Caserta n° 2652

ing. Mario Perri
Ord. Ing. Caserta n° 4326

**TAV
R.3**

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOFISICA

**CONTRATTO PER L'AMPLIAMENTO CIMITERO E GESTIONE DEL NUOVO
E VECCHIO CIMITERO DEL COMUNE DI TERMINI IMERESE**

(Contratto di concessione del 27 Settembre 2012 – Rep. n. 10829 – Racc. n. 31)

**GENNAIO
2019**



COMUNE DI TERMINI IMERESE
(Provincia Regionale di Palermo)

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE

“Antonio Lo Bue”

**RELAZIONE
GEOLOGICA E GEOFISICA**

OGGETTO:

PROJECT FINANCING
**AMPLIAMENTO DEL CIMITERO COMUNALE E GESTIONE DEL NUOVO E
VECCHIO CIMITERO DEL COMUNE DI TERMINI IMERESE**

Visti e Pareri

CONCESSIONARIO

ITALGECO s.c.a.r.l.

PROGETTAZIONE

PROGECA s.r.l.

IL GEOLOGO

Geologo Nicolò LO BUE
O.R.G.S. n. 152 Sez. A

SOMMARIO

PREMESSA	pag.2
1.0 UBICAZIONE DELL' AREA	" 3
2.0 ASSETTO GEOLOGICO	" 8
3.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	" 16
4.0 INDAGINI ESEGUITE	" 23
5.0 INDAGINE GEOFISICA	" 25
5.1 PROGETTO D'INDAGINE	" 25
5.2 PRINCIPI E CONSIDERAZIONE SUI METODI SISMICI ADOTTATI	" 25
5.2.1 METODO SISMICO A RIFRAZIONE ONDE P	" 25
5.2.2 METODO SISMICO M.A.S.W. (ONDE DI RAYLEIGH)	" 27
5.2.3 METODO SISMICO A STAZIONE SINGOLA HVSR	" 28
5.2.4 TOMOGRAFIA ELETTRICA MULTIELETTRODO (ERT)	" 29
5.3 STRUMENTAZIONE E SOFTWARE D'INTERPRETAZIONE	" 31
5.4 ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	" 36
5.4.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE "P"	" 36
5.4.2 INDAGINE SISMICA M.A.S.W. (ONDE DI RAYLEIGH).....	" 49
5.4.3 MISURE DI MICROTREMORE – HVSR	" 61
5.4.4 INDAGINE ERT (<i>ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY</i>)	" 65
6.0 ANALISI DEI RISULTATI E CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA	" 67
7.0 PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	" 70
7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	" 70
7.1.1 RISPOSTA SISMICO LOCALE	" 76
8.0 CONCLUSIONI.....	" 77

PREMESSA

Su incarico della PROGECA s.r.l. e della ATI ITALGEO s.c.a.r.l., lo scrivente ha effettuato lo studio geologico relativo al progetto di "**Ampliamento del cimitero comunale e gestione del nuovo e vecchio cimitero del comune di Termini Imerese**".

L'esigenza di nuovi posti salma, ha determinato la necessità di prevedere un nuovo ulteriore ampliamento del cimitero, rilocalizzato sul versante meridionale dell'attuale impianto. Inoltre, è compresa nel progetto l'area precedentemente localizzata e interessata dai ritrovamenti archeologici, per la quale è stato realizzato precedentemente uno studio geologico di dettaglio.

Il presente studio geologico, che focalizza l'attenzione sull'area individuata per l'ampliamento vero e proprio, si realizza attraverso un'analisi dell'ambiente interessato dalle opere e delle trasformazioni che saranno generate dalle azioni necessarie alla realizzazione dell'intervento. Tali analisi hanno il fine di identificare gli effetti sulle componenti ambientali e le eventuali misure di mitigazione necessarie.

Inoltre è stata effettuata la caratterizzazione e modellazione geologica dei terreni interessati da quanto in progetto, in ottemperanza alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al **D.M. 14.01.2008** (*G.U. n.29 del 4/2/2008, Suppl.Ord.n.30*) ed alle *Istruzioni Applicative* di cui alla **Circ. CSLP n° 617 del 02/02/2009** che prevedono, inoltre, l'approfondimento dell'analisi sismologica e della pericolosità sismica di base dell'area di progetto e l'incidenza che, sulla stessa, hanno le locali condizioni stratigrafiche.

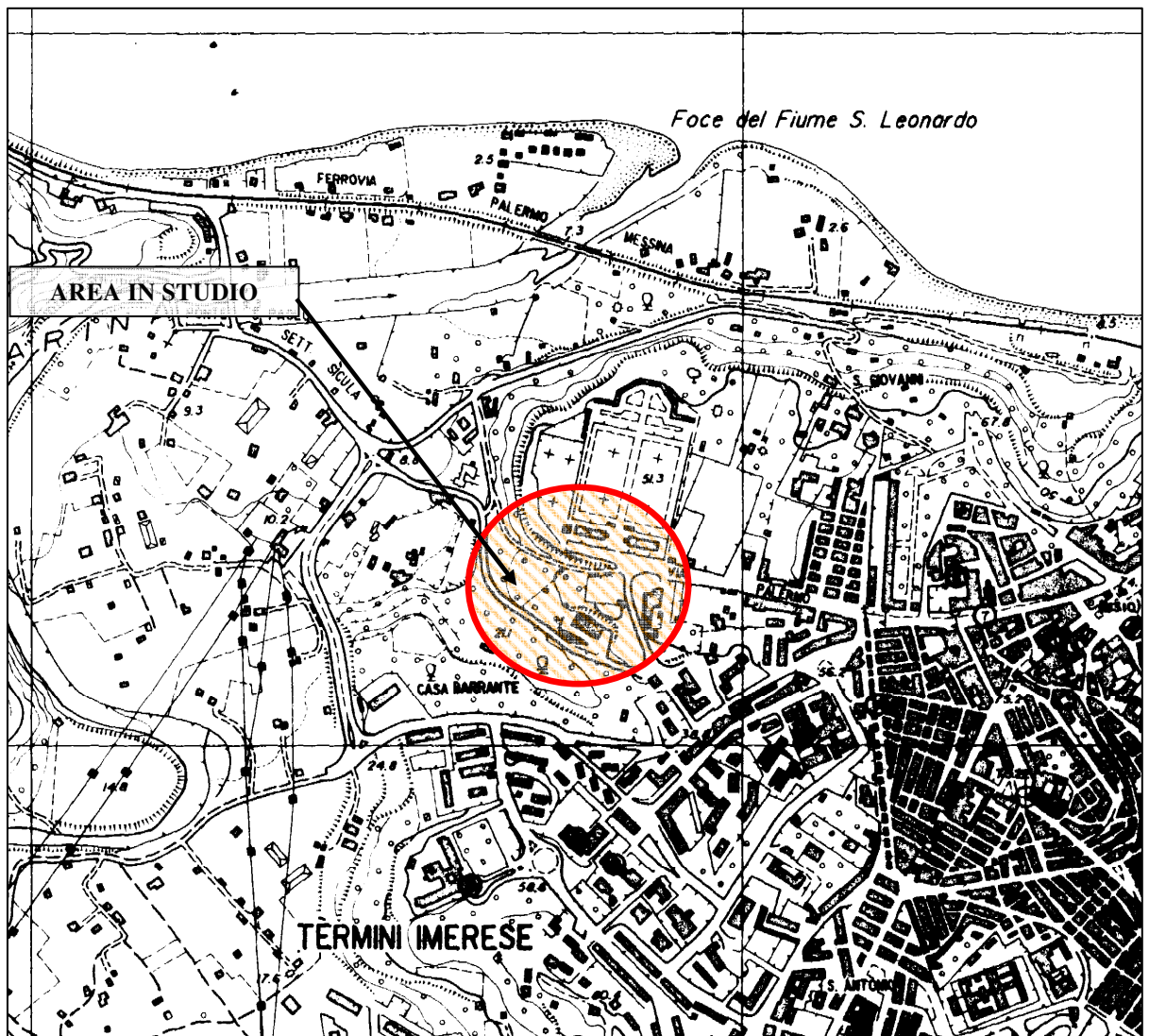
La ricostruzione dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area in esame, è stata condotta mediante analisi di foto aeree, rilievi in situ, informazioni desunte dalla bibliografia specialistica e sulla base delle risultanze di una campagna di indagini geognostiche eseguita sotto la supervisione dello scrivente, i cui risultati sono esposti e commentati nella presente relazione.

Il programma di indagini e progettazione dello stesso, è stato svolto di concerto con il progettista strutturale al fine di acquisire quei dati utili a pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio, utile per una caratterizzazione e modellazione geotecnica del sottosuolo.

Sarà compito del progettista, sulla scorta dei dati di seguito riportati effettuare le verifiche e le scelte progettuali così come previsto dalle norme vigenti.

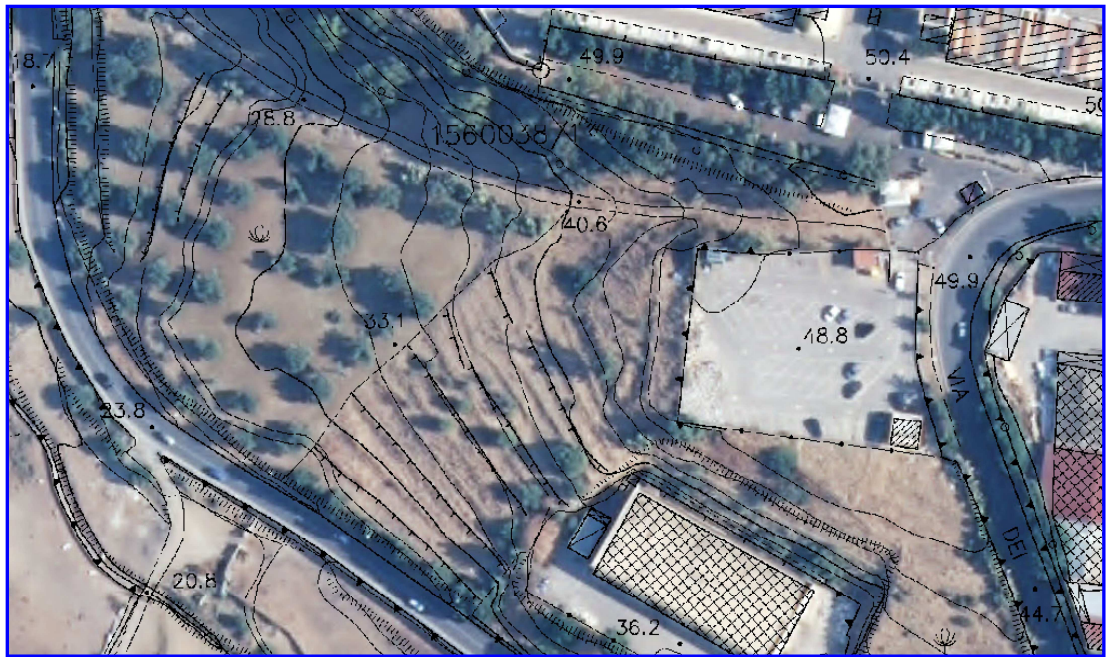
0.1 UBICAZIONE DELL'AREA

Dal punto di vista dell'inquadramento topografico, la zona in studio ricade nel **Foglio 259, Quadrante IV, Orientamento NE**, Tavoletta "*Termini Imerese*" della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano e nella **sezione N° 609010** denominata "*Termini Imerese*" della Carta Tecnica Regionale edita dalla Regione Siciliana – Assessorato del Territorio e dell'Ambiente.



STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE - Scala 1:10.000

L'area interessata dal progetto si sviluppa a sud del cimitero monumentale, sul versante posto ad ovest del centro abitato di Termini Imerese come si può osservare nelle ortofoto di seguito riportate.



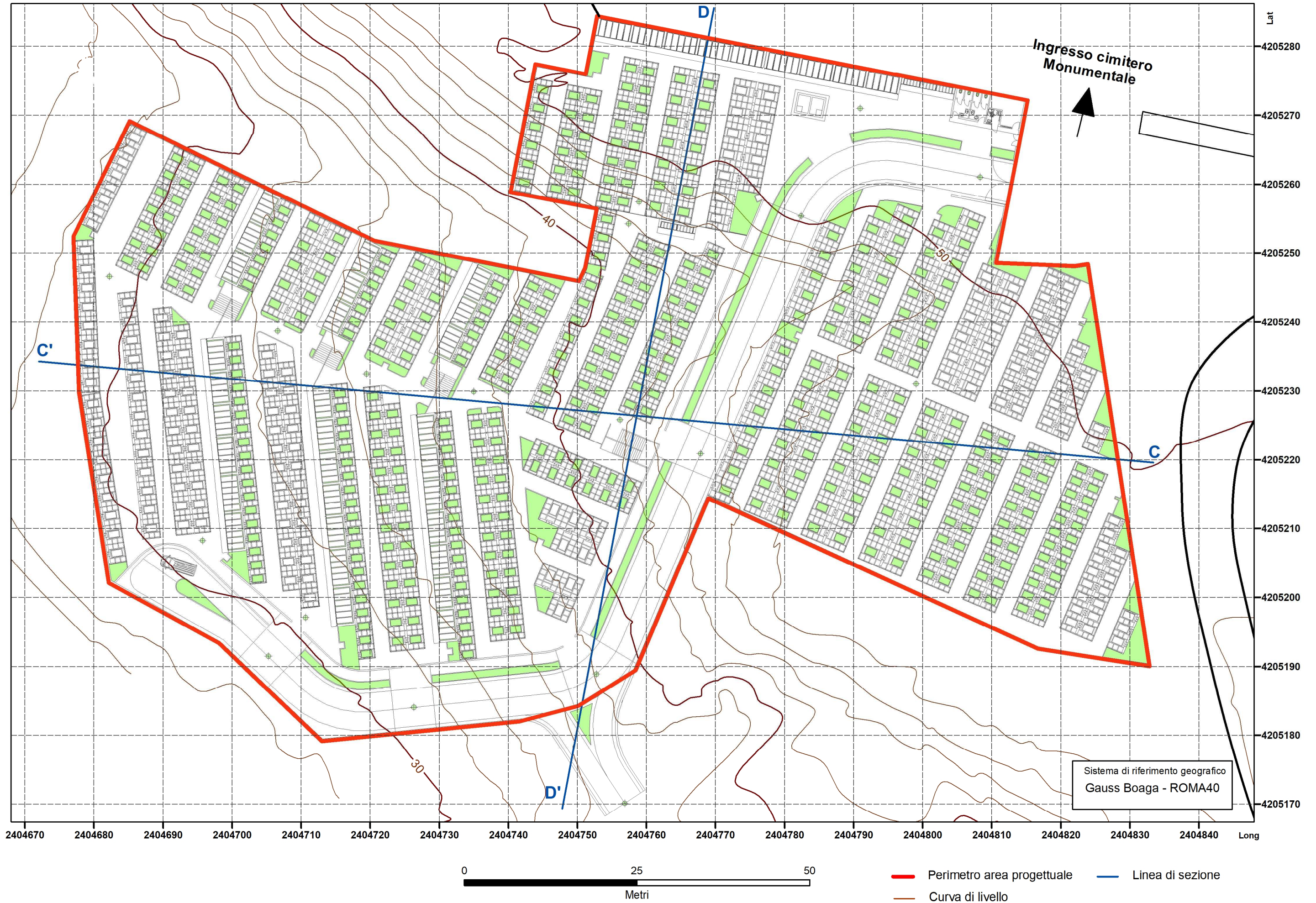
ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERESSE PROGETTUALE

Le opere progettuali sono state ubicate in un'area compresa tra le quote di 50 m *s.l.m.*, ad est dell'area, diminuendo, procedendo verso ovest, con alcuni terrazzamenti antropici, fino alla quota minima di 29 m *s.l.m.*. L'area è delimitata a nord dalle mura del cimitero monumentale, mentre a sud, est e ovest dalla **SS113**, come si può osservare nella "planimetria generale", in scala 1:500 riportata nella pagina seguente.

L'area di progetto è catastalmente inserita al Foglio di mappa n. 9 del Comune di Termini Imerese, e le particelle interessate sono quelle interne alla perimetrazione dell'area progettuale, evidenziata nella planimetria catastale di seguito riportata (pag. 7).

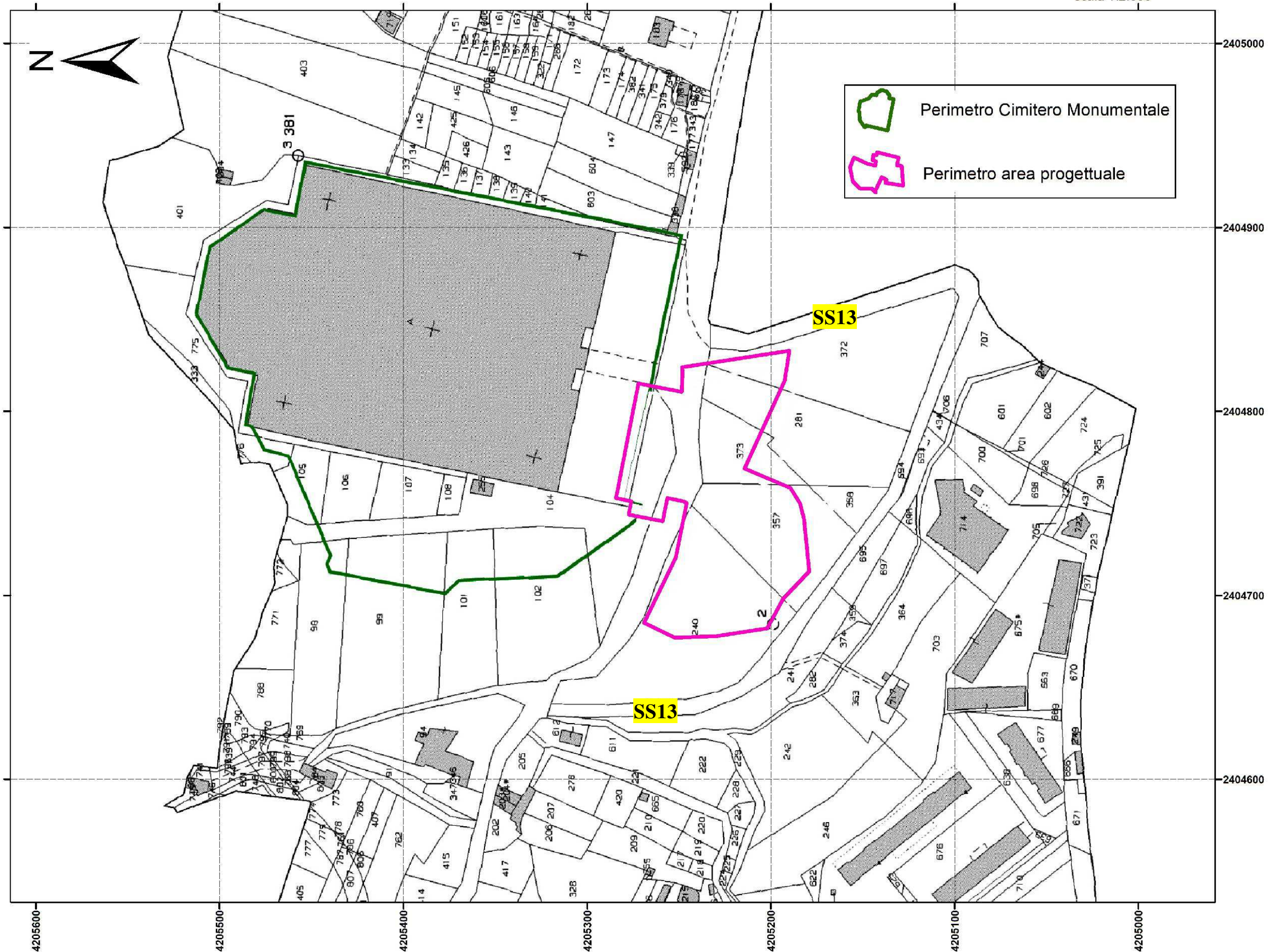
Planimetria generale di progetto

scala 1:500



Planimetria Catastale

scala 1:2.000



2.0 ASSETTO GEOLOGICO

L'area in esame, nella sua globalità territoriale, si inquadra in un contesto geologico più vasto che è espressione della componente nord-occidentale della catena Appenninico-Maghrebide caratterizzante la porzione settentrionale della Sicilia.

Più precisamente, trovasi nel contesto geologico dei Monti di Termini e Trabia, caratterizzante la porzione centro-settentrionale della Sicilia, risultanti dalla sovrapposizione di Unità Stratigrafico Strutturali (U.S.S.) con una struttura a falde, aventi vergenza prevalentemente verso sud e ricoperti in discordanza stratigrafica dai depositi Tardorogeni e Quaternari.

Nell'area, oggetto di studio, è stato eseguito un rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso alle aree limitrofe che, unitamente ai dati bibliografici esistenti, ed alle risultanze della campagna di indagini eseguita, hanno consentito di ricostruire la serie stratigrafica locale.

Infatti, il territorio in esame è caratterizzato dalla presenza di depositi sedimentari di natura terrigena, sia marini che continentali, e depositi di origine antropica come di seguito specificato (cfr. carta geologica pag. 11):

- ✓ **DEPOSITO DI DISCARICA (sigla CARG h1):** accumuli di materiali provenienti da attività di demolizione edilizia e rifiuti, in genere; notizie storiche confermano che, la scarpata di versante occidentale, nel passato, veniva utilizzata certamente come discarica, oggi bonificata (fig.1, foto 1).

DEPOSITI QUATERNARI

- ✓ **DEPOSITO COLLUVIALE (sigla CARG AFLb2):** suoli rimaneggiati con presenza di strutture del tipo *stone line* evidenziate da livelli di clasti allineati; depositi olocenici in facies di conoide di deiezione, conseguenti ai processi di colate di detrito che si sono succeduti a più riprese.
- ✓ **DEPOSITI ALLUVIONALI (sigla CARG AFLb):** depositi recenti di carattere fluviale, seguono il letto del Fiume San Leonardo e dei suoi affluenti determinando le alluvioni di fondovalle.
- ✓ **DEPOSITO CONTINENTALE TERRAZZATO – Sintema del Fiume San Leonardo:** depositi fluviali localizzati lungo l'asta del Fiume S. Leonardo, (conglomerati, ghiaie e

sabbie) compatti e parzialmente diagenizzati; il limite inferiore è dato da una superficie di erosione delle litologie appartenenti alla Fm. Polizzi, al di sopra, invece, si rinvengono suoli bruno rossastri con uno spessore massimo è di 35 metri.

Nell'area in studio sono stati rilevati i seguenti subsintemi:

❖ **Subsintema Azziriolo (sigla CARG SLN4);** depositi sabbioso-ciottolosi in matrice siltosa giallo ocra alternati e/o interdigitati con silt sabbiosi giallognoli con concrezioni calcaree e frustoli carboniosi

❖ **Subsintema di Termini Imerese (sigla CARG SLN3);** depositi ghiaioso-sabbiosi in matrice siltosa-argillosa giallo ocra alternati o passanti lateralmente a sabbie fini siltose con concrezioni calcaree e frustoli carboniosi. A luoghi è prevalente la frazione ciottolosa (fig. 1, foto 2, 3, 4 e 5).

COMPLESSO SICILIDE

✓ **FORMAZIONE POLIZZI (sigla CARG POZ):** calcilutiti marnose grigio-biancastre contenenti noduli e liste di selce alternati a livelli marnosi bianco-grigiastri talvolta violacei con intercalazioni di biocalcareni e brecciole. I livelli calcilutitici si presentano ben stratificati con spessori centi-decimetrici. Tale formazione è generalmente delimitata da contatti tettonici (fig. 1, foto 1 e 2).

UNITÀ CLASTICO-TERRIGENE TERZIARIE

✓ **FLYSCH NUMIDICO membro di Portella Colla (sigla CARG FYN2):** argilliti siltose e peliti color tabacco, talora mangesifere e a laminazione parallela cui si intercalano strati centimetrici di siltiti ed arenarie quarzose a grana fine.

Dal rilevamento di dettaglio del sito strettamente interessato dal progetto si è accertato che il substrato, nella sua porzione sommitale, è costituito dai depositi alluvionali terrazzati, sul quale sorge buona parte dell'abitato di questo settore di Termini Imerese. Questo si presenta a livelli alternati di conglomerati più o meno sabbiosi e cementati, ghiaie e sabbie più o meno addensate con frequenti interdigitazioni di limi sabbiosi.

A nord-est e nord-ovest dell'area indagata, alla base della "paleofalesia marina", fino ad una quota compresa tra i 5 ed i 20 metri circa *s.l.m.*, si rinvengono affioramenti di calcilutiti-

marnose grigio-biancastre afferenti alla Fm. "Polizzi" (fig.1, foto 1 e 2) e lembi dello stesso litotipo affiorano anche a sud dell'area progettuale.

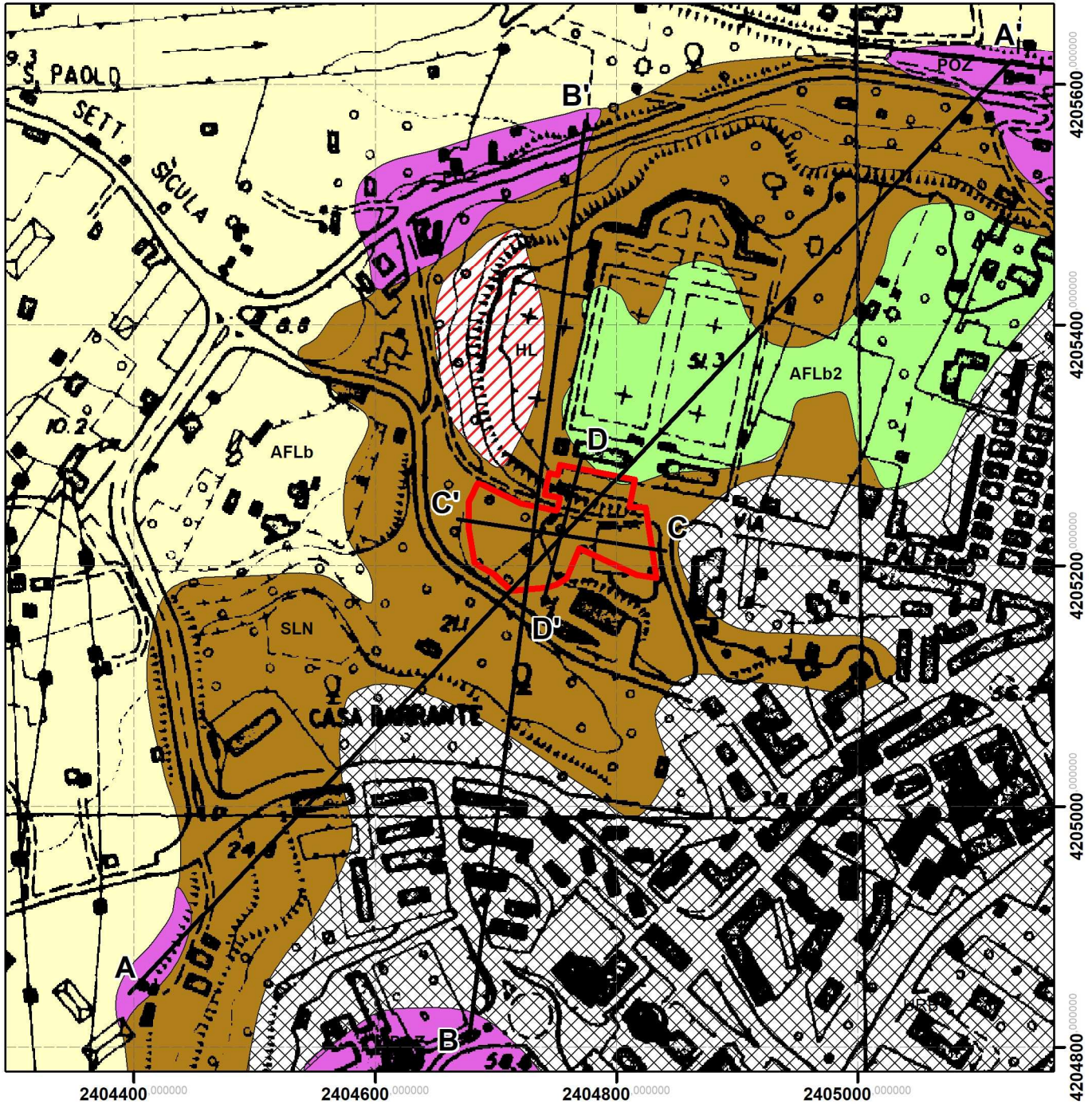
Dal punto di vista geologico strutturale nell'area o nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza significativa, non sono state intercettate strutture tettoniche riferibili a faglie attive o potenzialmente attive che possano influire sulla stabilità dell'area in studio.



Figura 1: Ortofoto con ubicazione degli scatti fotografici







Carta geologica



scala 1:5.000



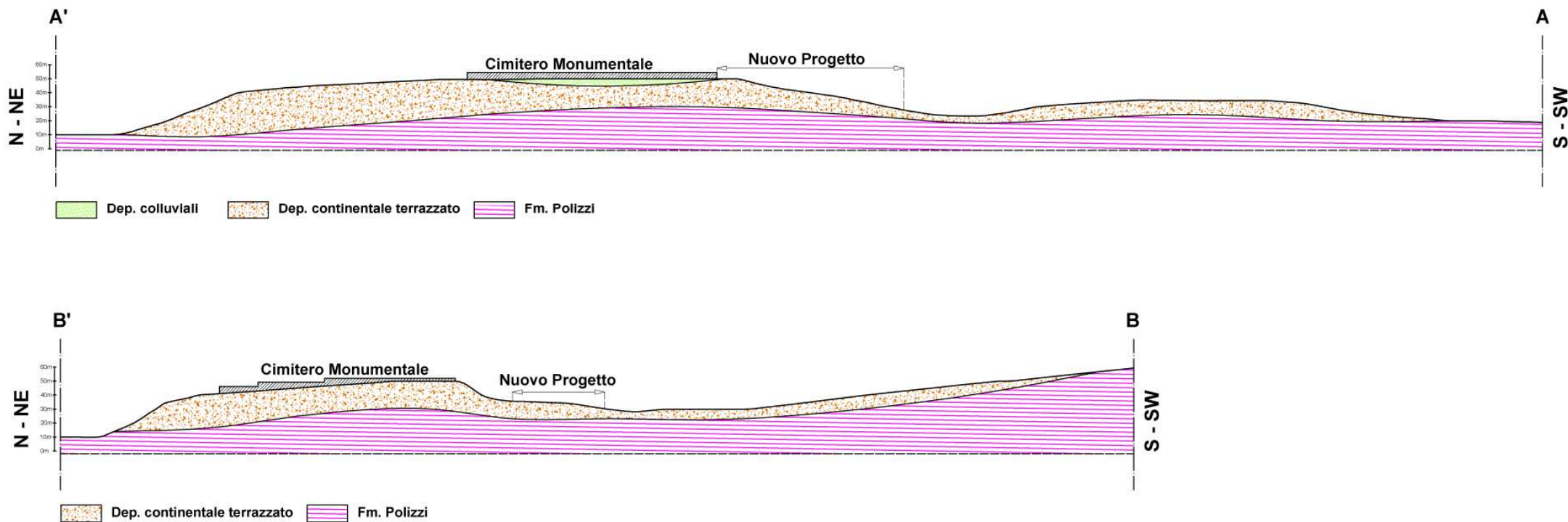
Legenda

Geologia

-  Tessuto urbano
-  Materiale di discarica
-  Depositi colluviali
-  Depositi alluvionali
-  Deposito continentale terrazzato
-  Fm. Polizzi

-  Traccia di sezione geologica
-  Perimetro area progettuale

Sezioni Geologiche



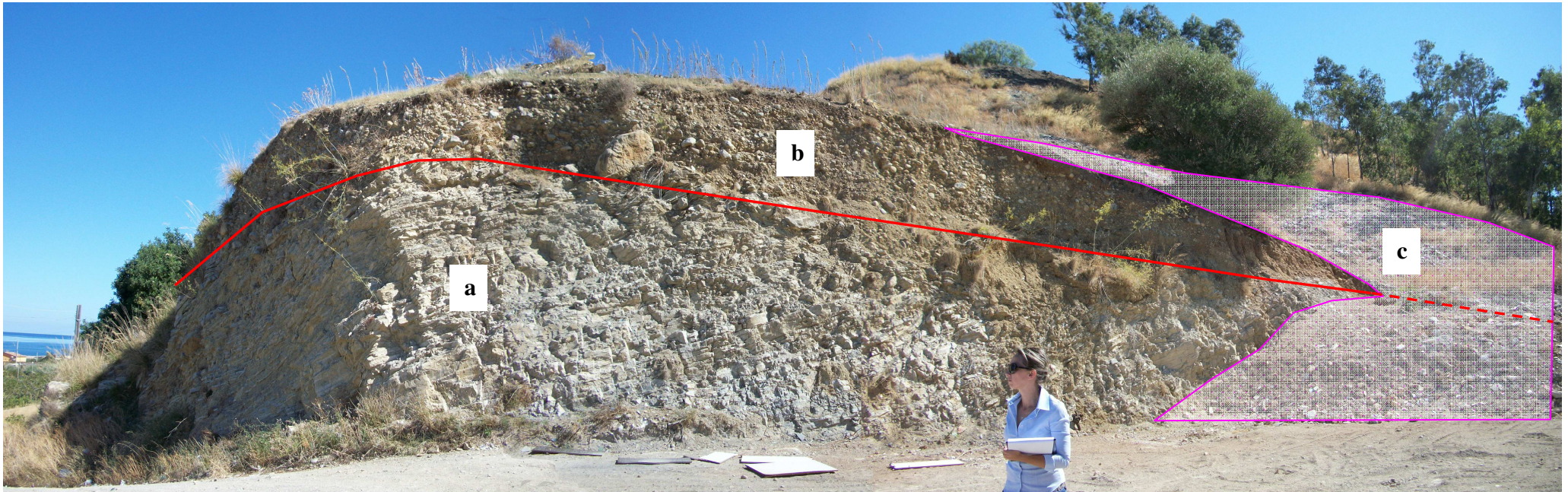


Foto 1 – Versante nord occidentale dell’area in studio; contatto tra le calcilutiti marnose sottilmente stratificati e ripiegati della Fm. Polizzi (a) ed i sovrastanti litotipi afferenti al Sistema del Fiume S. Leonardo (costituiti da conglomerati poligenici, ghiaie e sabbie) (b), sui quali si evidenzia un deposito detritico antropico (c).



Foto 2 – Versante nord orientale, contatto tra i depositi della Fm. Polizzi ed i conglomerati poligenici, il tutto parzialmente obliterato da depositi antropici recenti.



Foto 3 – Versante nord, porzione superiore dell'affioramento dei conglomerati poligenici.



Foto 4 e 5 – Conglomerati poligenici ben cementati, affioranti a sud dell'area cimiteriale, lungo la strada che collega Via Palermo alla SS 113.

3.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di studio, si localizza nel settore occidentale del centro urbano di Termini Imerese, a sud della spianata sulla quale si sviluppa l'attuale cimitero monumentale.

Essa, a grande scala, è caratterizzata dalla presenza di terrazzi fluvio-marini, prodotti, sia della deposizione e successivo rimaneggiamento dei sedimenti fluviali da parte del fiume San Leonardo, sia dai vari abbassamenti eustatici del livello marino, avvenuti nel Pleistocene superiore, e dai movimenti orogenetici a cui è stata soggetta l'area in tempi successivi. La morfologia dell'area, inoltre, ha subito modifiche dovute a sbancamenti e riporti occorrenti per l'urbanizzazione dell'area.

In particolare, l'area progettuale è stata localizzata in parte nella zona antistante l'ingresso dell'attuale impianto, in corrispondenza delle due superfici pianeggianti asfaltate, adibite attualmente a parcheggio, ad una quota di circa 50 m *s.l.m.*.

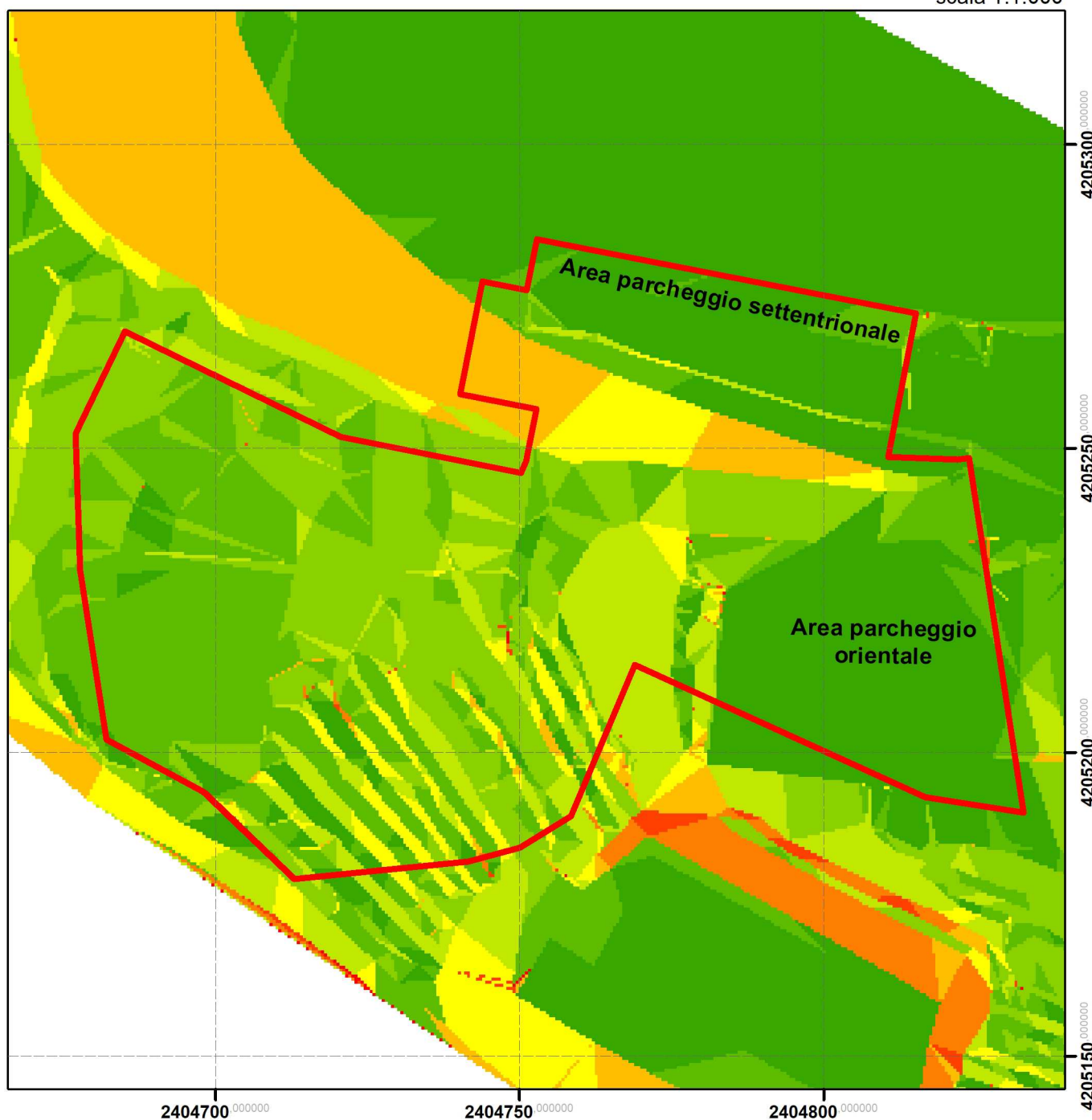
La restante parte, invece, si sviluppa lungo un versante che, a partire dalla base dell'attuale parcheggio, che occupa la porzione orientale dell'area progettuale, degrada uniformemente in direzione ovest, dalla quota di 42 m *s.l.m.*, fino alla quota minima di circa 30 m *s.l.m.*, interrotto da qualche terrazzamento di natura antropica di piccola entità, realizzati per consentire un migliore sfruttamento per fini agricoli. Si osservano soltanto due piccoli tratti di versante ad elevata pendenza, come illustrato nella "Carta delle pendenze" di seguito esposta: una, corrispondente alla zona di raccordo tra il rilevato dell'area parcheggio orientale ed il pendio naturale che segue in direzione ovest ($15^\circ < \text{pendenza} < 30^\circ$), l'altra, si colloca immediatamente a sud dell'area parcheggio settentrionale (pendenza $> 35^\circ$).

Dai sopralluoghi effettuati sono stati osservati, in corrispondenza della scarpata posta a nord-est dell'area in studio, accumuli di materiali provenienti da attività di demolizione edilizia e rifiuti in genere. Notizie storiche confermano che tale scarpata, veniva utilizzata in passato come discarica, oggi bonificata (foto 1).

Nel complesso si rileva un assetto morfologico stabile e un'attività morfogenetica ridotta, riconducibili essenzialmente all'attività agronomica ed all'azione erosiva esercitata dalle acque dilavanti che asportano i clasti più superficiali della copertura pedogenetica defluendo naturalmente per gravità negli impluvi sottostanti l'area in oggetto, senza creare particolari problemi idrogeologici che alimentano più a valle il *Fiume S. Leonardo*. Nell'area di progetto e per un significativo suo intorno non sono state individuate fenomenologie di dissesto attivo o di agenti morfogenetici la cui azione possa determinare evoluzioni rapide dell'attuale situazione stabile.

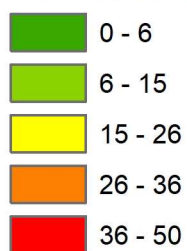
Carta delle pendenze


scala 1:1.000



Legenda

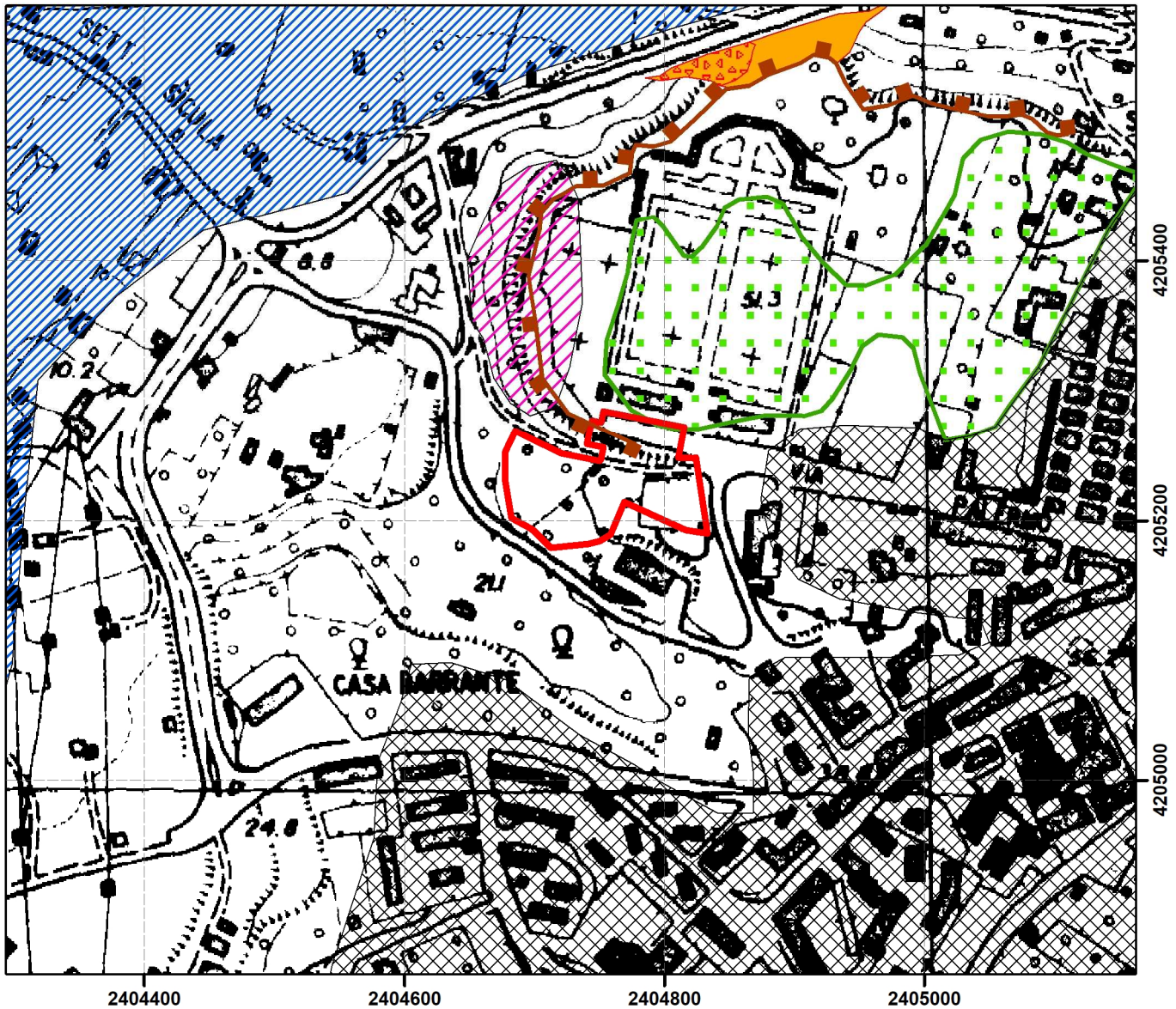
Pendenza espressa in gradi



 Perimetro area progettuale

Carta geomorfologica

scala 1:5.000



Legenda

Geomorfologia



Area urbana



Materiale di discarica



Deposito colluviale



Paleofalesia



Fenomeni di crollo



Area a potenziale rischio alluvionale



Orlo di scarpata

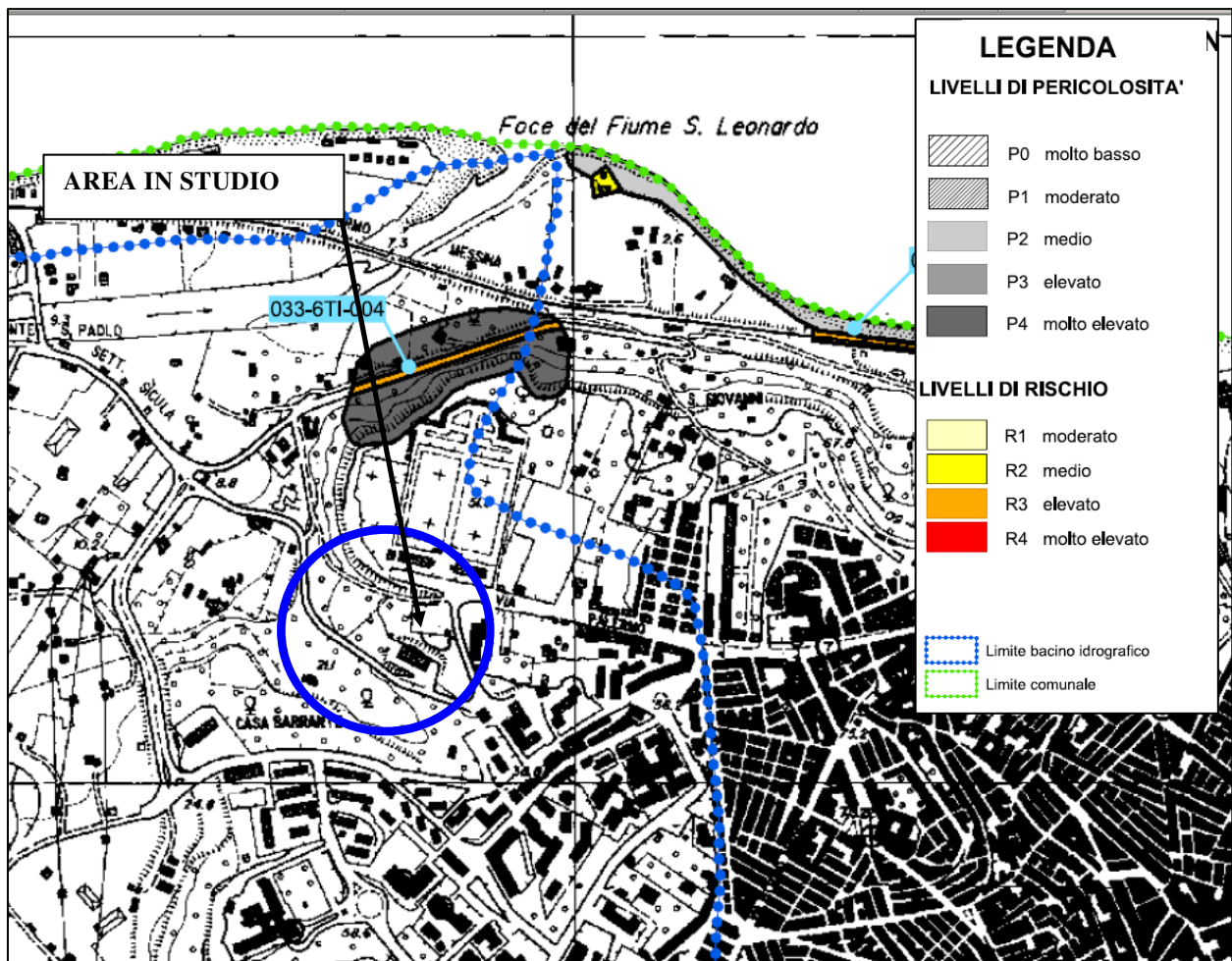


Perimetro area progettuale

Dall'esame della cartografia geomorfologica relativa all'aggiornamento del *Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico del "Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (PA) (033) - Carta della Pericolosità e del Rischio Geomorfologico N.2)*, si mette in evidenza che nessuna delle opere progettuali ricade all'interno delle perimetrazione di pericolosità geomorfologica individuate dal P.A.I., (stralcio PAI tratto dalla cartografia ufficiale pubblicata sul sito della Regione Sicilia, che viene di seguito riportato).

STRALCIO PAI
CARTA DELLA PERICOLOSITA' E RISCHIO GEOMORFOLOGICO
"Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (PA) (033)"

Scala 1:10.000



Da una sommaria analisi pedologica si è riscontrato che i livelli di suolo sono costituiti essenzialmente da limi-sabbiosi con elementi litici eterogenei di natura poligenica, caratterizzati da una permeabilità media per porosità.

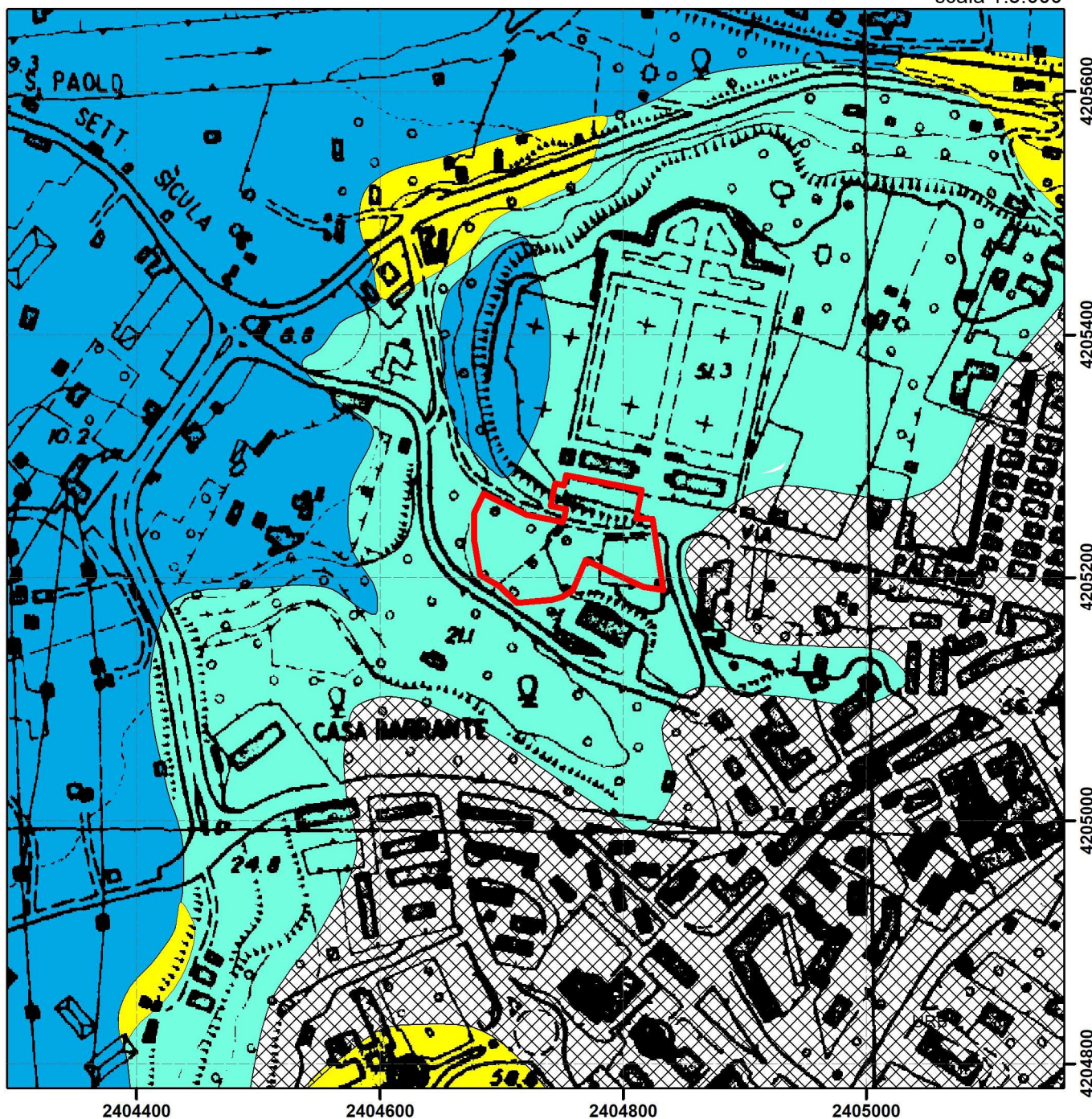
Dal punto di vista idrografico, l'area in esame ricade all'interno del bacino idrografico del "Fiume San Leonardo" (n. 033), che scorre in direzione prevalentemente sud-nord, sfociando a nord nel Mar Tirreno contribuendo con il suo carico solido, ormai limitato per la presenza della diga *Rosamarina*, al ripascimento della spiaggia.

L'idrografia superficiale, nell'area strettamente interessata dalle opere progettuali, vede un unico impluvio significativo che attraversa l'area progettuale, con direzione E-W, che convoglia le acque di scorrimento superficiale provenienti dall'impermeabile tessuto urbano, ubicato ad est, a quote più elevate. L'idrologia sotterranea dell'area è regolata dai complessi idrogeologici riscontrati, quale *complesso alluvionale* e depositi litorali costituiti da materiale granulare, da grossolano a fine, con permeabilità variabile da 10^{-3} a 10^{-5} (depositi continentali terrazzati), con decremento della permeabilità in corrispondenza dei livelli conglomeratici, e da un complesso calcareo-marnoso, costituito dalle calcilutiti marnose della Fm. Polizzi, avente permeabilità compresa tra 10^{-5} e 10^{-7} , che costituiscono l'acquicluda del sistema locale (di seguito si riportano gli stralci della carta geomorfologica ed idrogeologica).

Dall'esame della cartografia relativa all'aggiornamento del **Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico del "Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (PA) (033) - Carta dell'Area di Esondazione per Manovre delle Opere di Scarico e per Collasso dell'Invaso Rosamarina N 02"**, si evidenzia che nessuna delle opere progettuali ricadono all'interno delle aree di esondazione per manovra improvvisa e/o per collasso individuate dal P.A.I., in scala 1:10.000, tratta dalla cartografia ufficiale pubblicata sul sito della Regione Sicilia, che viene sotto riportata.






Carta Idrogeologica

scala 1:5.000



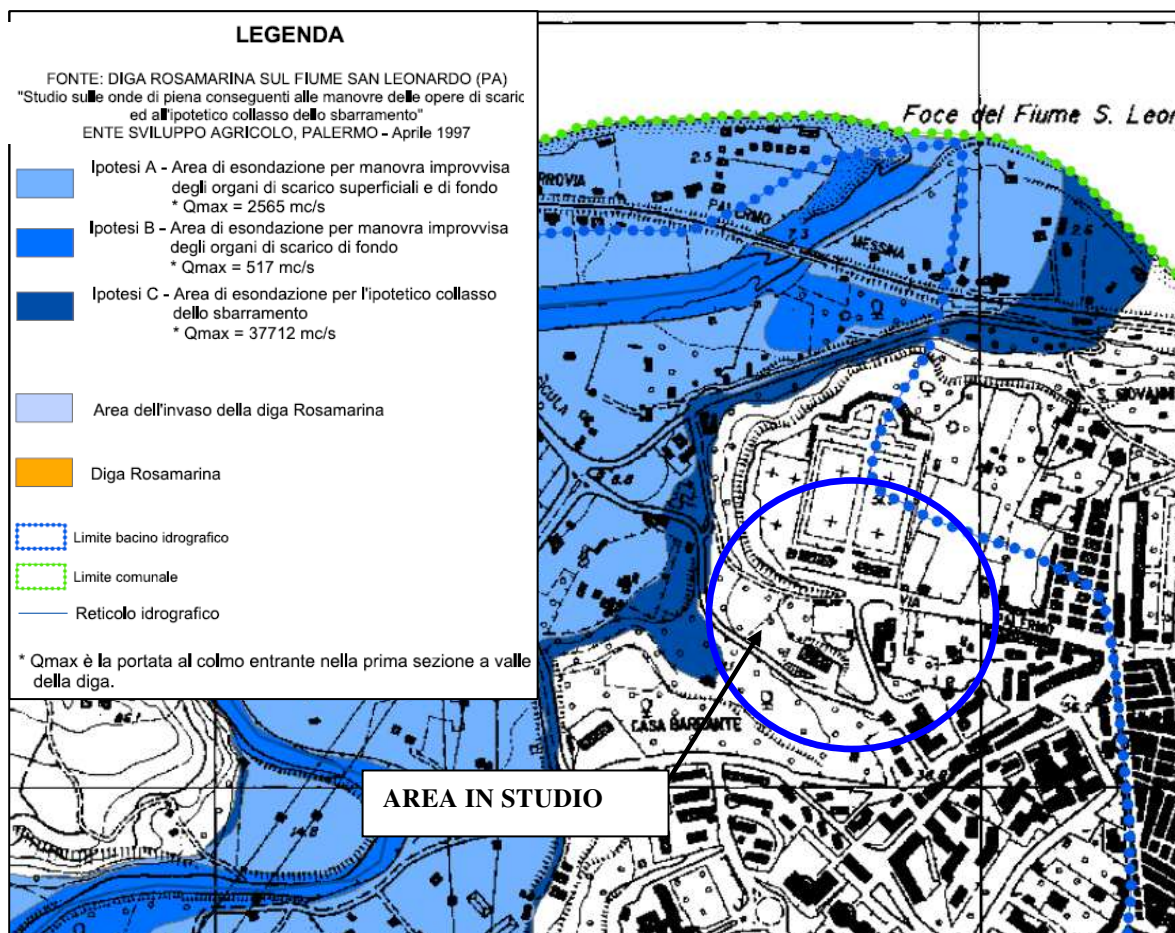
Legenda

Idrogeologia

-  Tessuto urbano
-  Terreni altamente permeabili per porosità
-  Terreni mediamente permeabili per porosità
-  Terreni scarsamente permeabili
-  Perimetro area progettuale

STRALCIO CARTA PAI
AREA DI ESONDAZIONE – "DIGA ROSAMARINA"
"Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (PA) (033)"

Scala 1:10000



4.0 CAMPAGNA D'INDAGINE

L'assetto dei luoghi è stato indagato mediante rilievo geologico-geomorfologico di dettaglio ed attraverso una campagna di indagini svolta per pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio, utile per la caratterizzazione e la modellazione geologico-tecnica del sottosuolo.

La **campagna di indagini** è consistita nell'esecuzione di:

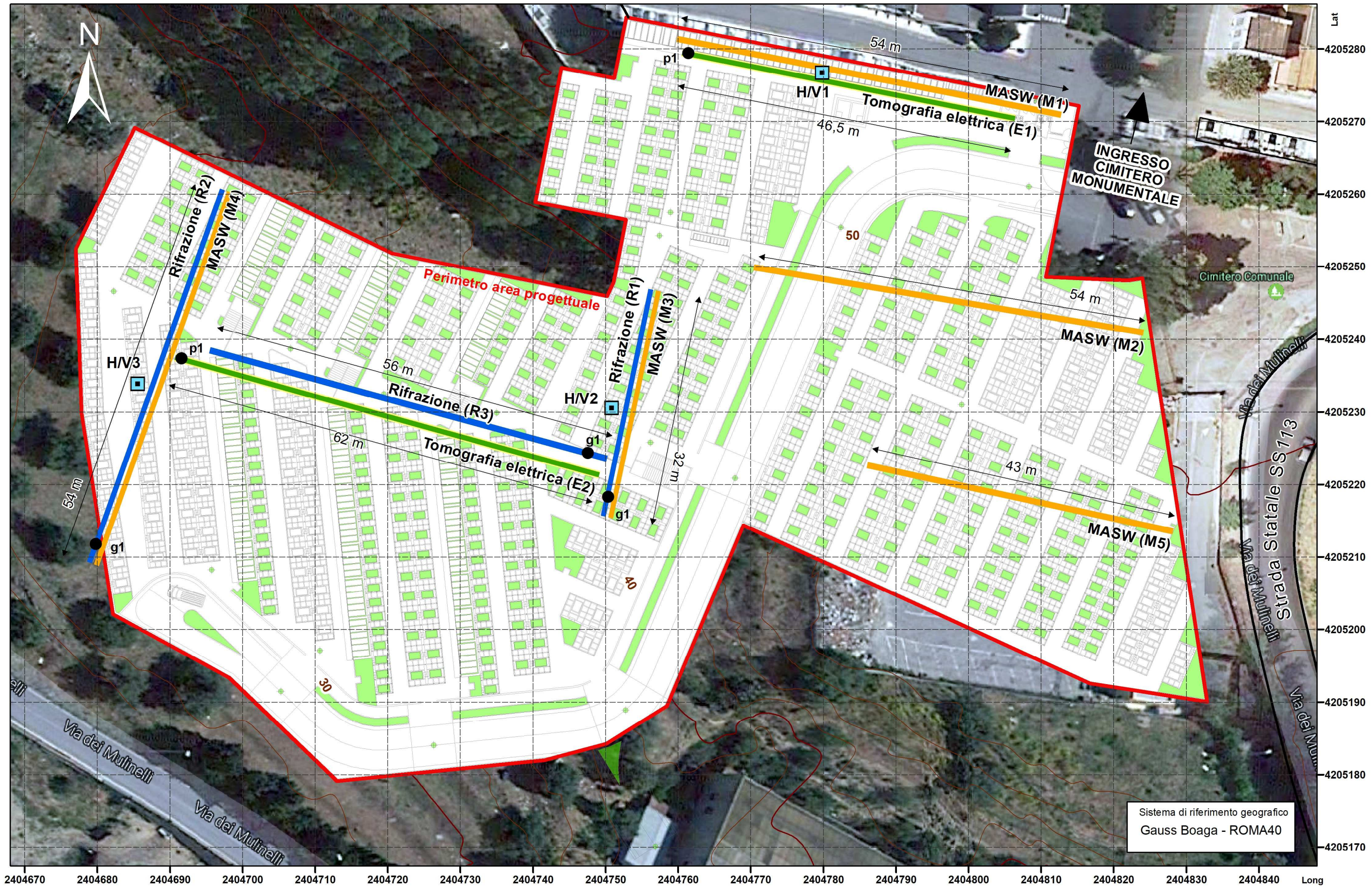
- N. 4 prove geofisiche del tipo sismica attiva di superficie del tipo MASW (M1, M2, M3, M4) per la misura della velocità media delle onde trasversali (S) lungo il profilo verticale dei suoli indagati, e per la determinazione del parametro V_{S30} ;
- N. 3 prove sismiche attive di rifrazione delle onde P (R1, R2, R3) per la valutazione della coltre superficiale alterata e per la determinazione dello stato di addensamento dei primi metri di sottosuolo (circa 12 metri);
- N. 3 misure di microtremore ambientale a stazione singola (H/V1, H/V2, H/V3) per individuare la frequenza di risonanza del sito.
- N. 2 indagini ERT (E1 e E2) per definire della resistività elettrica nel sottosuolo, al fine di meglio caratterizzare i terreni interessati dall'intervento progettuale.

L'ubicazione delle indagini eseguite viene riportata nella "planimetria con ubicazione delle indagini" di seguito riportata.

Piano di indagini - Ampliamento del Cimitero di Termini Imerese

Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite

scala 1:500



Legenda			
—	Stendimento per sondaggio tipo sismico a Rifrazione		Misura dei microtremori a stazione singola
—	Stendimento per sondaggio tipo MASW		Stendimento per tomografia elettrica
		● p1	Primo piccheto
		● g1	Primo geofono

5.0 INDAGINE GEOFISICA

Nell'area d'interesse progettuale è stata eseguita una serie di indagini di tipo geoelettrico e sismico al fine di caratterizzare il sottosuolo almeno nei primi dieci metri per l'individuazione delle principali unità geoelettriche e delle relative proprietà meccanico-elastiche lungo il profilo verticale.

Sulla base delle proprietà meccaniche-elastiche individuate è stato possibile definire un modello sismico adeguato a fornire le prime indicazioni sul comportamento dinamico della parte superficiale del sottosuolo dei siti indagati.

5.1 PROGETTO D'INDAGINE

Per la ricostruzione del modello geofisico del suolo di fondazione delle opere in progetto, sono state realizzate diverse prospezioni sismiche combinando più tecniche, dalla sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali ("onde P") per valutare il profilo di rigidità del sito, al metodo di analisi spettrale delle onde di superficie tipo Rayleigh (MASW) per la stima del profilo V_s , che ha inoltre consentito di ricavare il V_{S30} , parametro richiesto dalla nuova normativa sismica (NTC 2008) a fini progettuali. A queste due tecniche sono state effettuate misure di microtremore ambientale, al fine di ricavare la curva HVSR, necessaria per valutare la frequenza di risonanza di sito, ed infine misure di resistività elettrica dei terreni (ERT) al fine di discriminare quelle porzioni che potrebbero essere interessate da sversamento di rifiuti.

Sono stati predisposti n. 8 profili sismici di misura di cui, n. 3 di rifrazione delle onde P (R1, R2, R3) e n. 5 di tipo MASW (M1, M2, M3, M4, M5) il cui tracciato è stato scelto per ottenere una migliore caratterizzazione dei terreni.

Per le indagini di tipo ERT sono stati, invece, effettuate n. 3 stese tomografiche. L'ubicazione delle stese sismiche è stata riportata nella "planimetria generale con la relativa ubicazione delle indagini," visibili nella pagina precedente.

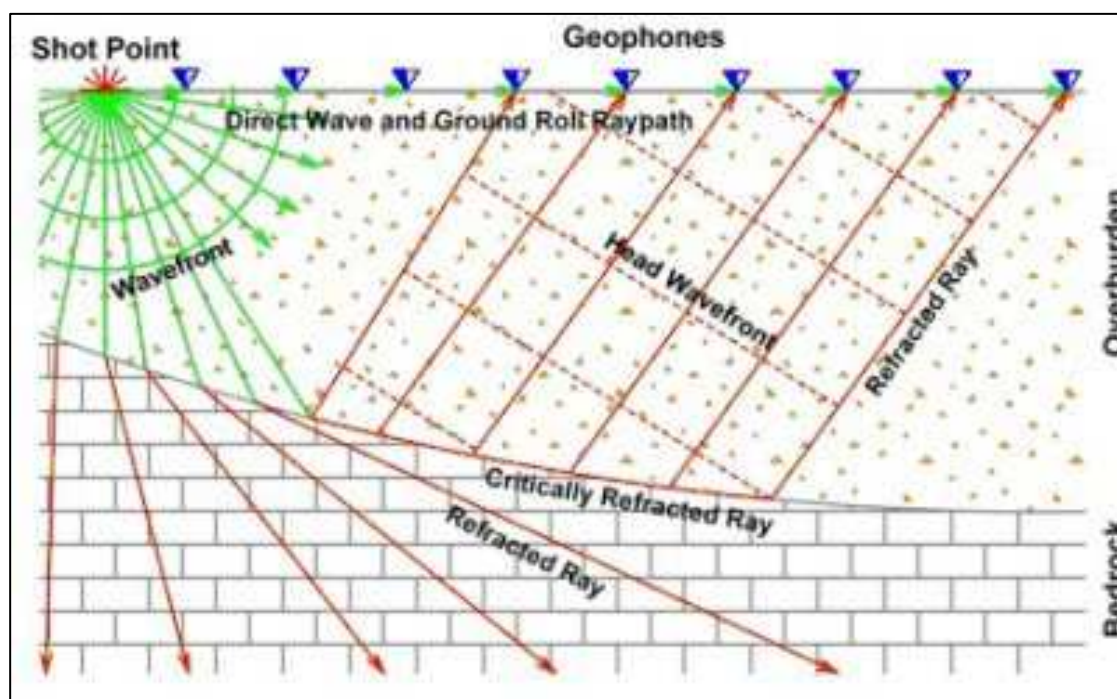
5.2 PRINCIPI E CONSIDERAZIONI GENERALI SUI METODI SISMICI ADOTTATI

5.2.1 Metodo sismico a rifrazione onde P

Il metodo sismico a rifrazione, per generare onde longitudinali P, è stato basato sul principio di generare onde meccaniche con sollecitazione verticale sulla superficie del terreno e di rilevare il loro arrivo (onde di compressione V_p) lungo un allineamento di geofoni (sensori a componente verticale) posti in superficie a distanze note e prefissate; che consente di

ricostruire, attraverso lo studio dei percorsi e delle velocità, la disposizione geometrica delle discontinuità sismiche nel sottosuolo, consentendo, per ogni livello sismico individuato il computo dei principali moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.

La sismica a rifrazione ha, dunque, permesso l'acquisizione dei valori delle velocità sismiche del primo strato di terreno e dei "rifrattori" successivi, oltre che del loro spessore, fino ad una certa profondità dipendente dalla lunghezza dello stendimento utilizzato.



I dati sperimentali hanno fornito i tempi di primo arrivo dei treni d'onda (di tipo **P**) ai vari punti di registrazione. Dal punto sorgente, fino ad una certa distanza, detta distanza critica. Questi tempi corrispondono ai tempi di arrivo delle onde sismiche, che viaggiano poco al di sotto della superficie topografica, cioè i tempi relativi all'onda diretta.

Dal punto critico in poi, l'onda rifratta, criticamente arriva prima di quella diretta: questo avviene perché l'onda rifratta, pur compiendo un tragitto più lungo di quella diretta, percorre un buon tratto di questo cammino ad una velocità maggiore che è quella dello strato sottostante. Se consideriamo un terreno multistrato questo fenomeno si ripeterà per tutti gli strati caratterizzati da velocità superiore a quella degli strati soprastanti.

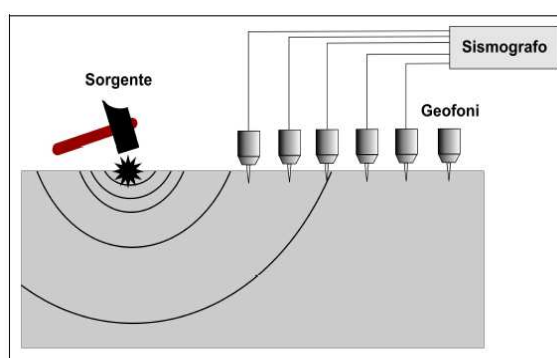
Una conseguenza molto importante della legge di Snell nella sismica a rifrazione è quella di essere in grado di distinguere e determinare gli strati rifrattori solo se essi hanno una velocità maggiore di quelli sovrastanti. Quindi, condizione necessaria per ottenere buoni risultati

dall'applicazione del metodo sismico a rifrazione è che la velocità di propagazione aumenti con la profondità.

Infatti, quando uno strato sottostante risulta a velocità inferiore, esso non viene evidenziato. In tali casi, se esiste il sospetto di una tale presenza, è necessario ricorrere ad altre metodologie di prospezione, ovvero a sondaggi meccanici, oltre che, ovviamente, tenere in considerazione i risultati di un accurato rilevamento geologico.

5.2.2 Metodo sismico MASW (Onde Rayleigh)

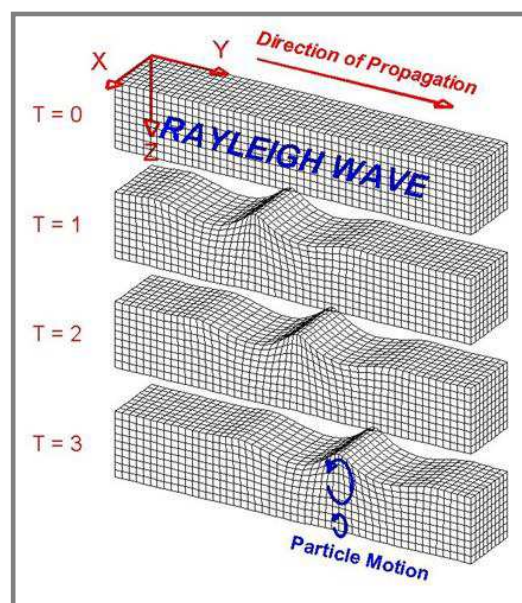
Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che consente una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Il metodo è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con



mazza battente parallelamente all'array) e rilevate da geofoni a bassa frequenza disposti lungo uno stendimento lineare. Detto metodo, generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze, fornendo informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (SV), ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$: possono esser viste come la sovrapposizione di due componenti separate, una



longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità, ma con differente attenuazione con la profondità (vedi figura).

Tali onde vengono considerate perché 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%).

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 nella caratterizzazione geotecnica di un sito).

La tecnica MASW può essere schematizzata in tre fasi:

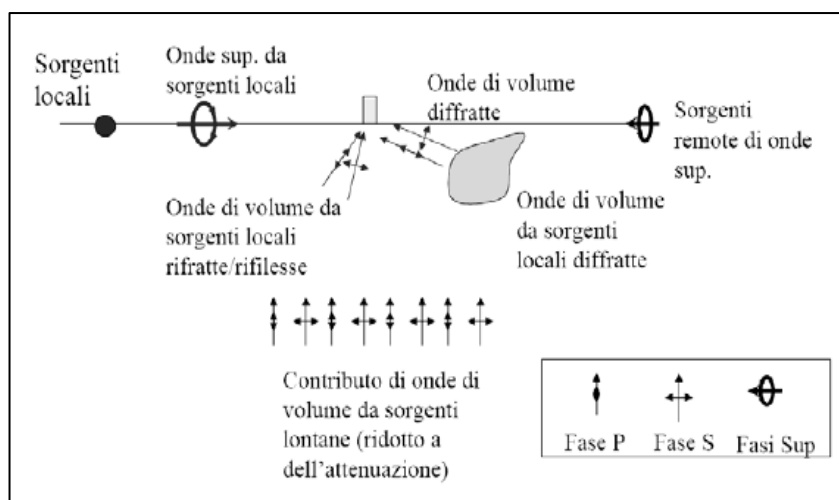
- 1) acquisizione dei dati di campo: utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione, acquisizione dei dati con geofoni a componente verticale particolarmente sensibili alle basse frequenze, geofoni da 4.5 Hz, registrazione simultanea di 24 canali.
- 2) determinazione della curva di dispersione (valutazione dello spettro di velocità);
- 3) inversione della curva di dispersione interpretata per ottenere il profilo verticale delle V_s che descrive la variazione di V_s con la profondità, in funzione della rigidità degli strati attraversati.

5.2.3 Metodo sismico (passivo) a stazione singola-HVSR

La prova in questione è nota semplicemente con il nome H/V e fu sperimentata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi nel 1970, ma è stata poi diffusa successivamente, nel 1989, da Nakamura (infatti la prova viene anche definita come metodo di Nakamura).

La tecnica del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del moto **H** e quella verticale **V** o **HVSR**

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consente di valutare la *frequenza caratteristica di risonanza del sito*, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento/verifica degli edifici in termini di risposta sismica locale.



La prova consiste in una valutazione sperimentale del rapporto di ampiezza esistente tra la media delle componenti orizzontali e di quella verticale delle vibrazioni ambientali misurate

in un determinato punto della superficie terrestre, tramite un sismometro a tre componenti (due orizzontali perpendicolari tra loro ed una verticale).

Le vibrazioni che vengono misurate sono i cosiddetti microtremori e sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti le quali sono attive per una molteplicità di frequenze, anche se quelle che interessano a fini ingegneristici, sono generalmente quelle comprese nell'intervallo 0,5 – 20 Hz. Le principali sorgenti sono sia di origine antropica, quali traffico veicolare, attività industriale, rumore urbano in genere, che naturale quali onde marine, perturbazioni atmosferiche, cicloni oceanici, tremori vulcanici. Si chiama anche microtremore perché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nella sismica attiva (es. MASW e Down hole).

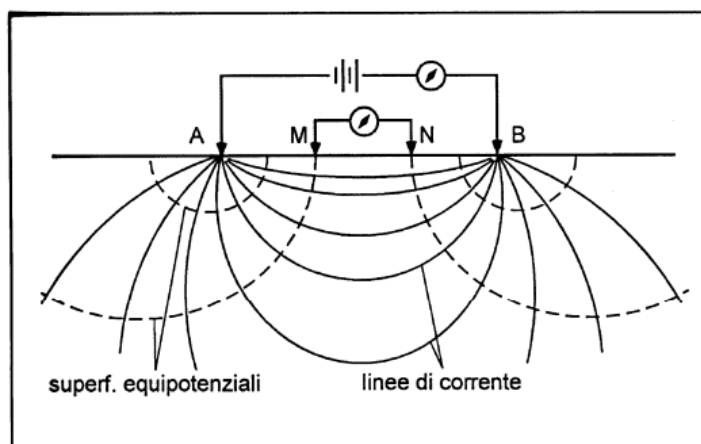
Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti, per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del suolo attraversato e dalla morfologia. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente una parte debolmente correlata del segnale che può essere estratta e che contiene informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicina al sensore.

Dunque, anche il rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente HSVR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze dei sottosuoli, informazioni di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Durante l'acquisizione dei dati sono state rispettate le metodologie e le accortezze al fine di ottenere un dato statisticamente corretto.

5.2.4 Indagine ERT (Elettrical Resistività Tomography)

I metodi geoelettrici consistono nella determinazione sperimentale dei



valori di resistività elettrica che caratterizzano il sottosuolo. Mediante l'utilizzo di appropriate strumentazioni si immette corrente continua nel terreno e si esegue una successione di misure in superficie con una serie di elettrodi, opportunamente posizionati e infissi nel terreno. L'apparecchiatura per la misura della resistività è formata schematicamente da:

- Un sistema per l'immissione di corrente nel terreno (batteria o generatore di corrente);
- Una serie di elettrodi, n. 32 nel nostro caso,: A e B elettrodi di corrente, M e N elettrodi di potenziale) (Fig. 2);
- Strumenti per la misura dell'intensità di corrente immessa nel terreno mediante gli elettrodi A e B e della differenza di potenziale tra i due elettrodi M e N.

Gli elettrodi, in acciaio inox di lunghezza 50 cm, con collegamenti a mezzo di spinotti, vengono conficcati nel terreno in modo da produrre un buon contatto.

I dati dei rilievi geoelettrici sono presentati in forma di valori di resistività apparente: questa è definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli

Fig. 2 – Linee di corrente e superfici equipotenziali per una coppia di elettrodi A e B in un semispazio omogeneo.

stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi. Un'equazione che dia la resistività apparente in funzione di corrente applicata, distribuzione del potenziale e disposizione degli elettrodi può essere sviluppata attraverso l'esame della distribuzione di potenziale dovuta ad un singolo elettrodo di corrente; da questa, per sovrapposizione, può essere ricostruito l'effetto di una coppia di elettrodi o di ogni altra combinazione. Si consideri un elettrodo puntiforme in un mezzo semi-infinito elettricamente omogeneo, che rappresenta un ipotetico terreno omogeneo: se questo porta corrente, il potenziale in ogni punto del mezzo o sulla superficie limite del semispazio è dato da:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (1)$$

Dove

U = potenziale in Volt;

ρ = resistività del mezzo in Ohm·m;

r = distanza dall'elettrodo in m;

I = intensità di corrente immessa in Ampere.

Per una coppia di elettrodi, con corrente I nell'elettrodo A e corrente $-I$ nell'elettrodo B, il potenziale in un punto è dato dalla somma algebrica dei singoli contributi:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r_A} - \rho \frac{I}{2\pi r_B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] \quad (2)$$

Dove r_A e r_B sono le distanze del punto dagli elettrodi A e B. In aggiunta agli elettrodi di corrente, la Fig. 2 mostra una coppia di elettrodi M e N, tra i quali viene misurata la differenza di potenziale V . Seguendo l'equazione (2), la differenza di potenziale risulta così definita:

$$V = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right] \quad (3)$$

Dove U_M e U_N sono i potenziali in M e N; AM, BM, BN e AN sono le distanze effettive tra gli elettrodi. La quantità tra parentesi quadra, funzione della spaziatura tra gli elettrodi, può essere indicata con la notazione $1/K$, il che permette di riscrivere l'equazione come:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{K} \quad (4)$$

E risolvendo per la resistività:

$$\rho = 2\pi K \frac{V}{I} \quad (5)$$

La resistività del mezzo può quindi essere ricavata dai valori misurati di V , I e dal fattore geometrico K , funzione unicamente della disposizione elettrodica. Nelle misure reali sul terreno, la notazione ρ relativa ad un mezzo fittizio è sostituita da ρ_a o resistività apparente. Il rilevamento geoelettrico consiste nell'uso dei valori di resistività apparente derivati da misure di campo in vari punti e con diverse configurazioni per stimare la vera resistività dei diversi strati e ricostruire spazialmente i loro limiti al di sotto della superficie topografica.

5.3 STRUMENTAZIONI E SOFTWARE D'INTERPRETAZIONE

STRUMENTI DI ACQUISIZIONE DATI

Il sistema di acquisizione dati per le indagini sismiche MASW e Rifrazione in onde P è composto da un sismografo digitale 16S a 24 canali della PASI s.r.l. ad alta risoluzione (foto 6), in grado di registrare i segnali provenienti dai geofoni e di permettere, grazie ad un software di elaborazione interno, un rapido controllo della qualità della registrazione, consentendo un processing preliminare dei dati in situ.

Il sismografo in questione costituisce il componente fondamentale dell'apparato di acquisizione dei dati. Si tratta di uno strumento digitale a 24 canali, dotato di un processore Pentium 266 Intel ad alta risoluzione, una frequenza massima di campionamento di 100.000 Hz, un convertitore Analogico/Digitale a 16 bit, una velocità massima di campionamento pari

16 ms e una risoluzione di acquisizione a 24 bit, con sovracampionamento e post-processing. Un dispositivo in grado di registrare i segnali provenienti dai geofoni; questi infatti rilevano il segnale sismico e lo trasformano in impulsi, che vengono inviati al sismografo.

Quest'ultimo, ricevendo l'impulso, nel diagramma il valore in funzione del tempo, ottenendo così un sismogramma. Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento vengono scelte in funzione del tipo di indagine eseguita, dal grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nel percorso indagato.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento vengono scelte in funzione del tipo di indagine eseguita, dal grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nel percorso indagato.

La sorgente sismica adoperata è stata una mazza dal peso di 10 kg lasciato cadere su una piastra quadrata di acciaio (20 cm x 20 cm), posta in posizione orizzontale (poggiata direttamente sul terreno), per generare un treno d'onde sismiche ad alta frequenza ricche di energia intercettato dai sensori posti sulla superficie topografica (geofoni).

Il sistema di ricezione dati in grado di rilevare il segnale sismico, è costituito da un gruppo di geofoni verticali (n. 24/12), disposto secondo una configurazione lineare, detta "stendimento" o "array"; si tratta di trasduttori di velocità, in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte dalla una sorgente.

La tecnica MASW prevede l'uso di geofoni con una frequenza propria di 4,5 Hz e con i punti sorgente posti ai due estremi dello stendimento dei geofoni, mentre la tecnica a rifrazione prevede l'utilizzazione di geofoni con frequenza a 10Hz e con più punti sorgente (da tre a nove) distribuiti in modo simmetrico lungo l'array. Durante la fase di acquisizione dei dati, per entrambe le tecniche, si è ritenuto necessario utilizzare la procedura dello *stacking* (fino a cinque battute per ogni registrazione), per incrementare il rapporto segnale rumore.

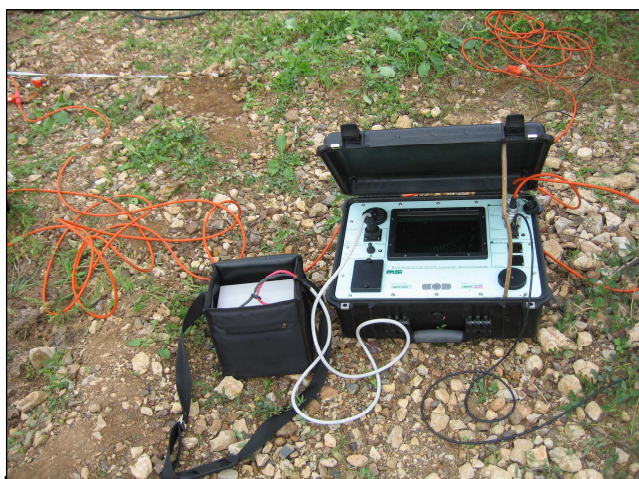


Foto 6 - Strumentazione: sismografo digitale 16S a 24 canali della PASI s.r.l. e batteria di alimentazione.

Il sistema di acquisizione dati per l'indagine HVSR è costituito da uno strumento denominato *Gemini 2* (foto 7) prodotto dalla ditta *Pasi* di Torino. Il Gemini 2 è un acquisitore dati di vibrazioni ambientali, necessari per l'analisi HVSR, costituito da una terna di geofoni con frequenza di risonanza di 2 Hz, accoppiati sia meccanicamente che elettricamente, e da un acquisitore di dati a 24 bit reali appositamente progettato. Per il suo funzionamento in campagna il Gemini 2 viene collegato ad un computer portatile tramite un'interfaccia USB. Come già detto



Foto 7 - Sismometro tricomponente *Gemini 2* (PASI srl) utilizzato per l'acquisizione delle vibrazioni ambientali.

i tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto S.E.S.AM.E.1: l'asse Z corrisponde al geofono verticale (direzione Up-Down), l'asse X e l'asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale (direzione East-West) e al geofono orizzontale (direzione North-South).

Il sistema di acquisizione dati impiegato per le indagini geoelettriche di tipo topografico

(ERT) è una strumentazione per tomografia elettrica a corrente alternata di tipo sinusoidale **POLARES 2.0** della **PASI** (foto 8), cavi a 32 elettrodi, alimentazione tramite batteria da 12 Volt, elettrodi in acciaio inox, e sistemi di commutazione dei segnali. Lo strumento consente di misurare e visualizzare contemporaneamente tutti i parametri di indagine: valori di resistività del



Foto 8 - Sistema di acquisitore per tomografia elettrica a corrente alternata POLARES 2.0 - PASI

terreno, corrente, tensione, potenziale spontaneo, deviazione standard e polarizzazione indotta. Dotato di un sistema di commutazione dei segnali sui picchetti (multiplexer) automatico,

l'apparecchio misura corrente e tensione, lasciando ad un sistema a microprocessore la gestione della sequenza delle misure.

ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati di sismica a rifrazione delle onde P (R1,R2), è stata eseguita con l'ausilio del **SOFTWARE INTERSISM v. 2.0**, secondo le seguenti fasi:

- ✓ **lettura dei tempi di primo arrivo delle onde P** (*picking*), corrispondenti ai tempi di percorso delle onde dal punto sorgente ad ogni singolo geofono;
- ✓ **costruzione di dromocrone dirette e reciproche**, al fine di valutare lo spessore e l'eventuale inclinazione degli strati rifrattori;
- ✓ **interpretazione delle dromocrone**, attraverso il calcolo delle profondità degli strati.

Il calcolo delle profondità viene eseguito dal software InterSism con metodi diversi, in funzione del tipo di campagna di indagine effettuata:

- un solo sparo all'estremità dello stendimento: utilizzando in metodo dei tempi intercetti il programma stima la velocità degli strati e la profondità dei rifrattori, che vengono considerati idealmente piani ed orizzontali;

- due spari all'estremità dello stendimento: utilizzando il metodo dei tempi intercetti e confrontando le dromocrone diretta ed inversa, il programma determina la velocità dei terreni indagati nonché la profondità e l'inclinazione dei rifrattori, che vengono considerati idealmente piani;

- tre o più spari: essendo stati definiti il numero e la posizione dei punti di ginocchio, il programma effettua la traslazione dei segmenti di dromocrona e di ciascuno sparo appartenente allo stesso rifratore, così da allinearli con un procedimento iterativo, che permette di attribuire maggiore peso ai segmenti che hanno un maggior numero di geofoni in comune.

Si passa, quindi, all'applicazione del Metodo Reciproco Generalizzato (GRM), per l'identificazione della geometria dei rifrattori. Il programma utilizza una procedura automatizzata che, partendo da un valore di XY di tentativo pari a zero (con cui ottiene la funzione tempo-profondità convenzionale) e dalla profondità calcolata al di sotto di ciascun geofono, sperimenta valori di XY al fine di determinarne il valore ottimale (cioè la distanza per la quale i raggi diretti ed inversi emergono in prossimità dello stesso punto sul rifratore).

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati ottenuti mediante le prove di tipo MASW e HVSR sono state eseguite con l'ausilio del **SOFTWARE WinMASW PRO**.

Per quanto riguarda l'"HVSR" il software, tramite il processing dei dati, ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti verticali ed orizzontali del moto del suolo in funzione della frequenza consentendo di determinare le attuali frequenze fondamentali di vibrazione del terreno. Mentre per l'analisi delle onde superficiali il software consente di interpretare i dati sismici (common-shot gathers, acquisiti in campagna), attraverso l'analisi dello spettro delle velocità delle onde di superficie al fine di ricavare il profilo verticale della V_S (velocità delle onde di taglio).

La procedura si sviluppa in due operazioni:

- 1) restituzione dello spettro di velocità (sul quale è stata identificata la curva di dispersione);
- 2) inversione della curva di dispersione (precedentemente individuata) attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi).

È stato definito uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Per quanto riguarda l'"HVSR" il software, tramite il processing dei dati, ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti verticali ed orizzontali del moto del suolo in funzione della frequenza, consentendo di determinare le attuali frequenze fondamentali di vibrazione del terreno. Mentre per la determinazione delle velocità delle onde di taglio S , il software funziona come interfaccia grafica per l'utilizzo dell'eseguibile di Albarello & Lunedei (*Lunedei E., Albarello D., 2009, On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, Geophys. J. Int., 177, 1001-1014*), per la modellazione del rapporto H/V dall'ellitticità delle onde di superficie, anche considerando i fattori di qualità Q .

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati ottenuti mediante indagine tomografica ERT è stata realizzata mediante il software **RES2DINV** che utilizza il metodo di inversione dei minimi quadrati di Sasaki (1992) per produrre un modello 2D del sottosuolo partendo dai dati di resistività apparente. Il software supporta stendimenti tipo Wenner, Schlumberger, polo-polo, polo-dipolo, dipolo in linea, dipolo equatoriale, WennerSchlumberger e altri tipi di stendimenti non convenzionali. A parità di lunghezza del profilo la configurazione WennerSchlumberger consente una maggiore profondità di penetrazione.

5.4 ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI

5.4.1 Indagine di sismica a rifrazione con Onde P:

Le tre stese disposte per l'indagine di sismica a rifrazione (R1, R2, R3) hanno lunghezza variabile come indicato in tabella 1, lungo le quali sono stati disposti e collegati in serie 12/24 geofoni monocomponenti verticali, con distanza intergeofonica variabile (vedi tab.1) .

La configurazione adoperata per i siti di indagine è quella a 7 punti di energizzazione (shots): quattro esterni, due intermedi ed uno centrale le cui caratteristiche sono rappresentate nelle tabelle seguenti:

Profili sismici	Tipo di indagine	Lunghezza totale (m)	Numero geofoni (10 Hz)	Posizione I geofono (m)	Posizione ultimo geofono (m)	Interdistanza tra i geofoni (m)
R1	Rifrazione Onde P	32	12	5	27	2
R2	Rifrazione Onde P	54	12	5	49	4
R3	Rifrazione Onde P	56	24	5	51	2

Tabella 1 – Caratteristiche dei tre stendimenti utilizzati per i sondaggi sismici R1, R2 e R3.

Energizzazioni	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Shot 6	Shot 7
R1	-5 m	-3 m	3 m	11 m	19 m	25 m	27 m
R2	-5 m	-3 m	6 m	22 m	38 m	47 m	49 m
R3	-5 m	-3 m	3 m	23 m	43 m	49 m	51 m

Tabella 2 – Posizione dei punti di scoppio dei sondaggi R1, R2 e R3 lungo la direzione dello stendimento

Per l'ubicazione delle stese sismiche R1, R2 ed R3 si veda la planimetria del "Piano di indagini" riportata a pag. 24.

Il calcolo delle dromocrone è stato eseguito prima in modalità automatica, attraverso un procedimento di ricerca di minimo sviluppato in forma analitica, che permette di identificare la disposizione dei punti di ginocchio. Successivamente, si è intervenuti manualmente, modificando alcuni punti di ginocchio. Vengono di seguito esposti i risultati delle singole stese.

Profilo Sismico R1

La stesa sismica è stata disposta su una superficie debolmente inclinata, con azimuth NNE-SSW (foto 9).

Il profilo sismico ottenuto, denominato **R1**, è stato interpretato con un modello generale a 2 strati che ha permesso di individuare altrettanti livelli a differenti caratteristiche meccanico-elastiche rappresentati da:

- ✓ primo sismo-strato, associabile a terreni mediamente addensati, caratterizzati da un valore di **$V_p=595$ m/s**, il cui spessore medio risulta pari a 7 m dal p.c.;
- ✓ secondo sismo-strato, caratterizzato da buone caratteristiche meccaniche indicate da elevata velocità delle onde P (**V_p 1227 m/s**), e spessore teorico infinito.



Foto 9: Stesa sismica R1

In figg. 3-4 vengono riportate le dromocrone originali e traslate del profilo sismico R1, relative ai primi arrivi di tipo P, ricavate dalle analisi dei dati, mentre in fig. 5 viene riportata la sezione sismo-stratigrafica ottenuta dal modello interpretativo 2D.

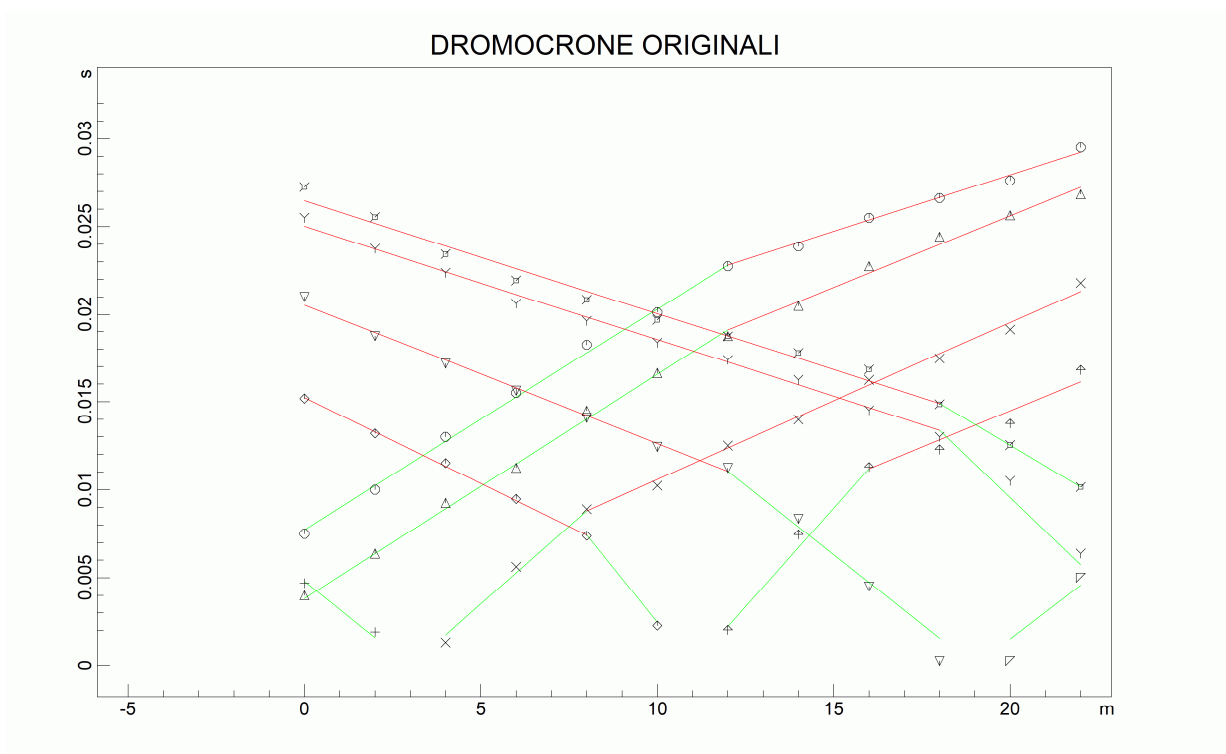


Fig. 3: Dromocrone originali del profilo sismico R1

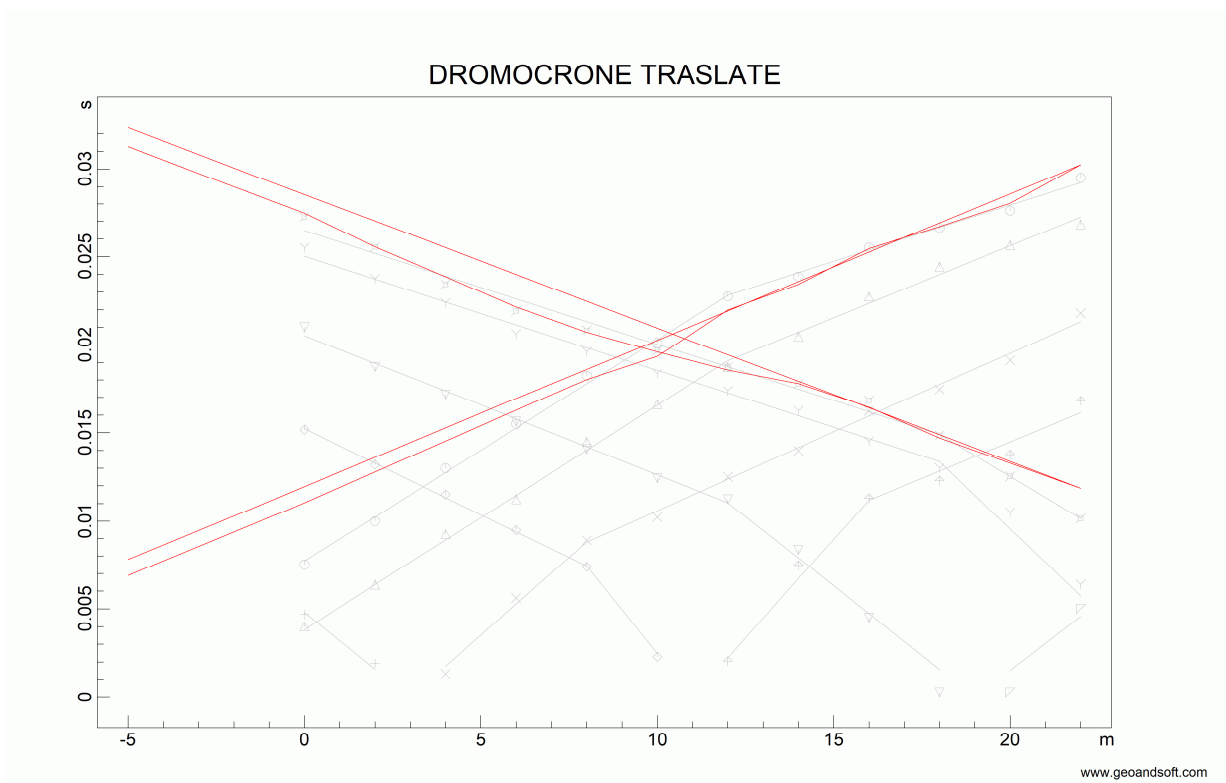


Fig. 4: Dromocrone traslate del profilo sismico R1

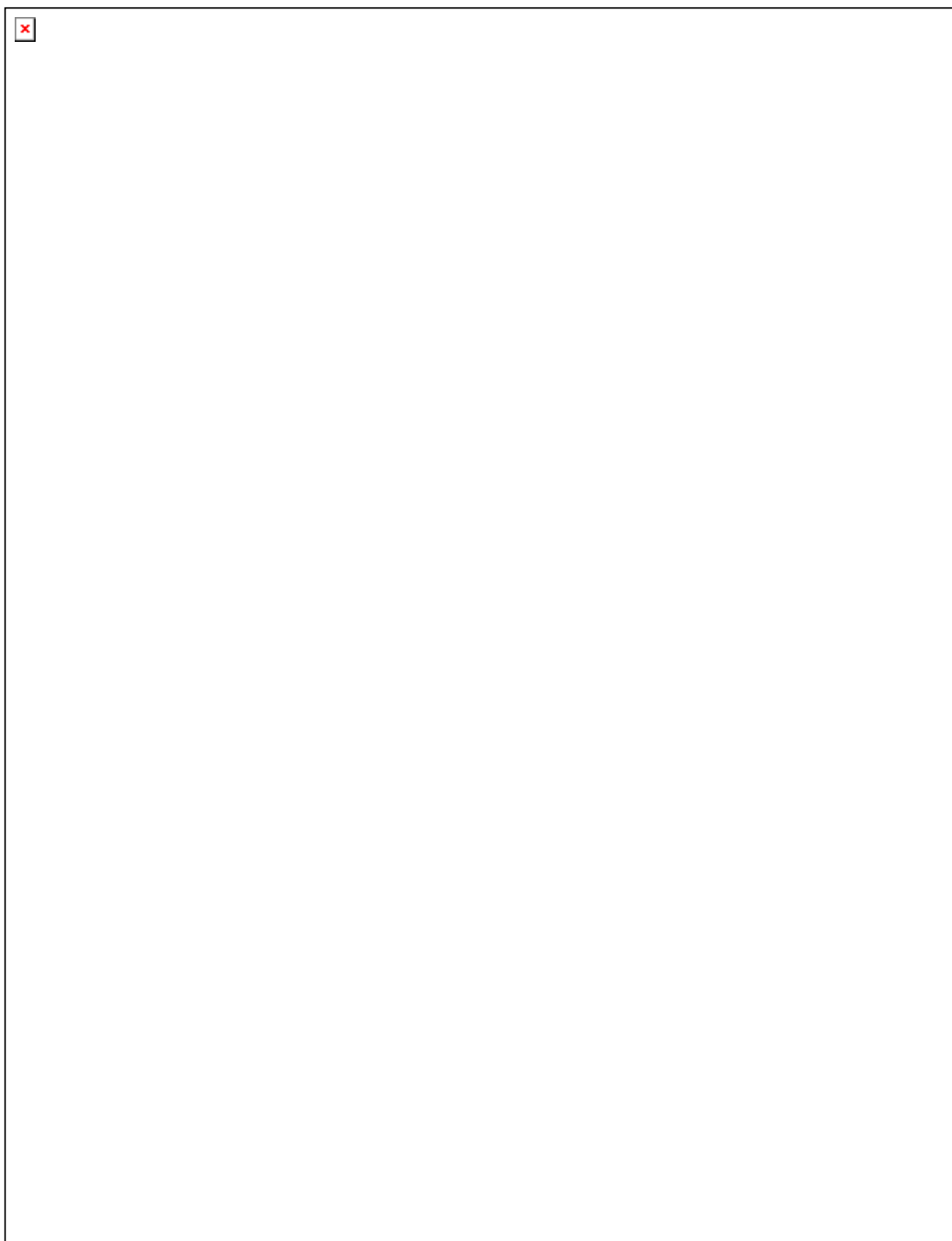


Fig. 5: Modello interpretativo del profilo sismico R1, relativo alla velocità di propagazione delle onde P, rappresentato attraverso cerchi di profondità e curve.

Di seguito vengono riportate la tabella dei tempi dei primi arrivi delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite (Tab.3), e la tabella riassuntiva dei sismostrati riscontrati (Tab. 4).

Tabella 3 – Tempi di primo arrivo delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite, relativi al profilo sismicoR1.

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da -3 [ms]	FBP da 3 [ms]	FBP da 11 [ms]	FBP da 19 [ms]	FBP da 25 [ms]	FBP da 27 [ms]
1	0.00	0.00	7.50	4.00	4.69	15.18	21.00	25.50	27.25
2	2.00	0.10	10.00	6.38	1.92	13.19	18.74	23.75	25.55
3	4.00	0.20	13.00	9.25	1.34	11.51	17.16	22.38	23.44
4	6.00	0.30	15.50	11.25	5.62	9.47	15.63	20.63	21.94
5	8.00	0.40	18.25	14.50	8.89	7.39	14.08	19.63	20.85
6	10.00	0.50	20.13	16.63	10.23	2.29	12.43	18.38	19.69
7	12.00	0.50	22.75	18.75	12.51	2.05	11.24	17.38	18.73
8	14.00	0.60	23.88	20.50	13.98	7.46	8.35	16.25	17.78
9	16.00	0.70	25.50	22.75	16.24	11.29	4.50	14.51	16.83
10	18.00	0.80	26.63	24.43	17.45	12.29	0.25	13.00	14.85
11	20.00	0.80	27.63	25.65	19.13	13.76	0.25	10.50	12.54
12	22.00	0.90	29.50	26.84	21.80	16.80	5.00	6.38	10.15

Tabella 4 – Velocità dei sismostrati riscontrati lungo il profilo sismicoR1.

N. Strato	Velocità [m/s]
1	595.1
2	1277.7

Profilo Sismico R2

La stesa sismica **R2** è stata anch'essa disposta su una superficie topografica debolmente inclinata e con azimuth circa NNE-SSW (Foto 10).

Il profilo sismico ottenuto, denominato **R2**, è stato interpretato con un modello generale a 3 strati che ha permesso di individuare altrettanti livelli a differenti caratteristiche meccanico-elastiche rappresentati da:

✓ primo sismo-strato, associabile a terreni mediamente addensati, caratterizzati da un valore della velocità delle onde primarie di circa **583 m/s**, con spessore variabile da 0.5 m nella porzione sud della stesa ad un massimo di 3.5 m nella porzione di nord;

✓ secondo sismo-strato, caratterizzato da buone caratteristiche meccaniche evidenziate da un aumento delle velocità di propagazione delle onde sismiche primarie ($V_p=1073$ m/s), e spessore medio di 8 m circa;

✓ terzo sismo-strato, identificato da una superficie superiore sub-orizzontale, dove si è osservato un ulteriore miglioramento delle proprietà meccaniche indicate da un incremento del valore delle V_p (1794 m/s), avente spessore teorico infinito.

In figg. 6 e 7 vengono riportate le dromocrone originali e traslate del profilo sismico R2, relative ai primi arrivi delle onde di tipo P, ricavate dalle analisi dei dati, mentre, in fig. 8 viene riportata la sezione sismo-stratigrafica ottenuta dal modello interpretativo 2D.



Foto 10: Stendimento R2

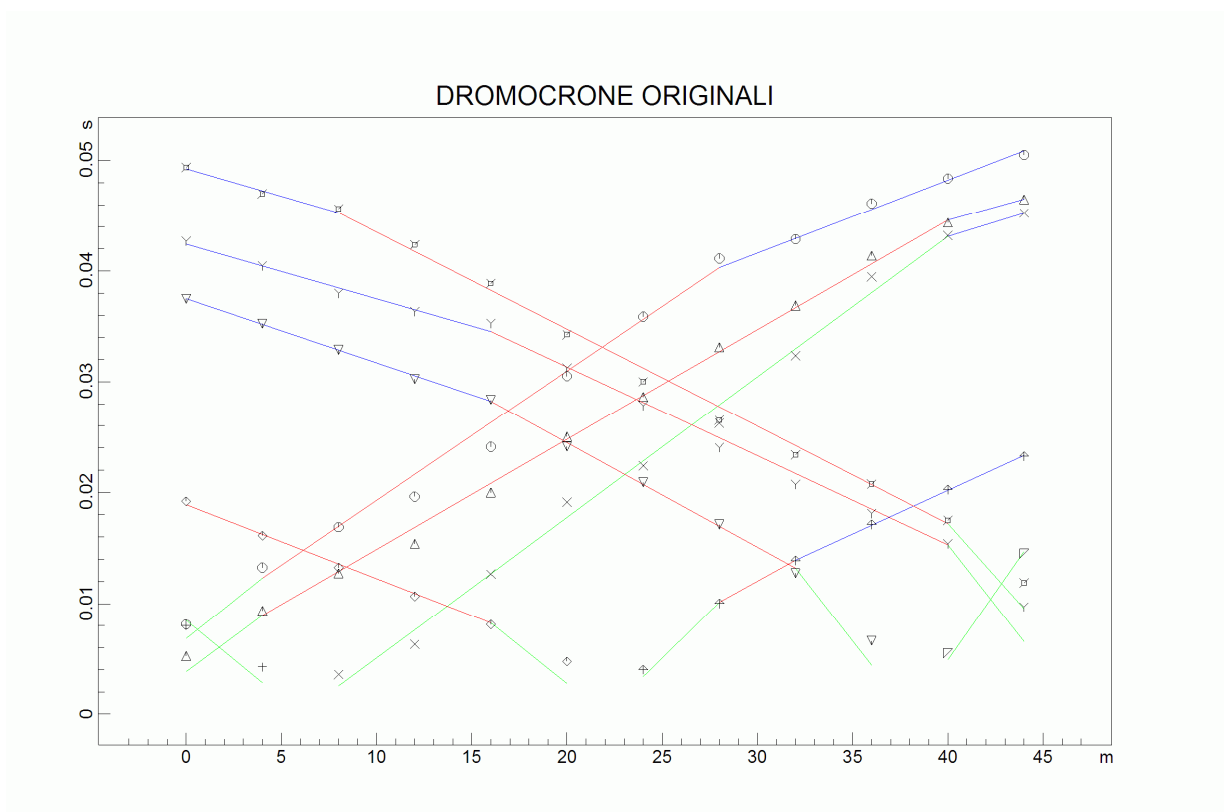


Fig. 6: Dromocrone originali del profilo sismico R2

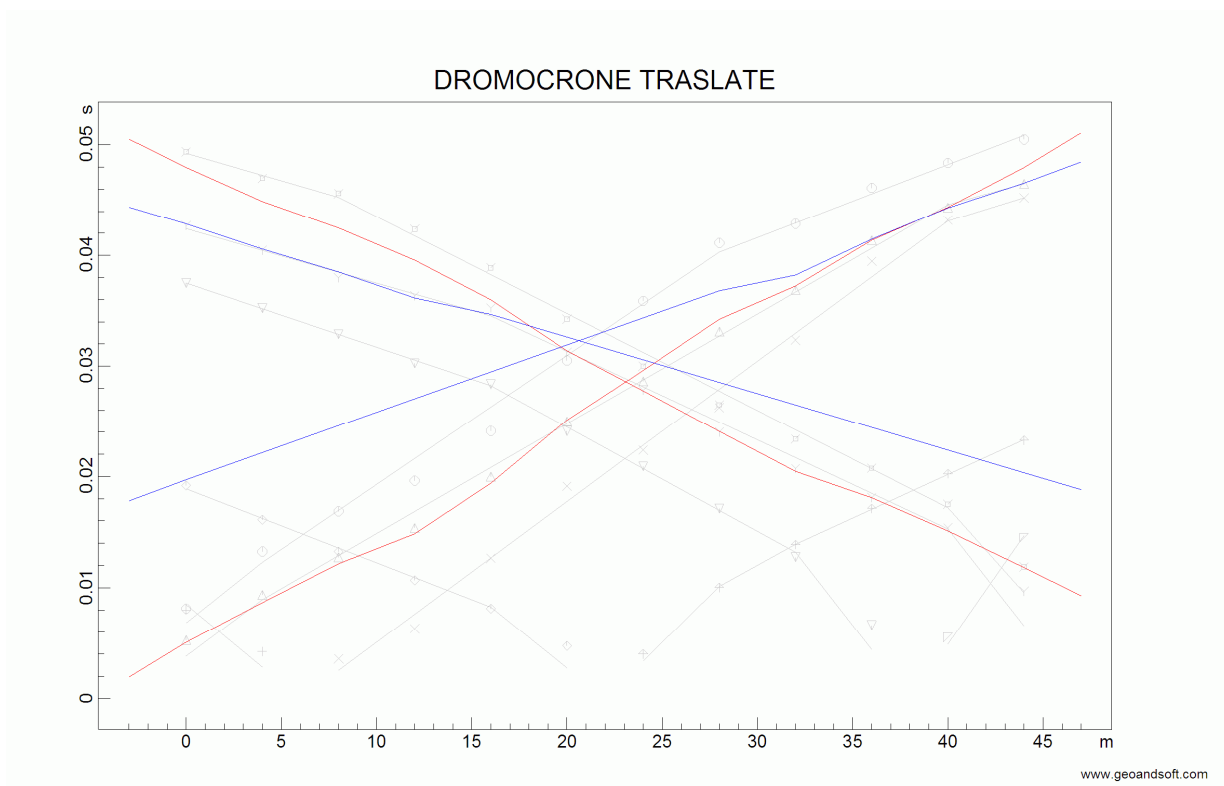


Fig. 7: Dromocrone traslate del profilo sismico R2

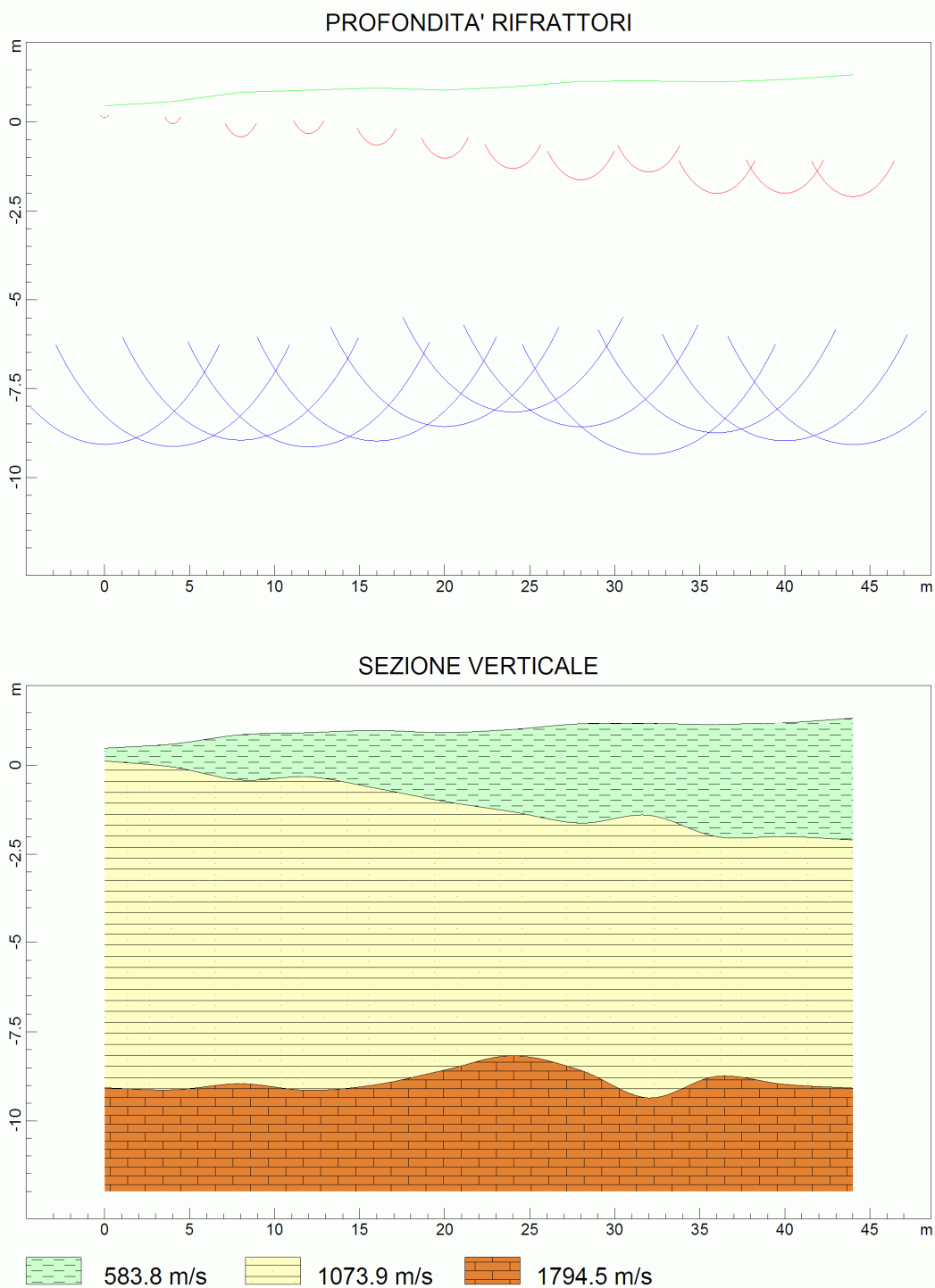


Fig. 8: Modello interpretativo del profilo sismico R2, relativo alla velocità di propagazione delle onde P, rappresentato attraverso cerchi di profondità e curve.

Di seguito vengono riportate la tabella dei tempi dei primi arrivi delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite (tab. 5), e la tabella riassuntiva dei sismostrati riscontrati (tab. 6) lungo il profilo sismico R2.

Tabella 5 – Tempi di primo arrivo delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite, relativi al profilo sismico R2.

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da - 5 [ms]	FBP da - 3 [ms]	FBP da 6 [ms]	FBP da 22 [ms]	FBP da 38 [ms]	FBP da 47 [ms]	FBP da 49 [ms]
1	0.00	0.48	8.13	5.25	8.00	19.20	37.50	42.70	49.38
2	4.00	0.60	13.25	9.38	4.25	16.13	35.25	40.47	47.00
3	8.00	0.86	16.88	12.75	3.58	13.25	32.88	37.99	45.63
4	12.00	0.92	19.63	15.38	6.30	10.67	30.25	36.33	42.38
5	16.00	0.98	24.11	20.00	12.67	8.11	28.38	35.26	38.88
6	20.00	0.92	30.50	25.00	19.11	4.75	24.11	31.24	34.25
7	24.00	1.01	35.88	28.63	22.39	4.00	20.91	27.81	30.00
8	28.00	1.17	41.13	33.13	26.24	10.03	17.13	24.02	26.50
9	32.00	1.18	42.88	36.88	32.35	13.88	12.75	20.71	23.38
10	36.00	1.15	46.13	41.38	39.47	17.13	6.63	18.11	20.75
11	40.00	1.22	48.38	44.37	43.20	20.25	5.50	15.38	17.50
12	44.00	1.35	50.50	46.51	45.24	23.25	14.50	9.70	11.88

Tabella 6 – Velocità dei sismostrati riscontrati lungo il profilo sismico R2.

N. Strato	Velocità [m/s]
1	583.8
2	1073.9
3	1794.5

Profilo Sismico R3

La stesa sismica **R3** è stata disposta longitudinalmente al versante oggetto di studio, ubicando il primo geofono a monte ad una quota di circa 40 m *s.l.m.* e l'ultimo (n. 24) a valle ad una quota di circa 31 m *s.l.m.*, con azimut circa ESE-WNW (foto 11).

Il profilo sismico ottenuto, denominato **R3**, è stato interpretato con un modello generale a 2 strati che ha permesso di individuare altrettanti livelli a differenti caratteristiche meccanico-elastiche rappresentati da:

✓ primo sismo-strato, associabile a terreni mediamente addensati, caratterizzati da un valore della velocità delle onde primarie di circa **446 m/s**, con spessore medio di 0.5 m nella porzione sud della stesa ad un massimo di 3.5 m nella porzione di nord;

✓ secondo sismo-strato, caratterizzato da buone caratteristiche meccaniche evidenziate da un aumento delle velocità di propagazione delle onde sismiche primarie ($V_p=1073$ m/s), e spessore medio di 8 m circa;

In figg. 9 e 10 vengono riportate le dromocrone originali e traslate del profilo sismico R2, relative ai primi arrivi delle onde di tipo P, ricavate dalle analisi dei dati, mentre, in fig. 11 viene riportata la sezione sismo-stratigrafica ottenuta dal modello interpretativo 2D.



Foto 11: Stendimento R2

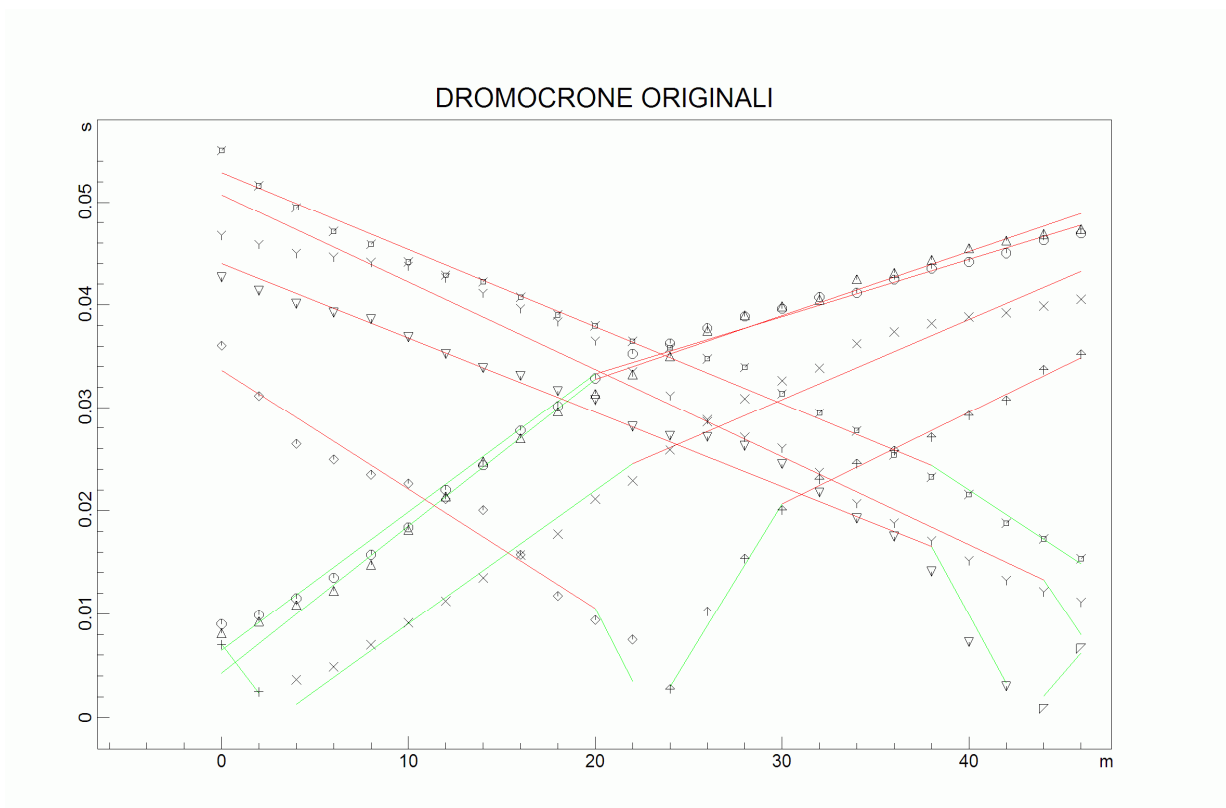


Fig. 9: Dromocrone originali del profilo sismico R3

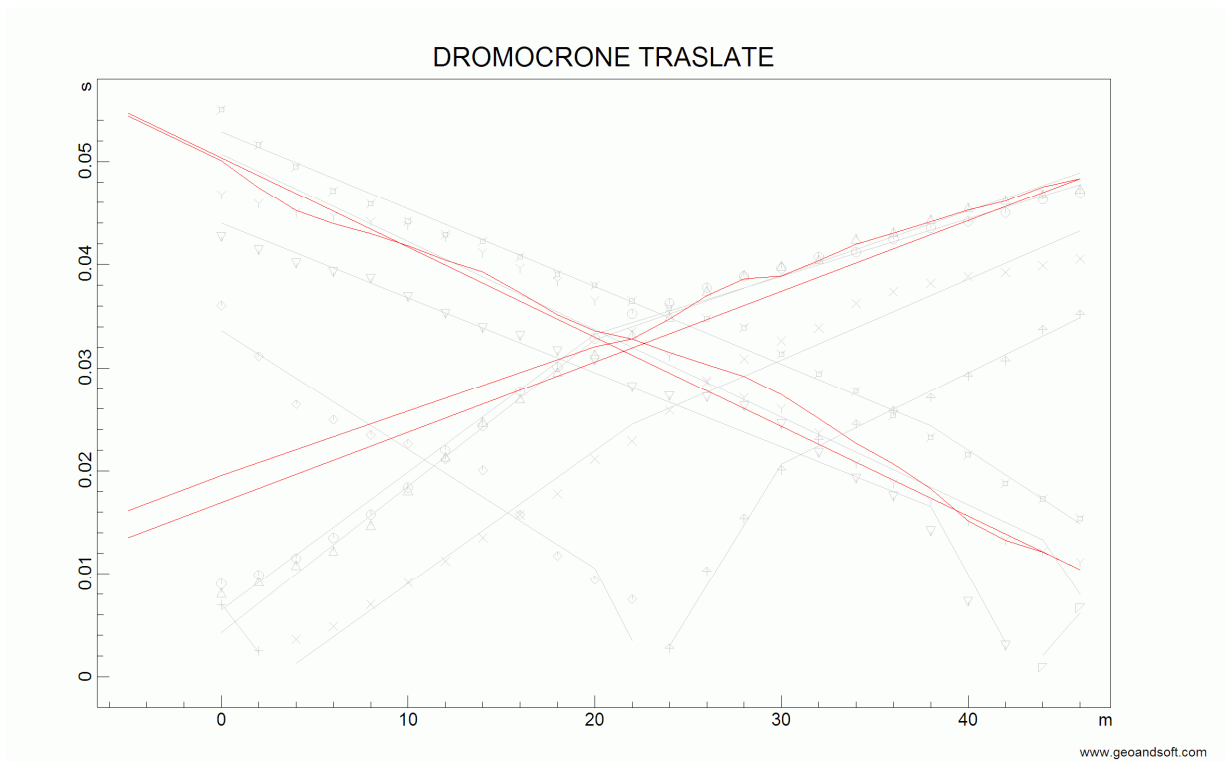


Fig. 10: Dromocrone traslate del profilo sismico R3

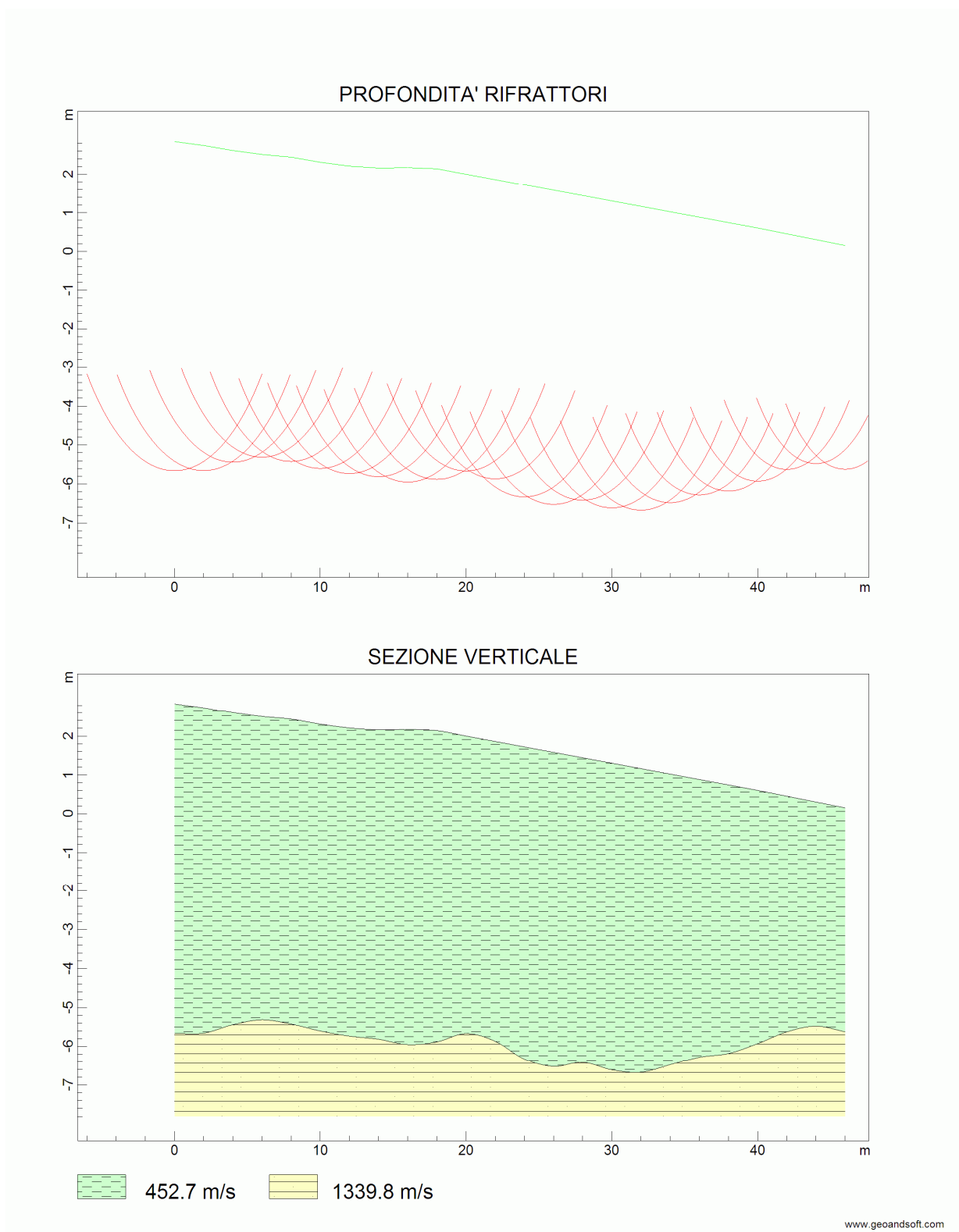


Fig. 11: Modello interpretativo del profilo sismico R3, relativo alla velocità di propagazione delle onde P, rappresentato attraverso cerchi di profondità e curve.

Di seguito vengono riportate la tabella dei tempi dei primi arrivi delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite (tab. 7), e la tabella riassuntiva dei sismostrati riscontrati (tab. 8).

Tabella 7 – Tempi di primo arrivo delle onde P rifratte criticamente, per tutte le energizzazioni eseguite, relativi al profilo sismicoR3.

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da -3 [ms]	FBP da 3 [ms]	FBP da 11 [ms]	FBP da 19 [ms]	FBP da 25 [ms]	FBP da 27 [ms]
N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da -3 [ms]	FBP da 3 [ms]	FBP da 23 [ms]	FBP da 43 [ms]	FBP da 49 [ms]	FBP da 51 [ms]
1	0.00	2.84	9.00	8.13	7.00	36.05	42.67	46.75	55.04
2	2.00	2.74	9.88	9.25	2.50	31.15	41.39	45.88	51.63
3	4.00	2.61	11.50	10.88	3.63	26.45	40.11	45.00	49.49
4	6.00	2.51	13.50	12.25	4.88	24.96	39.25	44.63	47.15
5	8.00	2.44	15.75	14.75	7.00	23.47	38.63	44.13	45.87
6	10.00	2.31	18.38	18.13	9.13	22.61	36.88	43.75	44.16
7	12.00	2.21	22.00	21.38	11.25	21.12	35.25	42.63	42.88
8	14.00	2.16	24.38	24.75	13.50	20.05	33.88	41.13	42.24
9	16.00	2.17	27.75	27.00	15.75	15.75	33.13	39.63	40.75
10	18.00	2.14	30.13	29.63	17.75	11.75	31.63	38.38	39.04
11	20.00	2.00	32.88	31.38	21.13	9.38	30.75	36.50	37.97
12	22.00	1.86	35.25	33.25	22.88	7.50	28.13	33.50	36.48
13	24.00	1.72	36.25	35.00	25.88	2.75	27.25	31.15	35.84
14	26.00	1.58	37.75	37.50	28.63	10.24	27.13	28.80	34.77
15	28.00	1.44	38.88	39.00	30.88	15.36	26.25	27.09	33.92
16	30.00	1.30	39.63	39.88	32.63	20.05	24.50	26.03	31.36
17	32.00	1.16	40.75	40.50	33.88	23.04	21.75	23.68	29.44
18	34.00	1.02	41.17	42.50	36.25	24.53	19.25	20.69	27.73
19	36.00	0.88	42.45	43.13	37.38	25.81	17.50	18.77	25.39
20	38.00	0.74	43.52	44.38	38.19	27.09	14.13	17.07	23.25
21	40.00	0.60	44.16	45.50	38.83	29.23	7.25	15.15	21.55
22	42.00	0.45	45.01	46.25	39.25	30.72	3.00	13.25	18.77
23	44.00	0.30	46.29	46.88	39.89	33.71	0.85	12.13	17.28

Tabella 8 – Velocità dei sismostrati riscontrati lungo il profilo sismico R1.

N. Strato	Velocità [m/s]
1	452.7
2	1339.8

5.4.2 Indagine sismica MASW (onde di Rayleigh):

Le indagini sismiche di tipo MASW, sono state realizzate al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_S) e quindi classificare dal punto di vista sismico il sottosuolo di fondazione.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello medio che ci consente di valutare il V_{S30} (La velocità equivalente delle onde di taglio) che viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

V_i : velocità delle onde S dello strato i-esimo

h_i : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati presenti nei primi 30 metri

Occorre puntualizzare che il parametro V_{S30} non è una semplice media aritmetica delle velocità dei singoli strati, ma è una velocità "equivalente" nei primi 30 m di profondità.

Le analisi di tipo MASW, sono state realizzate lungo diversi allineamenti sismici (M1, M2, M3, M4, M5) distribuiti omogeneamente nell'area progettuale con direzioni e lunghezze varie. Lungo ciascuno allineamento sismico realizzato sono stati disposti e collegati in serie 12 geofoni monocomponenti verticali da 4.5 HZ, con distanza intergeofonica varia.

Le caratteristiche geometriche dei vari stendimenti sono riportate in tabella 9.

Tabella 9 – Caratteristiche geometriche degli stendimenti sismici M1, M2, M3, M4, M5

Profilo sismico	Tipo di indagine	Lunghezza totale (m)	Numero geofoni (4.5 Hz)	Posizione I geofono (m)	Posizione ultimo geofono (m)	Interdistanza a tra i geofoni (m)
M1	MASW	54	12	5	49	4
M2	MASW	54	12	5	49	4
M3	MASW	32	12	5	28	2
M4	MASW	54	12	5	49	4
M5	MASW	43	12	5	43	3

Dall'analisi dello spettro di velocità delle onde sismiche e dall'inversione della curva di dispersione, attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi), si è andati a determinare il V_{S30} delle litologie interessate dagli stendimenti.

Di seguito si riportano le risultanze dei singoli sondaggi eseguiti.

Profilo Sismico M1

Il sondaggio sismico denominato M1 è stato realizzato nell'aiuola antistante le mura sud del cimitero monumentale (foto 12). Il set di dati utilizzato per l'analisi di tipo MASW e la curva di dispersione ottenuta (con il relativo picking del modo fondamentale) sono mostrati in figura 12. L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando una modellistica a 6 strati. La tabella n. 10 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti i 6 strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.



Foto 12: Stendimento sismico M1

		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato	VI strato
MODELLO MEDIO	VS (m/s)	255	313	450	475	721	901
	Spessore (m)	2.8	1.8	5.6	6.1	7.1	--

Tabella 10 – Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori determinati attraverso l'analisi di tipo MASW, utilizzando una modellistica a 6 strati.

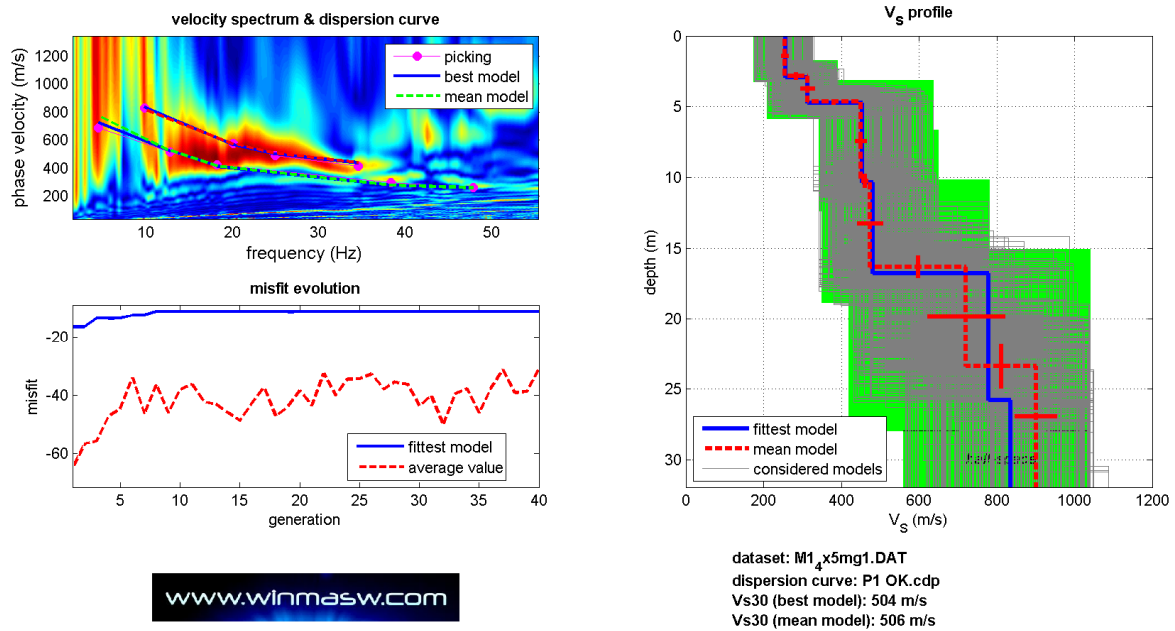


Figura 12 – Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde S, ottenuto per il profilo sismico M1 con metodo MASW. In verde è indicato lo spazio di ricerca adottato, nell’ambito del quale l’algoritmo identifica la soluzione ottimale, che meglio approssima il dato osservato.

In funzione del modello medio delle V_s , sotto si riporta la colonna sismo-stratigrafica del terreno con le rispettive velocità delle onde di taglio e gli spessori sismo-stratigrafici (fig. 13), precisando che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d’acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismo-stratigrafici coincidono con gli spessori litologici. Essi possono influenzare, a volte fortemente, i valori della velocità delle onde di taglio.

La colonna sismo-stratigrafica dei luoghi ottenuta indica che:

- fino ad una profondità 4.6 m da p.c., sono stati riscontrati sismo-strati mediamente addensati essendo caratterizzati da $V_s = 255 - 313 \text{ m/s}$;
- la velocità delle onde S aumenta nel terzo sismo-strato con uno spessore di 5.6 m circa ed una velocità V_s pari a 450 m/s, testimoniando un miglioramento delle caratteristiche meccanico

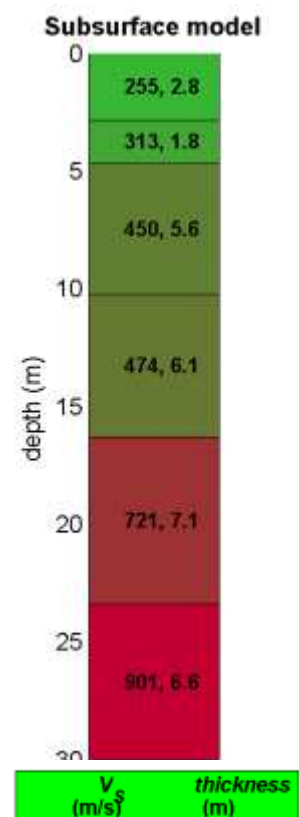


Figura 13: Colonna sismo stratigrafica risultato del MASW M1

- elastiche, passando da condizioni di suolo mediamente compatto a molto compatto;
- nel quarto sismo-strato individuato, con uno spessore di circa **6 m**, si osserva un ulteriore incremento delle **Vs** che raggiungono il valore di **474 m/s**, permanendo condizioni di suolo molto compatto e fortemente addensato;
 - nel quinto sismo-strato, pervenuto alla profondità di **16 m** circa le velocità delle **Vs** raggiungono valori di **721 m/s**, confermando un trend di miglioramento delle condizioni di compattezza ed addensamento con la profondità;
 - nel sesto ed ultimo sismostrati, individuato alla profondità di **24 m** da p.c., si osserva un cospicuo incremento delle **Vs** che raggiungono valori di **900 m/s**, che indicano la presenza di una formazione litoide, sismicamente rigida.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello con un valore di **V_{S30}** pari a **506 m/s**.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008, utilizzando come riferimento il modello medio, il tipo di suolo ricade nella: **Categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).**

Profilo Sismico M2

La stesa sismica M2 è stata realizzata lungo l'impiuvio che attraversa l'area di progetto (foto 13).



Foto 13: Stendimento sismico M2

Il set di dati utilizzato per l'analisi di tipo MASW del profilo sismico M2 e la curva di dispersione ottenuta (con il relativo picking del modo fondamentale) sono mostrati in figura 14. L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando una modellistica a 6 strati.

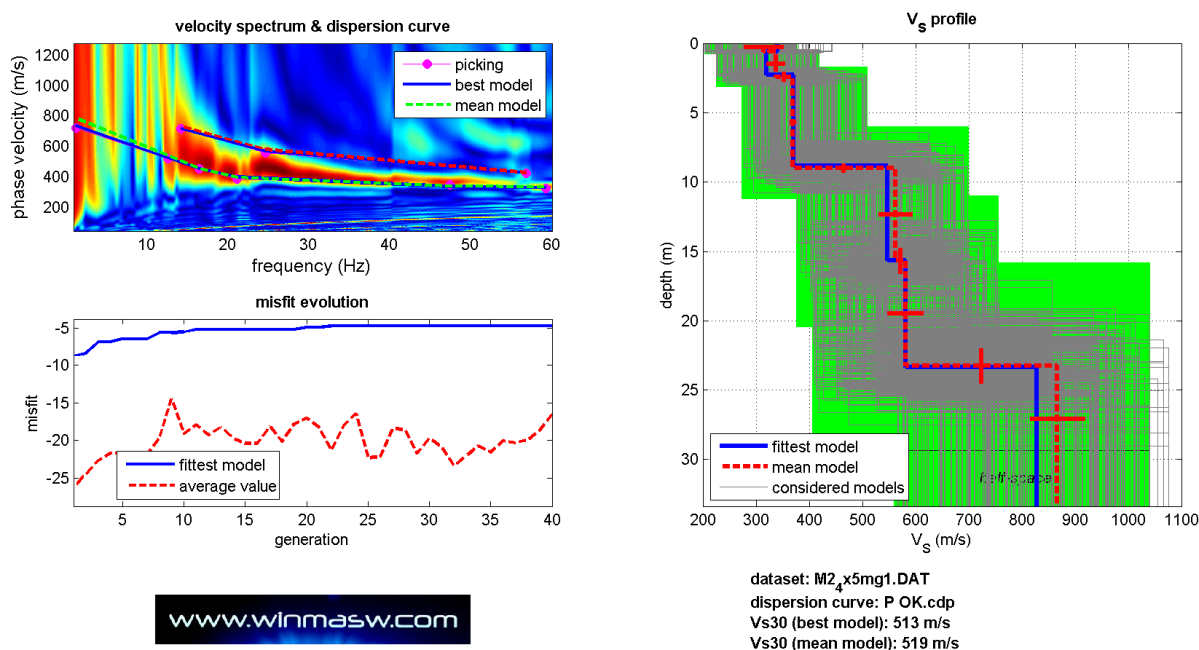


Figura 14 – Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde S, ottenuto per il profilo sismico M2 con metodo MASW. In verde è indicato lo spazio di ricerca adottato, nell'ambito del quale l'algoritmo identifica la soluzione ottimale, che meglio approssima il dato osservato.

La tabella 11 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti i 6 strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.

		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato	VI strato
MODELLO MEDIO	VS (m/s)	315	377	369	562	581	867
	Spessore (m)	0.6	1.8	6.5	6.7	7.6	--

Tabella 11 – Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori determinati attraverso l'analisi di tipo MASW, utilizzando una modellistica a 6 strati.

In funzione del modello medio delle Vs, sotto si riporta la colonna sismo-stratigrafica del terreno con le rispettive velocità delle onde di taglio e gli spessori sismo-stratigrafici (fig. 15), precisando che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto

d'acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismo-stratigrafici coincidono con gli spessori litologici. Essi possono influenzare, a volte fortemente, i valori della velocità delle onde di taglio.

La colonna sismo-stratigrafica dei luoghi ottenuta indica che:

- fino ad una profondità 8.5 m da p.c., sono stati riscontrati sismo-strati mediamente addensati essendo caratterizzati velocità di propagazione delle onde trasversali di: $315 < V_s < 369$ m/s;
- la velocità delle onde S aumenta nel quarto sismo-strato con uno spessore di **6,7 m** circa ed una velocità V_s pari a **562 m/s**, testimoniando un miglioramento delle caratteristiche meccanico elastiche, passando da condizioni di suolo mediamente compatto a molto compatto;
- nel quinto sismo-strato individuato, con uno spessore di circa **6.7 m**, si osserva un lieve incremento delle V_s che raggiungono il valore di **581 m/s**, permanendo condizioni di suolo molto compatto e fortemente addensato;
- nel quinto sismo-strato, pervenuto alla profondità di **23 m** circa le velocità delle V_s raggiungono valori di **721 m/s**, confermando un trend di miglioramento delle condizioni di compattezza ed addensamento con la profondità;
- nel sesto ed ultimo sismostrati, pervenuto alla profondità di **23 m**, si osserva un cospicuo incremento delle V_s che raggiungono valori di **867 m/s**, che indicano la presenza di una formazione litoide, sismicamente rigida.

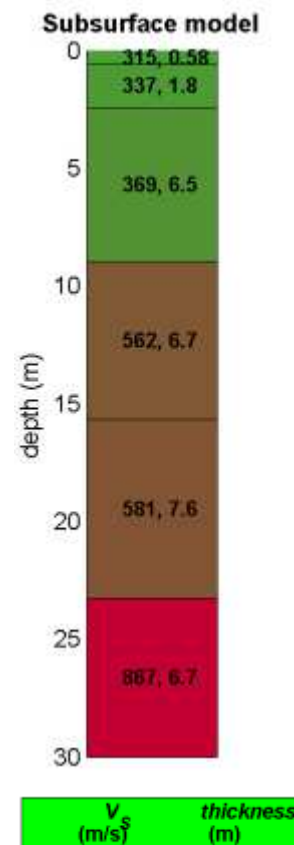


Figura 15: Colonna sismo stratigrafica risultato del MASW M2

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello con un valore di V_{s30} pari a **519m/s**.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008, utilizzando come riferimento il modello medio, il tipo di suolo ricade nella: **Categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).**

Profilo Sismico M3

La stesa sismica M3 è stata realizzata trasversalmente al pendio, ad una quota di circa 40 m s.l.m. (foto 14).

Il set di dati utilizzato per l'analisi di tipo MASW e la curva di dispersione ottenuta (con il relativo picking del modo fondamentale) sono mostrati in figura 16. L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando una modellistica a 6 strati. La tabella 12 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti i 6 strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.



Foto 14: Stendimento sismico M3

		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato	VI strato
MODELLO MEDIO	VS (m/s)	200	324	477	481	746	775
	Spessore (m)	1.1	7.9	2.7	4.4	8.4	--

Tabella 12 – Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori determinati attraverso l'analisi di tipo MASW, utilizzando una modellistica a 6 strati.

In funzione del modello medio delle Vs, sotto si riporta la colonna sismo-stratigrafica del terreno (fig. 17) con le rispettive velocità delle onde di taglio e gli spessori sismo-stratigrafici, precisando che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismo-stratigrafici coincidono con gli spessori litologici. Essi possono influenzare, a volte fortemente, i valori della velocità delle onde di taglio.

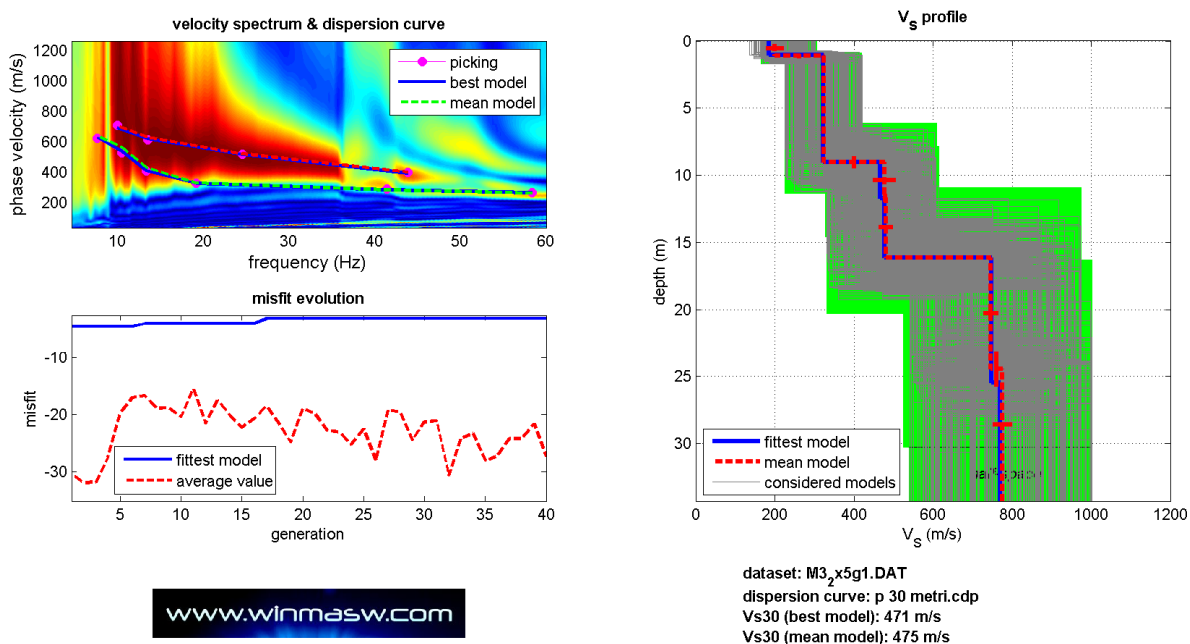


Figura 16 – Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde S, ottenuto per il profilo sismico M3 con metodo MASW. In verde è indicato lo spazio di ricerca adottato, nell'ambito del quale l'algoritmo identifica la soluzione ottimale, che meglio approssima il dato osservato.

La colonna sismo-stratigrafica dei luoghi ottenuta indica che:

- fino ad una profondità 9 m da p.c., sono stati riscontrati sismo-strati mediamente addensati essendo caratterizzati da $V_s = 200\text{-}324$ m/s;
- la velocità delle onde S aumenta nel terzo e quarto sismo-strato, individuato con uno spessore complessivo di 7 m circa ed una velocità V_s pari a circa 480 m/s, testimoniando un miglioramento delle caratteristiche meccanico elastiche, passando da condizioni di suolo mediamente compatto a molto compatto;
- nel quinto sismo-strato, individuato alla profondità di 16 m dal p.c. si osserva un cospicuo incremento delle V_s che raggiungono il valore di 746 m/s, passando da condizioni di suolo molto compatto e fortemente addensato, a condizioni di suolo litoide, parzialmente alterato;
- nel sesto ed ultimo sismostrati, individuato alla profondità di 25 m dal p.c., si osserva un ulteriore, anche se lieve, incremento delle V_s che raggiungono valori di 775 m/s, che indicano la presenza di una formazione litoide, sismicamente rigida.

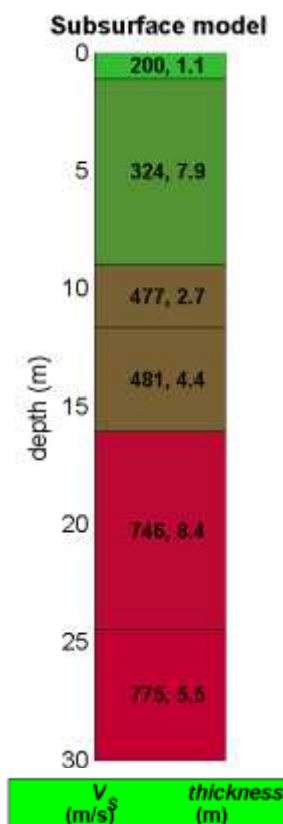


Figura 17: Colonna sismo stratigrafica risultato del MASW M3

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello con un valore di V_{S30} pari a **475 m/s**.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008, utilizzando come riferimento il modello medio, il tipo di suolo ricade nella: **Categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).**

Profilo Sismico M4

La stesa sismica **M4** è stata anch'essa realizzata trasversalmente al pendio ad una quota di circa 31 m s.l.m. (foto 15).

Il set di dati utilizzato per l'analisi di tipo MASW del profilo sismico **M4** e la curva di dispersione ottenuta (con il relativo picking del modo fondamentale) sono mostrati in figura 18. L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando una modellistica a 6 strati.

La tabella 13 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti i 6 strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.



Foto 15: Stendimento sismico M4

Tabella 13 – Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori determinati attraverso l'analisi di tipo MASW, utilizzando una modellistica a 6 strati.

		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato	VI strato
MODELLO MEDIO	VS (m/s)	238	265	481	489	684	731
	Spessore (m)	1.0	1.3	2.6	5.0	8.1	--

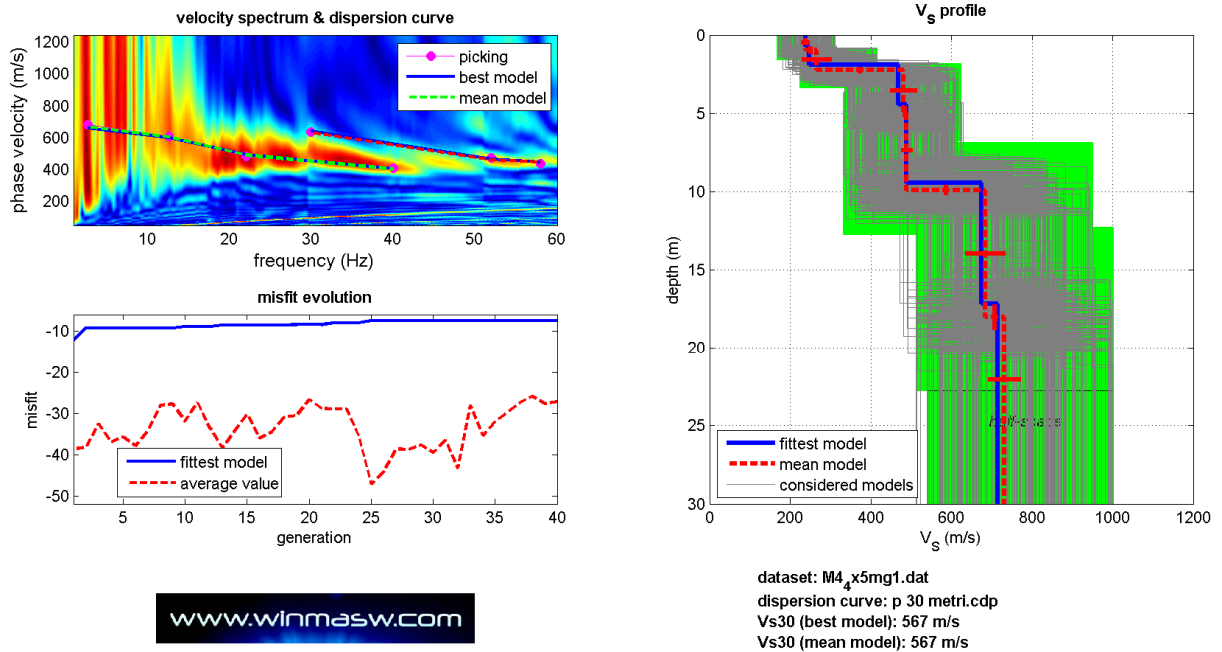


Figura 18 – Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde S, ottenuto per il profilo sismico M4 con metodo MASW. In verde è indicato lo spazio di ricerca adottato, nell’ambito del quale l’algoritmo identifica la soluzione ottimale, che meglio approssima il dato osservato.

In funzione del modello medio delle Vs, sotto si riporta la colonna sismo-stratigrafica del terreno con le rispettive velocità delle onde di taglio e gli spessori sismo-stratigrafici (fig. 19), precisando che, a causa della variazione dei parametri fisico-meccanici (porosità, contenuto d’acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismo-stratigrafici coincidono con gli spessori litologici. Essi possono influenzare, a volte fortemente, i valori della velocità delle onde di taglio.

La colonna sismo-stratigrafica dei luoghi ottenuta indica che:

- fino ad una profondità di circa 2.5 m da p.c., sono stati riscontrati sismo-strati mediamente addensati essendo caratterizzati velocità di propagazione delle onde trasversali di: $238 < V_s < 265$ m/s;
- la velocità delle onde S aumenta nel terzo e quarto sismo-strato con uno spessore complessivo di 7.5 m circa ed una velocità Vs di 480-490 m/s, testimoniando un miglioramento delle caratteristiche

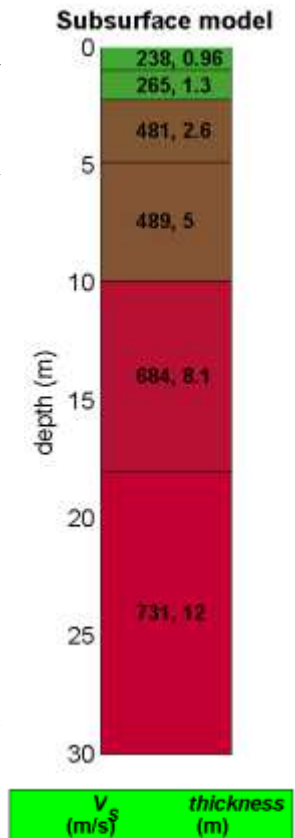


Figura 19: Colonna sismo stratigrafica risultato del MASW M4

meccanico elastiche, passando da condizioni di suolo mediamente compatto a molto compatto;

- nel quinto sismo-strato, pervenuto alla profondità di **9 m** circa, si osserva un cospicuo incremento delle Vs che raggiungono valori di **690 m/s**, che indicano la presenza di una formazione litoide parzialmente alterata.
- nel sesto ed ultimo sismostrati, si osserva un ulteriore incremento delle Vs che raggiungono valori di **731 m/s** (formazione litoide parzialmente alterata).

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello con un valore di Vs₃₀ pari a **567m/s**.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008, utilizzando come riferimento il modello medio, il tipo di suolo ricade nella: **Categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).**

Profilo Sismico M5

La stesa sismica M5 è stata realizzata nell'area dell'attuale parcheggio ubicato nella porzione orientale dell'area progettuale, ad una quota di circa 50 m s.l.m. (foto 16).

Il set di dati utilizzato per l'analisi di tipo MASW e la curva di dispersione ottenuta (con il relativo picking del modo fondamentale) sono mostrati in figura 20. L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando una modellistica a 6 strati. La tabella 14 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti i 6 strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.

Tabella 14 – Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori determinati attraverso l'analisi di tipo MASW, utilizzando una modellistica a 6 strati.

		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato	VI strato
MODELLO MEDIO	VS (m/s)	448	420	441	495	627	749
	Spessore (m)	3.1	3.0	4.7	16.6	9.6	--



Foto 16: Stendimento sismico M5

In funzione del modello medio delle V_s , sotto si riporta la colonna sismo-stratigrafica del terreno (fig. 21) con le rispettive velocità delle onde di taglio e gli spessori sismo-stratigrafici, precisando che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismo-stratigrafici coincidono con gli spessori litologici. Essi possono influenzare, a volte fortemente, i valori della velocità delle onde di taglio.

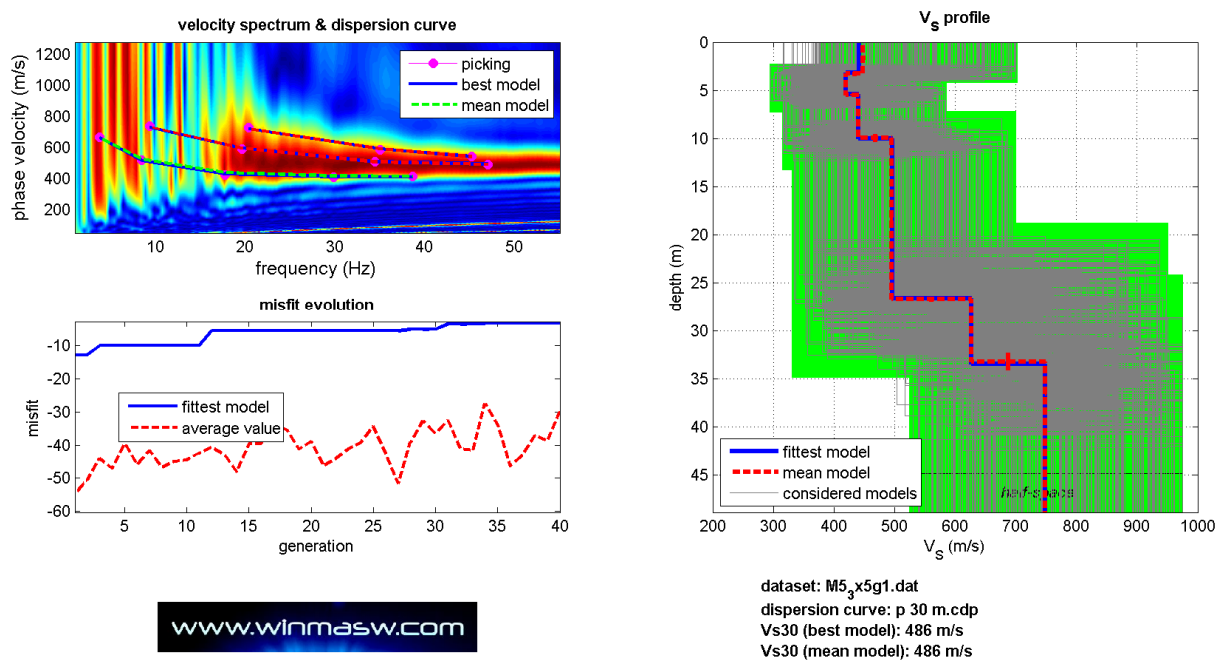


Figura 20 – Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde S, ottenuto per il profilo sismico M5 con metodo MASW. In verde è indicato lo spazio di ricerca adottato, nell'ambito del quale l'algoritmo identifica la soluzione ottimale, che meglio approssima il dato osservato.

La colonna sismo-stratigrafica dei luoghi ottenuta indica che:

- fino ad una profondità 26 m da p.c., sono stati riscontrati sismo-strati compatti molto addensati essendo caratterizzati da velocità di propagazione delle onde di taglio comprese tra 420 m/s e 495 m/s ($420\text{m/s} < V_s < 495\text{ m/s}$) molto compatto e fortemente addensato. In tale profilo sismostratigrafico gioca un ruolo importante la sottopavimentazione dell'area a parcheggio.
- la velocità delle onde S aumenta sensibilmente alla profondità di 26 m circa dal p.c. dove le V_s raggiungono valori di **627 m/s**, testimoniando un miglioramento delle caratteristiche meccanico-elastiche, passando da condizioni di suolo molto compatto e fortemente addensato, a condizioni di suolo litoide, parzialmente alterato.
- nel sesto ed ultimo sismostrati, individuato alla profondità di **34 m** dal p.c., si osserva un ulteriore, incremento delle V_s che raggiungono valori di **749 m/s** (formazione litoide sismicamente rigida).

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare, un modello con un valore di V_{s30} pari a **486 m/s**.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008, utilizzando come riferimento il modello medio, il tipo di suolo ricade nella: **Categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250\text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).**

5.4.3 Misure di Microtremore- HVSR:

L'acquisizione è stata condotta in n. 3 stazioni di misura che sono state scelte sulla base della distribuzione omogenea sia areale che nelle diverse situazioni geologico-stratigrafiche e topografiche allo scopo di ottenere una casistica più completa possibile (vedi planimetria ubicazione indagini).

Nella foto seguente (Foto 17) vengono riportati i momenti di acquisizione del dato nella stazione di misura H/V1, H/V2 e H/V3.

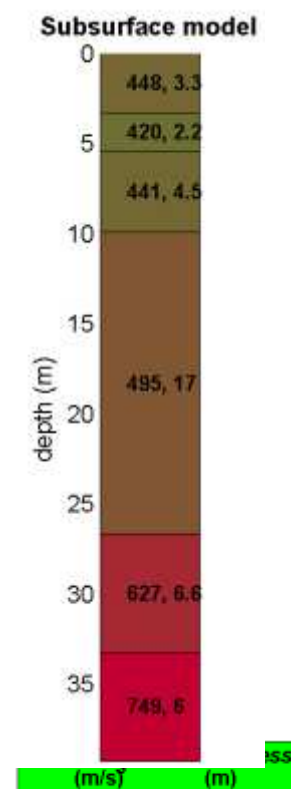


Figura 21: Colonna sismo stratigrafica risultato del MASW M5



Foto 17 – Punto di acquisizione H/V1 (a sinistra), H/V2 (in alto a destra) e H/V3 (in basso a destra)

Le operazioni eseguite per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati vengono di seguito elencate:

1. Il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di oltre 30 minuti;
2. E' stato orientato l'asse E-W parallelamente alle isoipse;
2. Sono stati rimossi manualmente i transienti;
3. La traccia risultante è stata suddivisa in finestre temporali della durata di 20 sec. ;
4. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
5. Per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale
6. Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Le curve HVSR e gli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e verticale) relativi ai 3 punti di misura sono riportate nelle figure n. 22, 23 e 24.

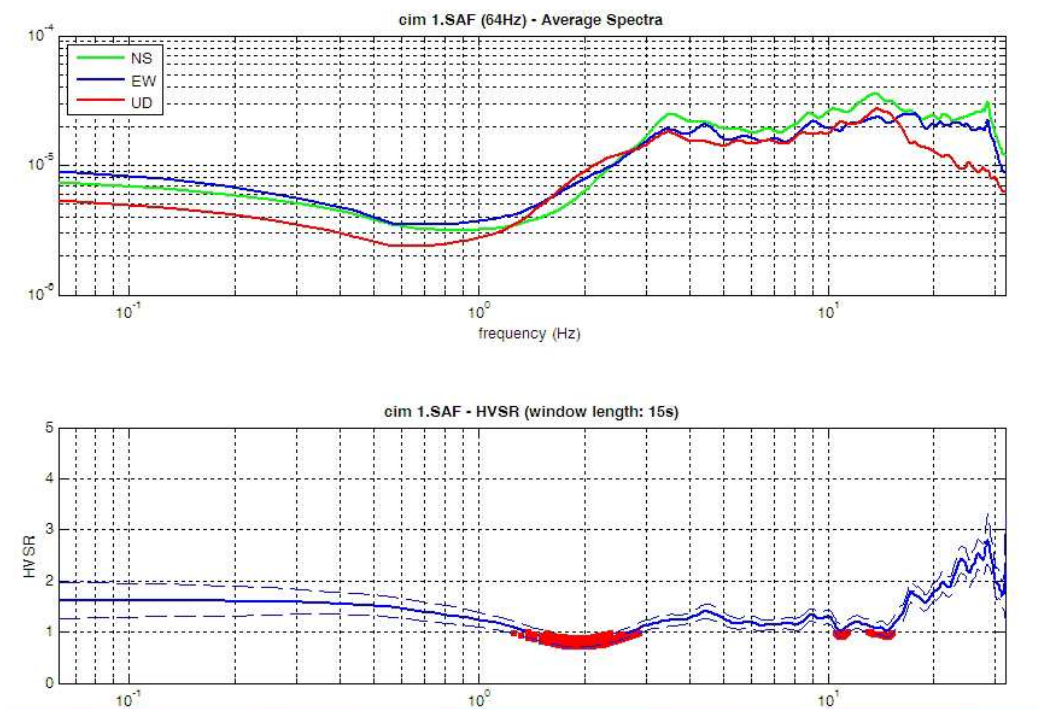


Fig. 22: H/V1 - HVSR e spettri medi d'ampiezza delle singole componenti per il sito 1

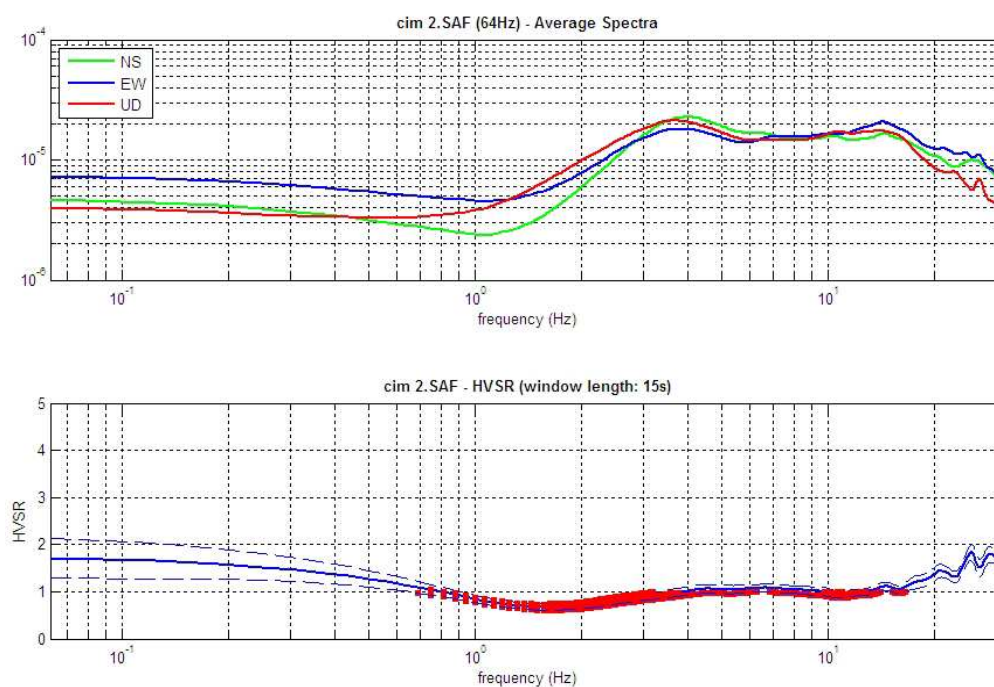


Fig. 23: H/V2- HVSR e spettri medi d'ampiezza delle singole componenti per il sito 2

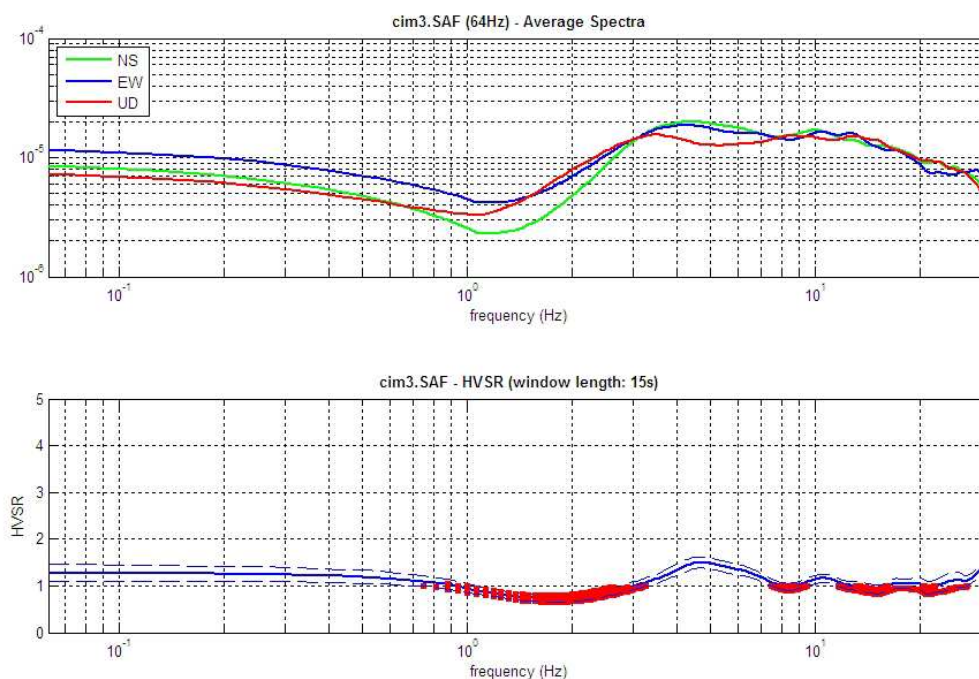


Fig. 24: H/V3- HVSR e spettri medi d'ampiezza delle singole componenti per il sito 3

Sono state osservate le raccomandazioni proposte dal S.E.S.A.M.E. (Site EffectS assessment using Ambient Excitations) sia sul metodo di acquisizione che sull'interpretazione delle misure H/V (<http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/index.htm>).

In tutte le tre prove HVSR eseguite il computo dei criteri SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti) ha confermato la genuinità della prova svolta, come di seguito illustrato.

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/Lw]$: $20.0 > 0.66667$ (OK)

#2. $[nc > 200]$: $58013 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Le curve HVSR, generate in post elaborazione, risultano affidabili in quanto i tre criteri di affidabilità sono soddisfatti.

In tutte i tre siti in cui è stata svolta la prova, non si registra la presenza di un picco H/V all'interno dell'intervallo di interesse ingegneristico (5-20 Hz), ciò sta ad indicare l'assenza di una possibile **frequenza di risonanza di sito** e quindi l'assenza di un contrasto d'impedenza sismica nel sottosuolo.

Il comportamento delle curve H/V è riconducibile ad un sottosuolo in cui, le velocità di propagazione delle onde sismiche aumentano con la profondità in modo graduale. Così come documentato, nei precedenti capitoli, in occasione delle analisi delle prove tipo MASW.

5.4.4 Tomografia Elettrica Multielettrodo (ERT)

Tomografia Elettrica E1

Essa è stata realizzata con una stesa di 32 elettrodi (picchetti in acciaio inox), con una distanza interelettrodica di 1,5 metri, per una copertura superficiale complessiva di 46,5 metri ed una profondità di indagine di circa 9 metri. Array elettrodico utilizzato tipo Wenner-Schlumberger, le cui caratteristiche d'indagine risultano utili allo scopo.

La stesa è stata disposta posizionando il picchetto "1" ad ovest mentre il picchetto 32 (ultimo) è stato posto ad est, con direzione parallela al muro di cinta sud dell'attuale cimitero Monumentale; all'interno dell'area adibita ad aiuola e per tanto in corrispondenza del suolo vegetale in essa contenuto.

Dall'interpretazione eseguita sono stati osservati valori di resistività variabili tra un minimo di 30 ohm*m e un massimo di 200 ohm*m (fig. 25), tale range di valori risulta essere compatibile con i litotipi presenti in tale porzione e precedentemente descritti. Inoltre si registra una netta variazione di resistività alla profondità di circa 5 metri, tale modello risulta così convergente con quello derivante dalle interpretazioni delle prove sismiche, precedentemente illustrate, dando prova della genuinità delle indagini. Dai dati ottenuti non si ipotizza la presenza di falda freatica, la zona con valori di resistività (da 30 a 60 ohm*m) più bassi corrispondono all'umidità contenuta nella frazione più fine delle alluvioni rinvenute nell'area indagata.

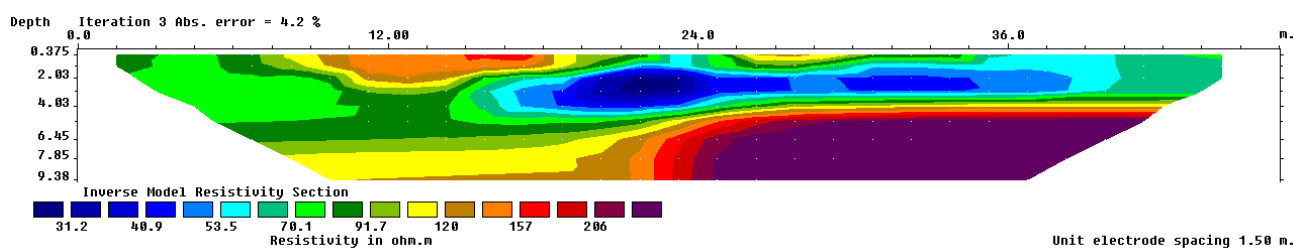


Fig. 25: Sezione tomografica ottenuta dalla interpretazione dei dati elettrici rilevati nella stesa E1

Tomografia Elettrica E2

Essa è stata realizzata con una stesa di 32 elettrodi (picchetti in acciaio inox), con una distanza interelettrodica di 2 metri, per una copertura superficiale complessiva di 62 metri ed una profondità di indagine di circa 12 metri. Array elettrodico utilizzato tipo Wenner-Schlumberger, le cui caratteristiche d'indagine risultano utili allo scopo.

La stesa è stata disposta posizionando il picchetto "1" ad ovest mentre il picchetto 32 (ultimo) è stato posto ad est, lungo il pendio leggermente inclinato verso ovest e sottostante l'area parcheggio orientale. Durante l'elaborazione dei dati è stato tenuto conto del fattore topografico, da cui scaturisce un dislivello di quota, tra gli estremi dello stendimento, pari a circa 3 metri.

Dall'interpretazione eseguita sono stati evidenziati valori di resistività variabili tra un minimo di 16 ohm*m e un massimo di 205 ohm*m (fig. 26). La variazione di resistività più marcata si registra alla profondità di circa 6 metri, dove avviene un considerevole aumento di resistività elettrica (da circa 50 a circa 200 ohm*m), dovuta probabilmente ad una variazione granulometrica la quale influisce sul contenuto di umidità naturale del terreno, come avviene per i terreni indagati in E1. Tale andamento mantiene un rapporto di subparallelismo con la superficie topografica, ad eccezione della porzione a quota più elevate (ad est) dove i litotipi più resistivi si rinvencono in corrispondenza della superficie topografica. Anche questo modello risulta così convergente con quello derivante dalle interpretazioni delle prove sismiche, precedentemente illustrate. Dai dati ottenuti non si evidenzia la presenza di falda freatica.

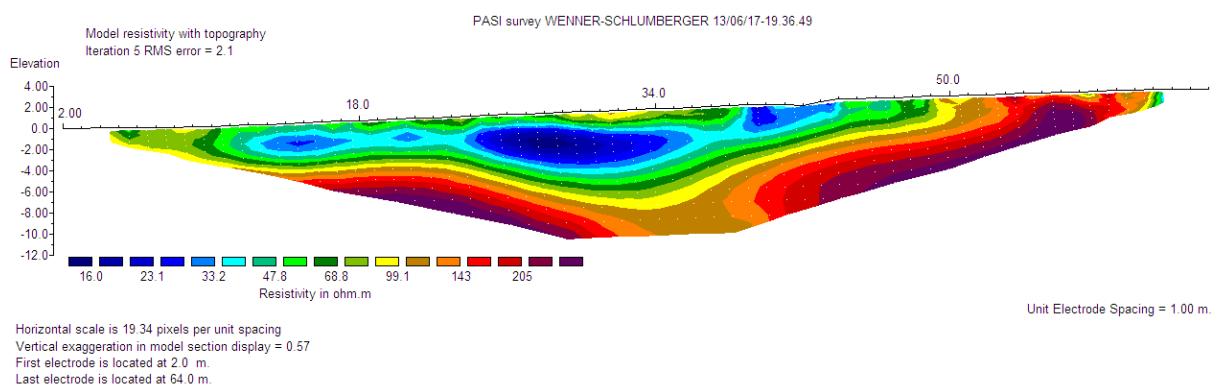


Fig. 26: Sezione tomografica ottenuta dalla interpretazione dei dati elettrici rilevati nella stesa E2

6.0 ANALISI DEI RISULTATI E CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

La ricostruzione dell'assetto geometrico e la ricostruzione della successione litostratigrafica dei terreni presenti è stata realizzata mediante una campagna di rilevamento geologico, tramite l'analisi di sezioni naturali e fronti di scavo situati nelle vicinanze, nonché mediante l'analisi dei dati ottenuti tramite le indagini geofisiche effettuate in situ e precedentemente illustrate. Si è fatto fede, inoltre, ad esperienze e conoscenze pregresse disponibili.

Nell'area di interesse progettuale sono stati rinvenuti depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sabbie limose di colore arancio giallastro con inclusioni di piccole dimensioni di spessore fortemente variabile da un minimo di 2 m in corrispondenza di **M4** ad un massimo di 9 m in corrispondenza di **M2** e **M3**, compatto mediamente addensato essendo caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde sismiche primarie (V_P) di **450-590 m/s** e da una velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali (V_S) di **310-360 m/s**, al disotto di una coltre di alterazione (terreno vegetale e/o terreno di riporto) anch'essa di spessore variabile (0.5-2.8 m) poco compatto di medio-basso stato di addensamento ($V_S < 250$ m/s). In corrispondenza del sondaggio sismico **M1** (aiuola alberata), si registra lo spessore massimo della coltre di alterazione pari a circa 2.8 metri, mentre diminuisce in corrispondenza dei sondaggi **M3** ed **M4** posti in pendio. In prossimità del sondaggio sismico **M5** ed **M2** invece, tale porzione risulta essere assente.

All'aumentare della profondità le condizioni di addensamento e conseguentemente le proprietà elasto-meccaniche dei depositi alluvionali terrazzati, migliorano notevolmente, si passa, infatti, da depositi prevalentemente sabbiosi mediamente addensati a depositi costituiti da ghiaia e ciottoli sub-arrotondati di varia natura (prevalentemente calcarea), con dimensioni medie comprese tra 1 e 30 cm, in matrice sabbio-limosa di colore giallastro, con tessitura grano sostenuta, che risultano molto compatti e fortemente addensati, essendo caratterizzati da valori di V_S compresi tra **420** e **580 m/s** e V_P compresi tra **1073-1339 m/s**. Tali depositi alluvionali, come confermato dalle risultanze geofisiche sismiche e geoelettriche, presentano, oltre ad una variabilità granulometrica e di compattazione verticale, una certa variabilità laterale.

Ai depositi alluvionali seguono in profondità, a quote variabili dal p.c. (vedi "sezioni geologico-tecniche" a pag. 69), litotipi caratterizzati da elevate velocità di propagazione delle onde sismiche: $V_P > 1700$ m/s e $V_S > 750$ m/s, velocità caratteristiche di litotipi compatti di consistenza litoide, quali le calcilutiti marnose appartenenti alla formazione Polizzi, che in

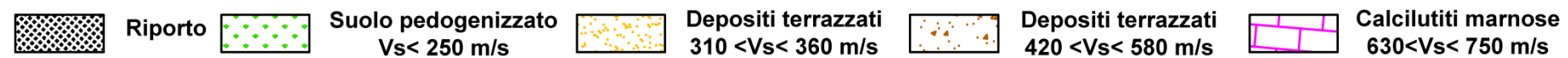
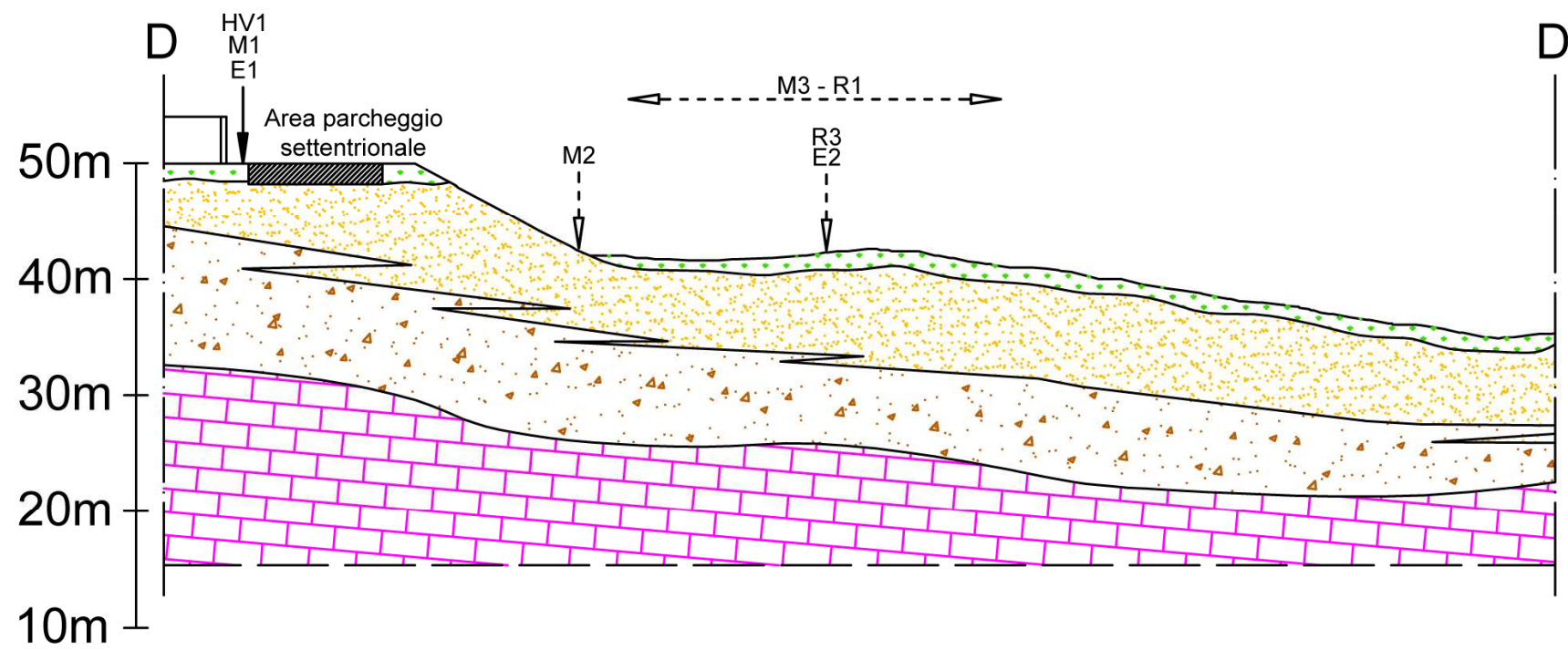
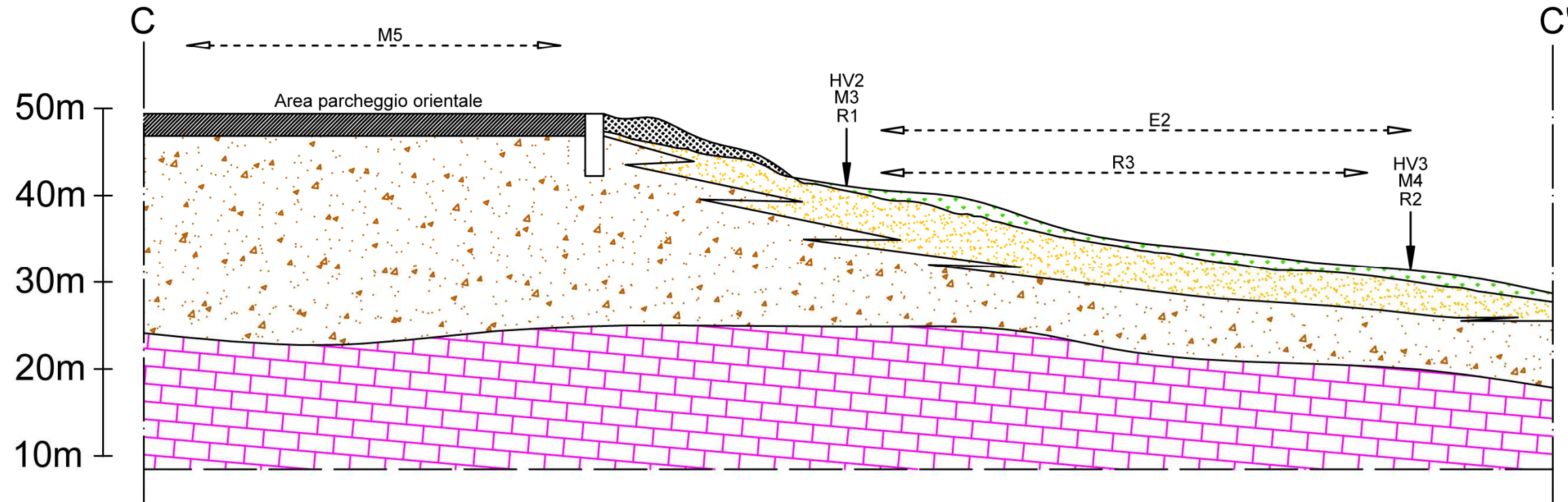
corrispondenza di M4 ed M5 risultano parzialmente alterate in superficie ($630 \text{ m/s} < V_s < 750 \text{ m/s}$).

Il modello geologico, appena descritto, viene esposto nelle "Sezioni geologico-tecniche" sotto riportate, le cui tracce di sezione sono riportate nella "carta geologica" (pag. 11) e nella "planimetria generale di progetto" (pag. 6).

Il substrato geologico, sede delle future opere di fondazione, gode di buone proprietà meccaniche esposte nella tabella seguente:

Terreno di fondazione (Depositi alluvionali terrazzati costituito da alternanza di ghiaie e sabbie più o meno addensate con frequenti interdigitazioni di limi sabbiosi, conglomerati più o meno sabbiosi e cementati). Valori medi.		
Parametro	Unità di misura	Valore
Coesione "c"	[KN/m ²]	10
Angolo di attrito "φ"	[°]	25
Peso dell'unità di volume "γ"	[KN/m ³]	19

Sezioni geologico-tecniche



7.0 PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Per la definizione della **pericolosità geologica** potenziale dell'area, oggetto di studio, sono stati presi in considerazione tutti quei fattori che influenzano la stabilità del versante, quali: l'acclività, la presenza di materiali gravitativamente instabili (falde di detrito di origine naturale e/o antropica), la presenza di materiali facilmente erodibili, la disomogeneità dei litotipi del substrato geologico, le zone di contatto tra rocce con diverse caratteristiche reologiche e la risposta sismica del sito.

Nell'area più a nord, in corrispondenza della paleofalesia (vedi carta geomorfologica a pag. 18), si palesano fenomeni di instabilità dei versanti, dove l'estrema eterogeneità del litotipo costituente il top del rilievo (terreni con estrema variabilità granulometrica, natura e forma), nonché la presenza degli accumuli antropici di discarica presenti lungo il versante ovest, congiuntamente all'elevata acclività del pendio, determinano potenziali fenomeni connessi al degrado per dissesto legato a crolli di masse eterogenee della coltre detritica superficiale.

Nell'area d'intervento, strettamente interessata dalle opere progettuali, non vi sono tracce di alcun tipo di pericolosità geologica legate a fenomeni di dissesto idrogeologico, come peraltro confermato dalla cartografia annessa al piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) dell'area d'interesse.

Si sottolinea, altresì, che nell'area in studio non è stata riscontrata la presenza di falda idrica che potrebbe interferire con le opere fondali delle costruende strutture, tuttavia, data la media permeabilità dei terreni rinvenuti in superficie (depositi alluvionali più o meno cementati), limitati alla base da litotipi impermeabili (calcilutiti marnose), potrebbe instaurarsi occasionalmente, in concomitanza di eventi piovosi eccezionali, una certa circolazione idrica in seno ai terrazzi, anche se di natura effimera.
























7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

La caratterizzazione e modellazione geologica del sito non può prescindere da una valutazione della pericolosità sismica del territorio, che costituisce l'elemento di conoscenza primaria per la determinazione dell' **azione sismica locale**.

La stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area, si basa su una analisi della pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

La **pericolosità sismica di base** è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area.

La storia sismica dell'area è stata ricostruita sulla base delle osservazioni disponibili nel Database Macrosismico Italiano (*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*) **DBMI15, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15** (Quaderni di Geofisica). Per il territorio di Termini Imerese sono disponibili diverse osservazioni, che vengono mostrate nella tabella sottostante in ordine temporale dal più antico al più recente.

Effetti		In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
3-4	 1726 09 01 21 55	Tirreno meridionale	8	7-8	5.48	
4	 1818 09 08 09 50	Monti Madonie	24	7-8	5.34	
5	 1819 02 24 23 20	Monti Madonie	24	7-8	5.37	
7	 1823 03 05 16 37	Sicilia settentrionale	107	8	5.81	
F	 1893 05 11 14 10 3	Isola di Ustica	15	5	4.59	
3	 1897 05 15 13 42 3	Tirreno meridionale	85	5	4.52	
7	 1906 09 11 19 03	Tirreno meridionale	9	7	5.02	
5	 1907 01 21 03 41	Tirreno meridionale	32	5	4.14	
4	 1908 12 28 04 20 2	Stretto di Messina	772	11	7.10	
2	 1910 01 25 08 27	Tirreno meridionale	34	5	4.48	
2	 1934 09 11 01 19	Sicilia centro-settentrionale	28	5-6	4.84	
6	 1940 01 15 13 19 2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29	
3	 1959 12 23 09 29	Piana di Catania	108	6-7	5.11	
5	 1968 01 15 01 33 0	Valle del Belice	15	8	5.37	
6-7	 1968 01 15 02 01 0	Valle del Belice	162	10	6.41	
F	 1971 02 03 04 53 3	Tirreno meridionale	12		4.57	
2	 1977 06 05 13 59	Monti Nebrodi	108	6-7	4.61	
4	 1990 12 13 00 24 2	Sicilia sud-orientale	304		5.61	
NF	 1993 06 26 17 47 5	Monti Madonie ?	47	6-7	4.92	
2-3	 1996 12 14 00 18 4	Monti Madonie	45	5	4.27	
5-6	 2002 09 06 01 21 2	Tirreno meridionale	132	6	5.92	
NF	 2005 11 03 09 19 0	Costa siciliana settentrionale	61	4-5	3.30	
3	 2005 11 21 10 57 4	Sicilia centrale	255		4.56	

Il seguente diagramma mostra la storia sismica dell'area.

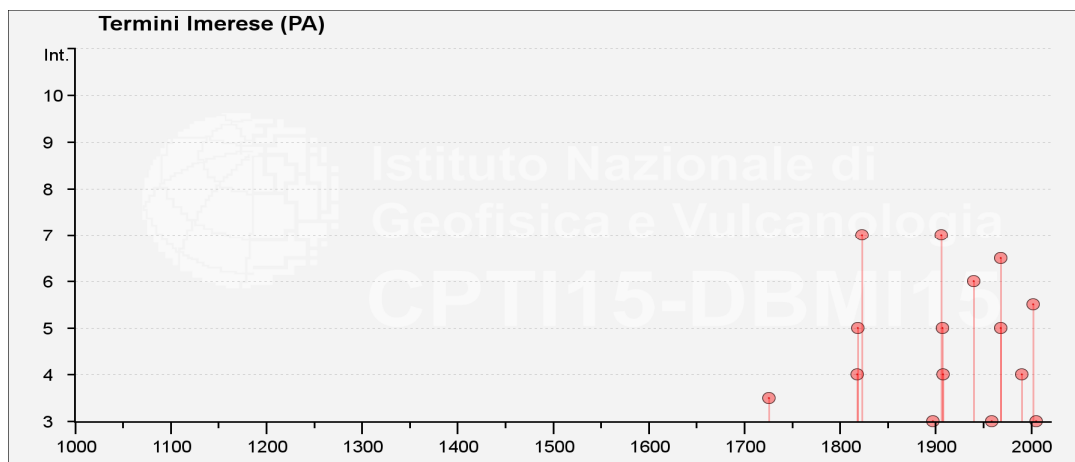


Diagramma della Storia Sismica

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 - "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" – il territorio del Comune di Termini Imerese risulta classificato come **Zona 2**.

Dal punto di vista della pericolosità sismica, il territorio comunale di Termini Imerese ricade all'interno della **Zona Sismogenetica (ZS9)** ed esattamente nella **zona 933** (area compresa tra l'Etna e i monti di Palermo), avente carattere prevalentemente trascorrente. Di seguito viene riportata la Mappa delle **Zone Sismogenetiche ZS9** nel territorio della Regione Sicilia (fig. 27), tratta dal sito dell'INGV

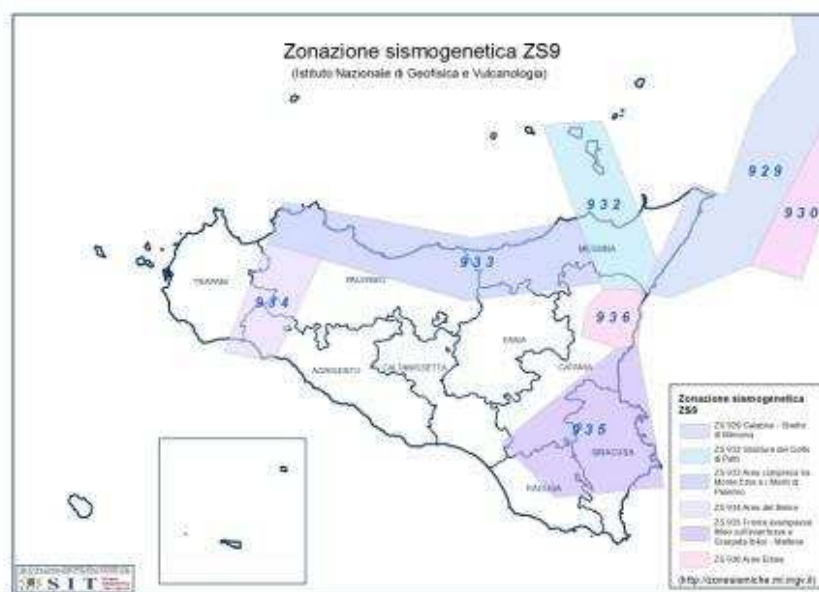


Fig. 27: Mappa della zonazione sismogenetica ZS9 nel territorio della Regione Sicilia (INGV- <http://zonesismiche.mi.ingv.it>)

Come dato di letteratura disponibile si fa riferimento alla Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 “Progetto S1. Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274”.

Nella figura seguente (fig. 28) viene riportata la sovrapposizione della *mappa della classificazione sismica* e la mappa della **zonazione sismogenetica ZS9** della Regione Sicilia.

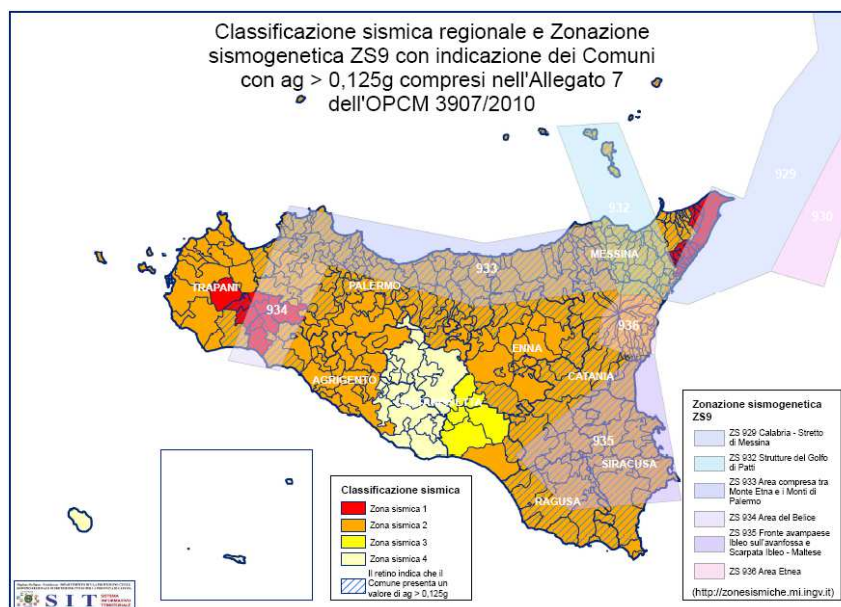


Fig. 28: Classificazione Sismica Regionale (DGR n. 408 del 19/12/2003) con indicati sovrapposti a mezzo retino i Comuni con $a_g > 0,125g$ di cui all'Allegato 7 dell'OPCM 3907/2010 e le Zone sismogenetiche ZS9.

La figura sottostante (fig. 29), tratta dal sito interattivo dell'INGV, rappresenta un estratto della mappa della pericolosità sismica del comune di Termini Imerese espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° ; la mappa riporta il parametro dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata **PGA - Peak Ground Acceleration: valore di accelerazione massima del suolo misurata nel corso di un terremoto o attesa in un determinato sito**), l'unità di misura è g , vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a 9.8 m/sec^2 . I valori di accelerazione massima del suolo $[a(g)]$ espressa in termini di probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, per l'area in esame risultano compresi tra **0.175 e 0.200 g** (OPCM 3519/06).

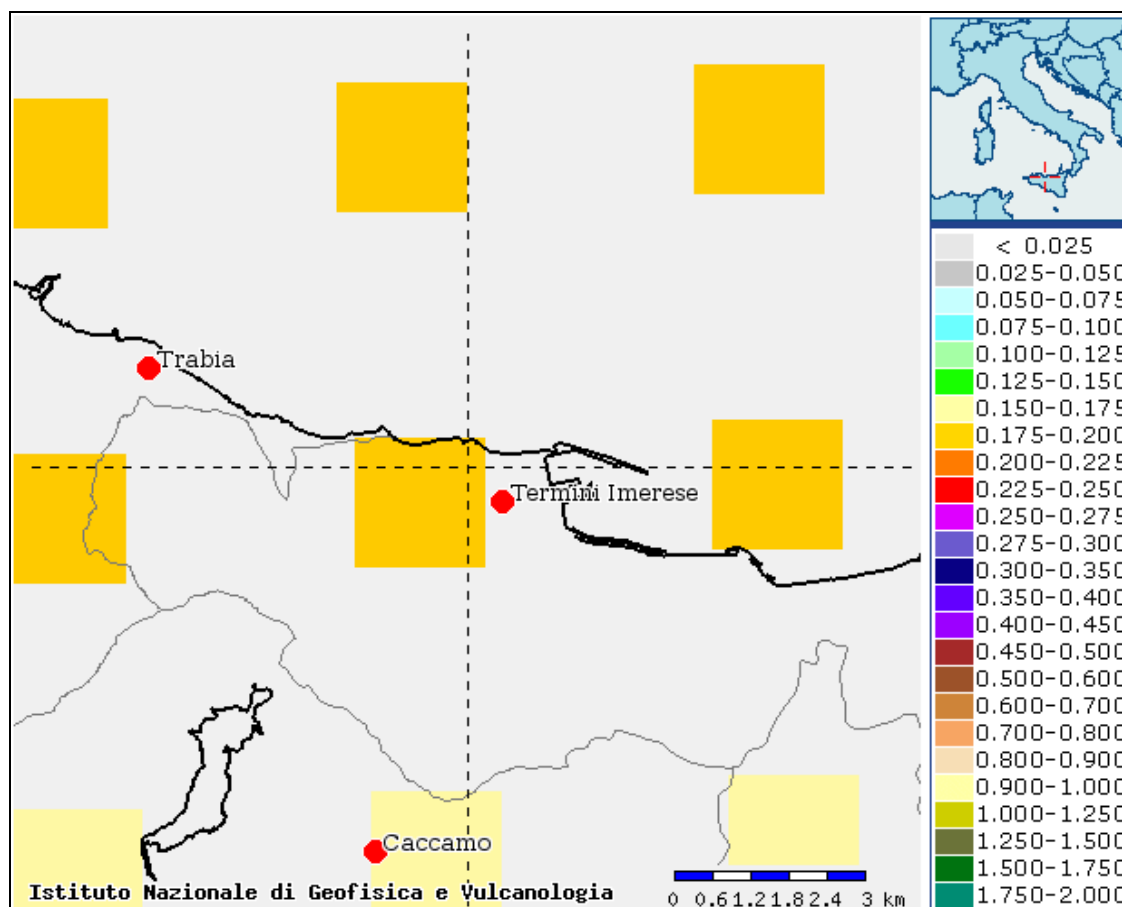


Fig. 29: Mappa della Pericolosità Sismica del comune di Termini Imerese

In funzione delle caratteristiche dell'opera e della sua ubicazione sono stati calcolati, tramite il software "PS" di *Geostru*, i parametri sismici di seguito elencati.

Parametri sismici

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Opere di fondazione

Sito in esame.

latitudine: 37.988124 [°]

longitudine: 13.688818 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe

d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 100 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	45846	37.984810	13.680580	810.6
Sito 2	45847	37.984680	13.743840	4837.3
Sito 3	45625	38.034680	13.744000	7083.2
Sito 4	45624	38.034810	13.680720	5239.5

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente CU: 1

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	60	0.070	2.322	0.264
Danno (SLD)	63	101	0.092	2.314	0.272
Salvaguardia della vita (SLV)	10	949	0.228	2.415	0.307
Prevenzion e dal collasso (SLC)	5	1950	0.288	2.482	0.318

Coefficienti Sismici

	S _s [-]	C _c [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	A _{max} [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1.200	1.440	1.200	0.020	0.010	0.992	0.200
SLD	1.200	1.430	1.200	0.027	0.013	1.304	0.200
SLV	1.180	1.390	1.200	0.091	0.045	3.172	0.280
SLC	1.110	1.380	1.200	0.108	0.054	3.767	0.280

7.1.1 Risposta Sismica Locale

Per la valutazione della **risposta sismica locale (RSL)**, ai fini della definizione dell'**azione sismica di progetto**, è necessario valutare le modificazioni della risposta sismica di base prodotte dalle condizioni locali, quali:

- *Condizioni stratigrafiche*
- *Condizioni topografiche*

Per la valutazione della **RSL** nel presente studio è stato applicato l'approccio semplificato che ha permesso, mediante la misura diretta del V_{S30} (§ 3.2.2 *D.M. 14.01.2008*), che risulta variare tra **471 e 567 m/s**, di individuare, per i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto, una **categoria di sottosuolo** di tipo **B**.

Per un sottosuolo di categoria **B**, la forma spettrale su suolo di categoria A è modificata dai seguenti **coefficienti di amplificazione stratigrafica S_S e C_C** calcolati mediante le seguenti espressioni:

Espressioni di S_S e C_C

Categoria suolo	S _S	C _C
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,04 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*)^{-0,20}$

Dall'analisi della "Carta delle pendenze" risulta che, in corrispondenza dell'area progettuale, i valori di inclinazione del terreno sono variabili. Si identificano principalmente due zone:

- Aree con pendenza inferiore a 15° e pertanto facenti parte della **categoria topografia T1** (pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per la quale si ha un valore del **fattore di amplificazione topografica S_T** pari a **1,0**, secondo l'EC8.
- Aree con pendenza maggiore di 15° . Si ritiene opportuno far rientrare tale aree in **categoria topografica T2** (pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$) per la quale si ha un valore del **fattore di amplificazione topografica S_T** pari a **1,2**, secondo l'EC8.

Valori dei coefficienti di amplificazione topografica S_T

Categoria Topografica	S_T
T1	1,0
T2	1,2

La **verifica a liquefazione** non viene effettuata in quanto nell'area oggetto di studio non è stata riscontrata la presenza di falda con profondità della superficie freatica inferiore a 15 m (§ 7.11.3.4.2 D.M. 14.01.2008).

Dal rilevamento geologico eseguito e dai dati bibliografici esistenti, si evince che, nelle immediate vicinanze dell'area in esame non sono presenti strutture tettoniche dislocative tali da poter sicuramente aumentare il rischio sismico locale.

8.0 CONCLUSIONI

Lo studio geologico-tecnico illustrato nella presente relazione ha permesso di ottenere un'adeguata conoscenza dell'area in termini di assetto stratigrafico, litologico e geomorfologico, presenza di eventuali situazioni di pericolosità, nonché sismicità dell'area.

Si riporta di seguito una sintesi dello studio eseguito, rimandando ai vari capitoli per un maggior approfondimento.

È stata presa visione delle caratteristiche dell'opera e del suo impatto con l'ambiente circostante. La campagna di rilevamento geologico ci ha permesso di cartografare le litologie presenti nell'area in studio.

Dalla consultazione della cartografia annessa al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, relativamente all'area oggetto di studio, si evince che non sussistono aree di pericolosità e rischio idrogeologico.

La campagna di indagine geofisica sismica e geoelettrica, ha permesso di confermare il modello geologico del sottosuolo e di valutare la **risposta sismica locale**, applicando l'approccio semplificato ai sensi delle **NTC 08**. Mediante l'indagine di tipo MASW è stato possibile valutare il parametro **VS₃₀** (variabile da 471 m/s a 567 m/s), permettendo di collocare i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto nella **categoria di sottosuolo** di tipo **B**: "*rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS₃₀ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT₃₀ > 50 nei terreni a grana grossa e Cu₃₀ > 250 kPa nei terreni a grana fina)*". Tale scelta è stata, inoltre, suffragata dalle misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (microtemori), eseguite contestualmente, che, a parte alcuni disturbi causati dall'attività antropica, non hanno evidenziato picchi significativi del rapporto H/V.

Dal punto di vista geologico strutturale nell'area e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza significativa, non sono state intercettate strutture tettoniche riferibili a faglie attive o potenzialmente attive, che possano influire sulla stabilità dell'area in studio.

Inoltre sono state definite, in base alle pendenze locali, due **categorie topografiche**: tipo **T1** e **T2**.

Nell'area di progetto e nel suo intorno non sono state individuate fenomenologie di dissesto attivo o di agenti morfogenetici la cui azione possa determinare evoluzioni rapide dell'attuale situazione stabile.

È stato preso atto della stabilità delle opere in considerazione dell'assetto morfologico dei luoghi, delle buone caratteristiche meccaniche del sottosuolo e della invarianza dell'assetto idrogeologico locale.

Occorre tenere presente che l'area progettuale giace a quote differenti, con un dislivello massimo di circa 20 metri. Di conseguenza il nuovo impianto dovrà essere adattato alla morfologia del terreno, riducendo al massimo gli sbancamenti e i rilevati, che produrranno terrazzamenti i quali dovranno essere regolarmente progettati secondo la normativa.

In considerazione di quanto sopra esposto, la presenza dell'opera di cui in oggetto non rappresenta fonte d'instabilità o rischio dal punto di vista geologico, anche in considerazione di eventuali lievi incrementi di carico trasmessi al terreno di fondazione.

Da quanto fin qui illustrato, emerge che le opere in progetto risultano compatibili con le condizioni geologico-ambientali locali, pertanto non si riscontrano problematiche ostative, di carattere geologico-tecnico per la realizzazione delle stesse.

Trabia lì 1 luglio 2017



IL GEOLOGO

Nicolò Lo Bue

Nicolò LO BUE