



Variante Urbanistica ai sensi dell'art.7 L.R. n. 65/81

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
 DELLA CASA CANONICA, LOCALI DI
 MINISTERO PASTORALE E DEL
 CAMPETTO A SERVIZIO DELLA
 PARROCCHIA MARIA SS. MADRE
 DELLA CHIESA SITA A PALERMO IN
 PIAZZA SAN MARINO s.n.c.
 INSISTENTE SU UN LOTTO DI
 TERRENO IDENTIFICATO AL N.C.T.
 DEL COMUNE DI PALERMO AL
 FOGLIO DI MAPPA N. 22 PARTICELLE
 NN. 2853 - 2854**

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ' GEOMORFOLOGICA

Parrocchia MARIA SS. MADRE DELLA CHIESA
 IL PARROCO:
 MONS. RAFFAELE MANGANO



VISTO: ARCIDIOCESI DI PALERMO
 UFFICIO TECNICO ED EDILIZIA DI CULTO
 IL DIRETTORE
 DON RAIMONDO ABBANDONI



PROGETTISTA E DIRETTORE DEI LAVORI :
 ARCH. ALESSANDRO MANCINO



PROGETTISTA E D.L. OPERE STRUTTURALI:
 ING. ANTONIO CASTO



PROGETTISTA IMPIANTI TECNOLOGICI:
 ING. GIUSEPPE VAZZANO



C.D.S. IN FASE PROGETTUALE ED ESECUTIVA:
 ING. MASSIMO BONGIORNO

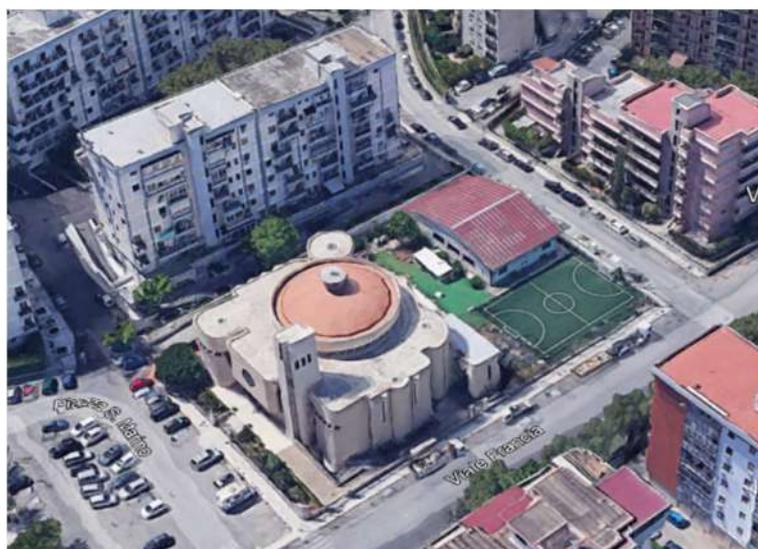


COLLABORATORE: ARCH. ROBERTO DI CARA

TAV.	07
SCALA:	
DATA :	NOVEMBRE 2021

COMUNE DI PALERMO

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLA CASA
CANONICA, DELLE AULE DI CATECHISMO E DEL
CAMPETTO A SERVIZIO DELLA PARROCCHIA MARIA SS.
MADRE DELLA CHIESA IN VIALE FRANZIA
FOGLIO DI MAPPA N. 22 PARTICELLA N. 2853**



RELAZIONE DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA

art. 15 L.R.16/16 ex. art. 13 L. 02/02/1974 n. 64

La Committenza :

MONS. RAFFAELE MANGANO
Parroco della Chiesa Parrocchiale
Maria SS. Madre della Chiesa
Piazza San Marino

Il Geologo

Dott. Geol. Francesco Zerilli



1. Premessa

Lo Scrivente, Geol. Zerilli dott. Francesco è stato incaricato da Mons. Raffaele Mangano, Parroco della Chiesa Parrocchiale Maria SS. Madre della Chiesa sita a Palermo in Piazza San Marino snr per la stesura di una relazione di verifica di compatibilità geomorfologica ai sensi art. 15 L.R.16/16 ex. art. 13 L. 02/02/1974 n. 64 a supporto del *PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLA CASA CANONICA, DELLE AULE DI CATECHISMO E DEL CAMPETTO A SERVIZIO DELLA PARROCCHIA MARIA SS. MADRE DELLA CHIESA.*

L'area interessata dalla progettazione ricade parallelamente al Viale Francia con accessi da Piazza San Marino e da Via Montecarlo nel comune di Palermo.

Catastalmente l'area ricade al Foglio di mappa n. 22 ed è nota alla Particella n. 2853 mentre la Chiesa ricade nella particella n. 2854

Il piano di studio verrà reso in osservanza a quanto riportato nella Circolare ARTA Sicilia n. 3 del 20.06.2014 – *Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici* si è quindi articolato come segue:

- inquadramento geomorfologico di dettaglio, con particolare attenzione ai rapporti intercorrenti tra i lineamenti morfologici e le litologie, in funzione di eventuali fenomeni di dissesto generabili sia per cause naturali che indotti per le opere da realizzare;
- rilevamento geolitologico, estendendolo anche alle aree perimetrali rispetto al sito, per raccogliere tutte le informazioni necessarie per la redazione della carta geolitologica di scala adeguata che evidenzi oltre alle

caratteristiche litologiche anche i rapporti di giacitura, gli spessori ed i lineamenti tettonici;

– studio del quadro idrogeologico locale e dell'area attigua, delineando gli aspetti essenziali della circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione allo smaltimento delle acque dilavanti ed alla protezione delle falde idriche;

– riferimenti sulla compatibilità delle scelte urbanistiche relative agli insediamenti abitativi, produttivi e di servizio in relazione alle condizioni morfologiche rilevate;

– indicazione delle caratteristiche tecniche necessarie, ma al momento orientative in quanto riferite all'intera area di variante, per una qualificazione delle specifiche condizioni di edificabilità del territorio, tenendo conto dell'interazione terreno-struttura in relazione all'ubicazione di manufatti.

Di complemento alla presente sono le carte tematiche e le indagini geologiche redatte ai sensi della circolare AA.TT.AA. n. 3 del 20.06.2014 che definisce i lineamenti essenziali per studi del tipo in questione.

Pertanto, sono state eseguite indagini geognostiche a carotaggio continuo consistenti in n. 2 sondaggi spinti fino al raggiungimento certo della formazione di base. La caratterizzazione geotecnica dei terreni si è eseguita alla luce dell'eterogenità dei terreni rinvenuta (terreni di riporto e sabbie con elementi calcarenitici sospesi) mediante l'esecuzione di prove SPT in foro e acquisizione di note bibliografiche da pubblicazioni accademiche sui terreni della Piana di Palermo. Ci si è limitati a queste prove rimandando alla fase esecutiva una più ampia campagna di prove

di laboratorio in relazione alle scelte fondazionali del progettista geotecnico. Il modello geotecnico verrà elaborato nella fase esecutiva dal progettista delle strutture in osservanza al par. 6.2.2 del D.M. 17.01.2018 pertanto oggi si forniscono degli intervalli di valori obiettivi e rappresentativi cui il progettista della variante potrà fare riferimento per le indicazioni orientative delle scelte progettuali odierne.

A supporto della presente sono stati eseguiti n. 2 rilievi sismici mediante strumentazione sismica digitale per l'ottenimento della stratigrafia dei terreni e la caratterizzazione sismica dell'area mediante studio di microzonazione.

Si rimanda in allegato per le schede di rilievo e tecniche.

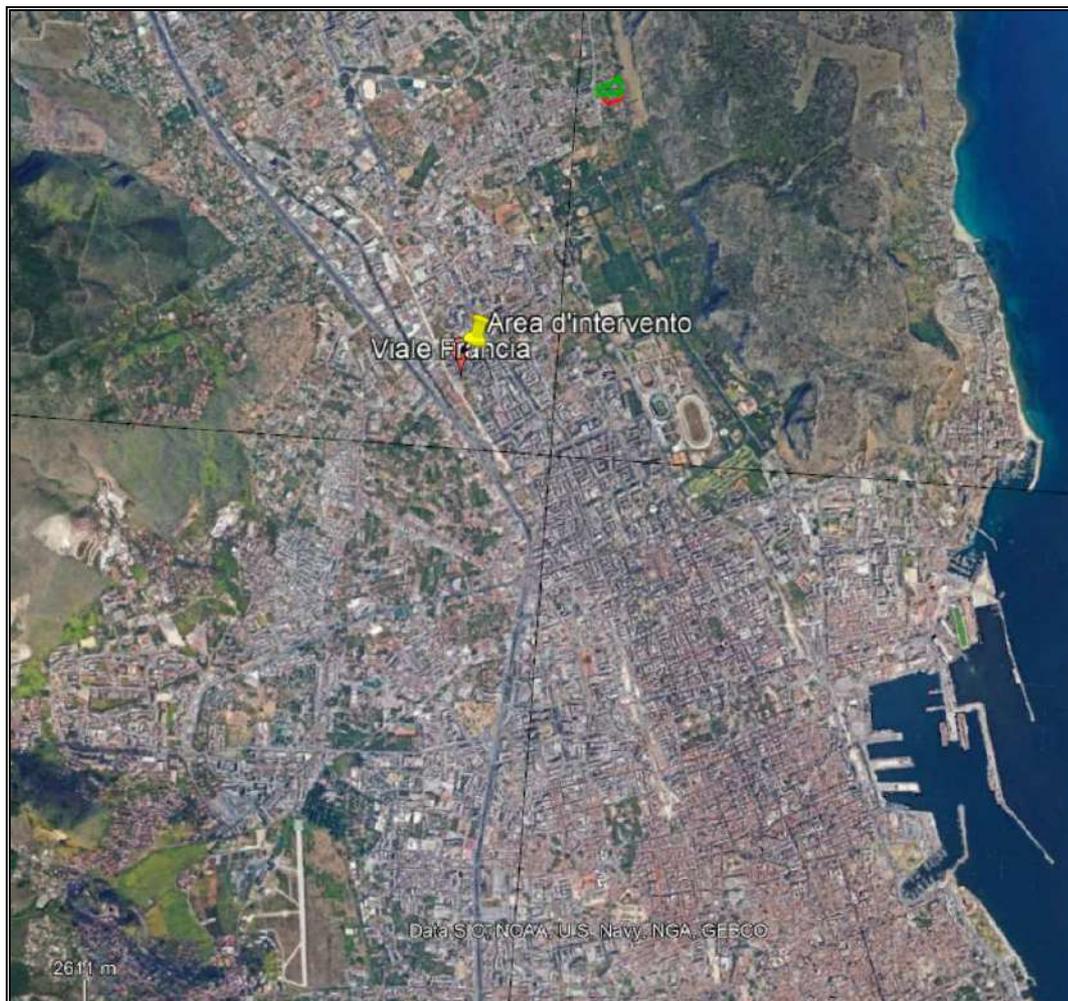


Fig. 1 – Vista d'insieme con localizzazione dell'area d'intervento

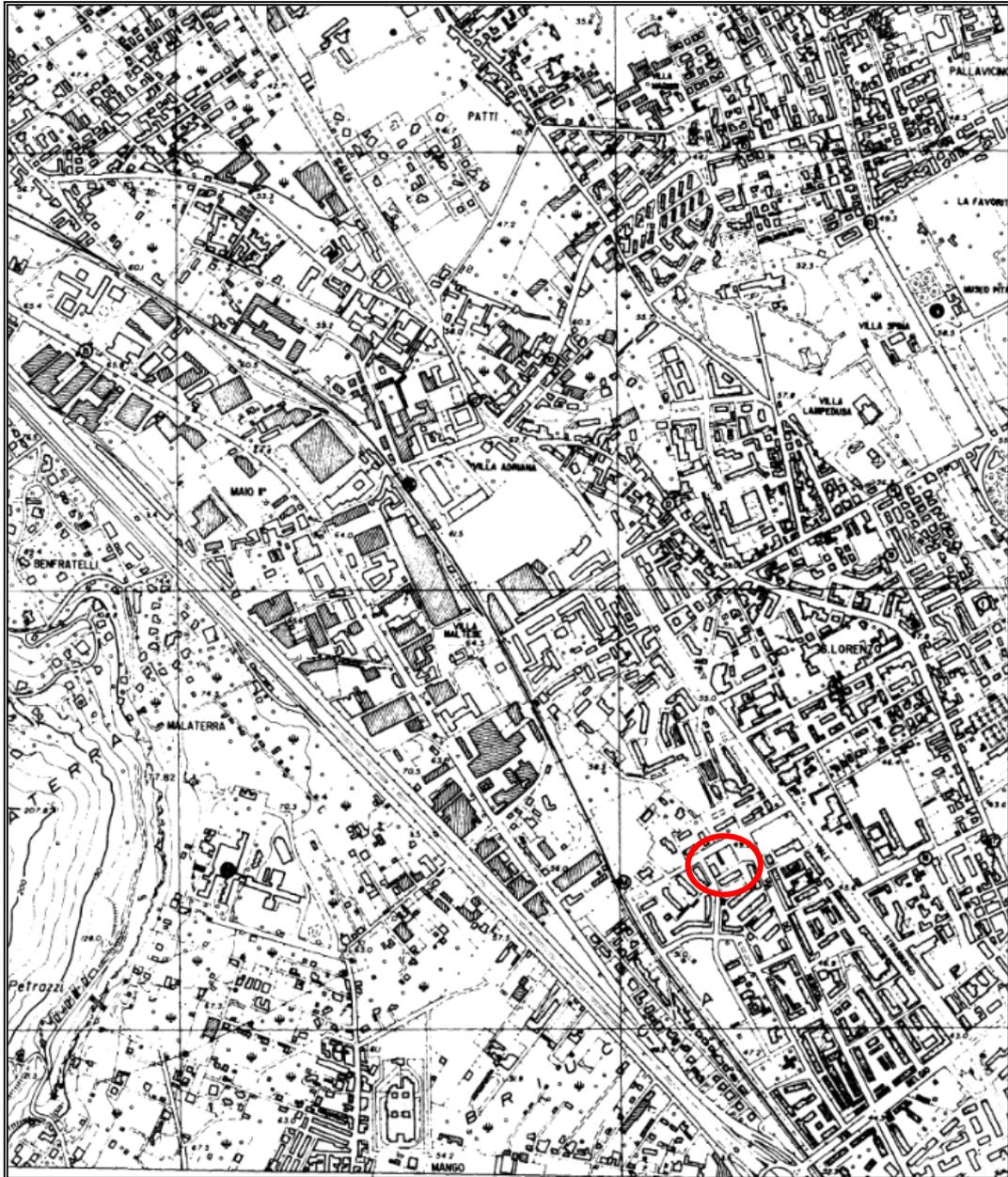


Fig. 2 – Stralcio CTR n. 594040 – Tommaso Natale

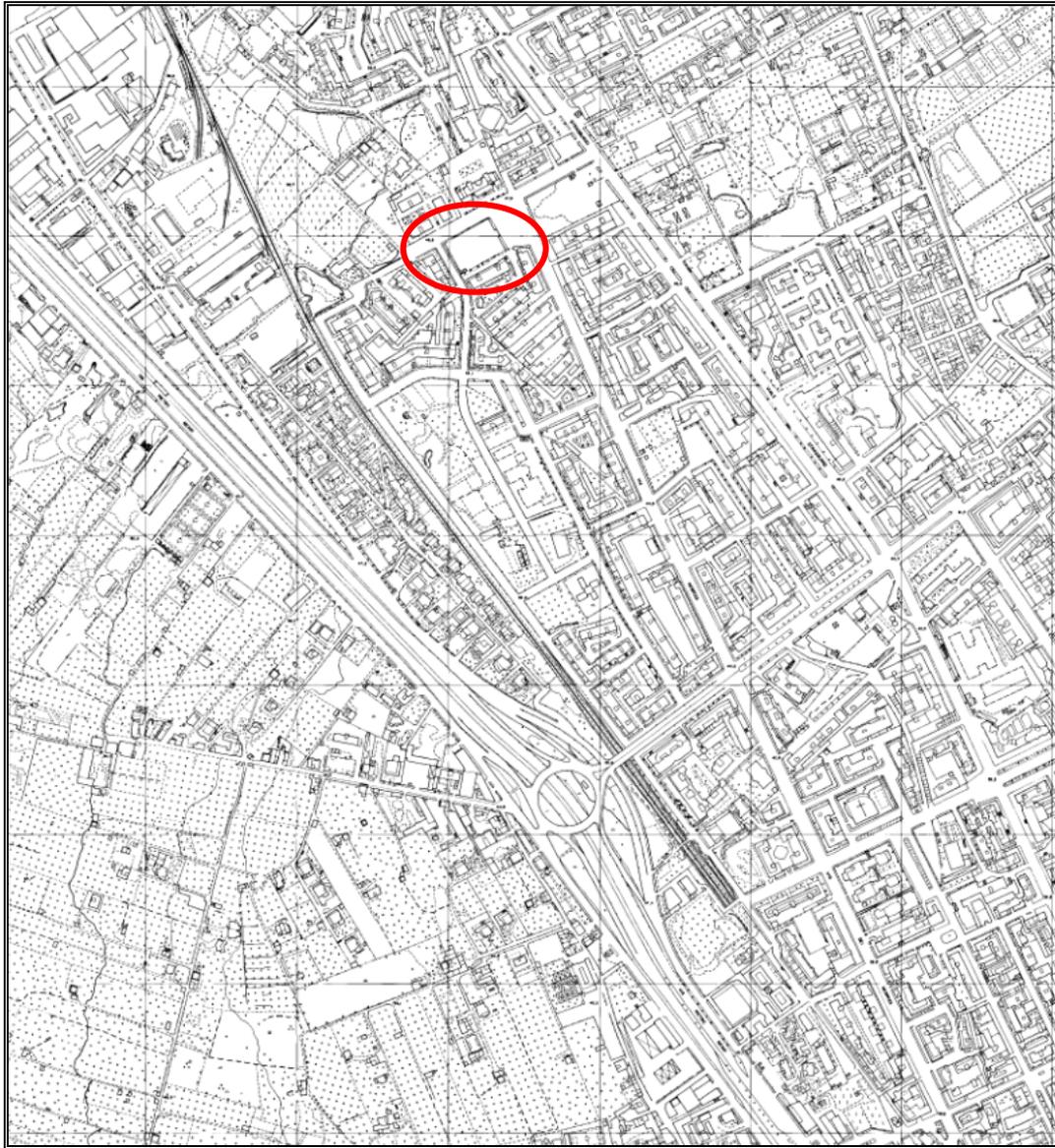


Fig. 3 – Stralcio CTC n. 5007 – Michelangelo

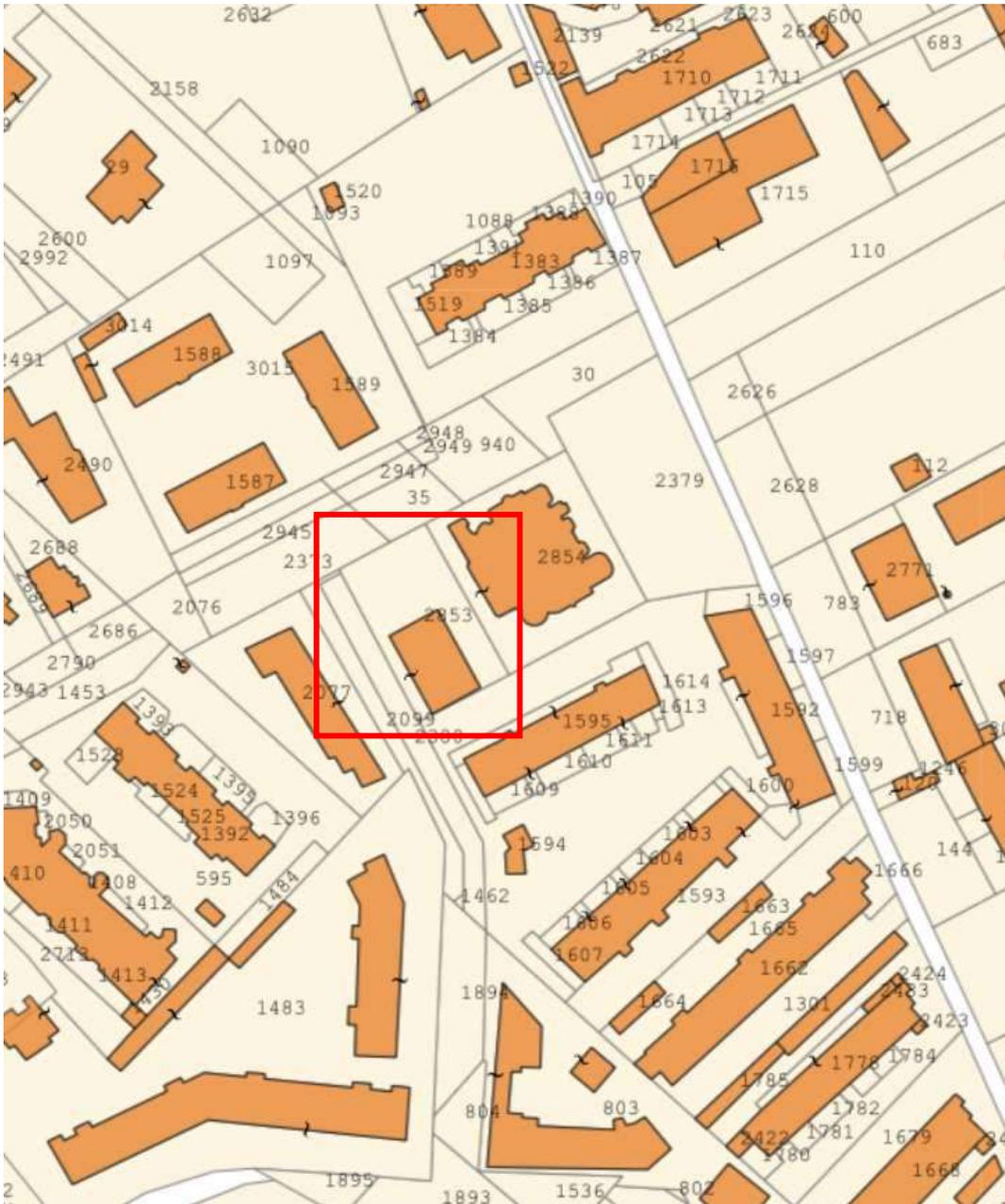


Fig. 4 – Estratto catastale del foglio di mappa n. 22 Particella n. 2853

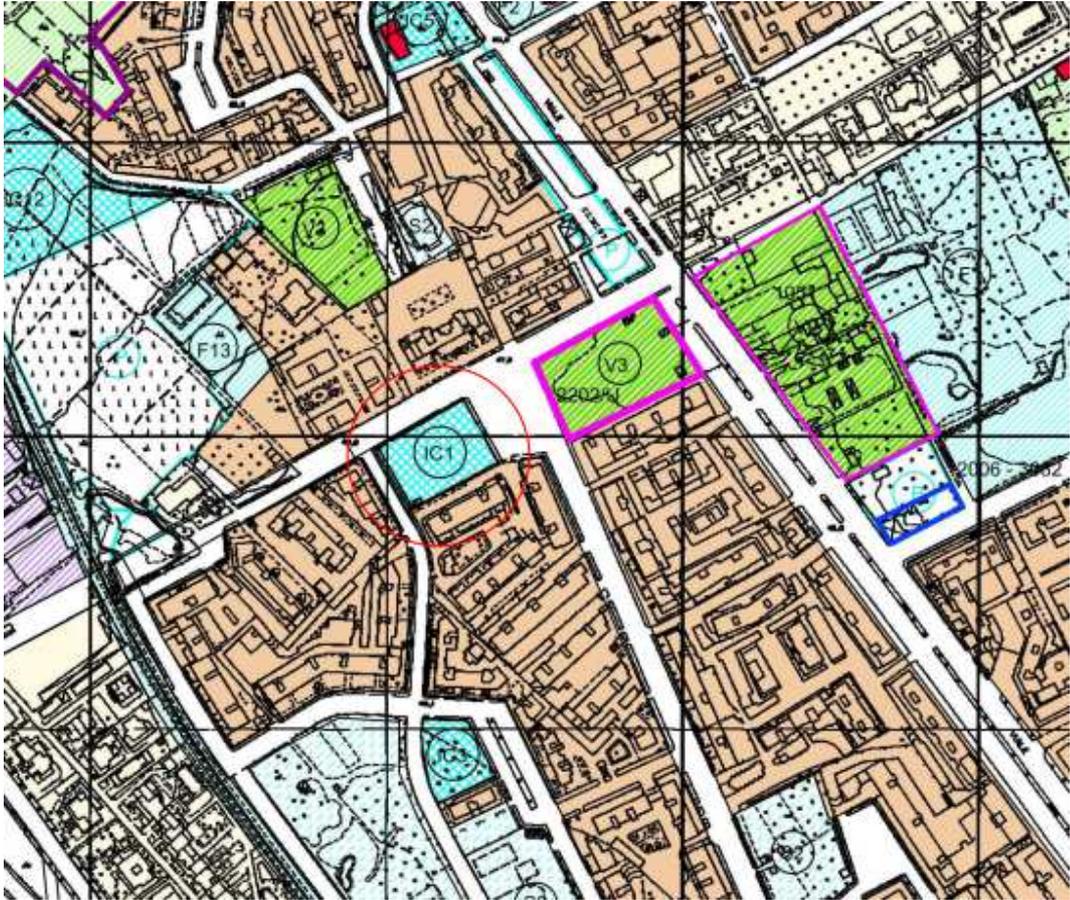


Fig. 5 – Stralcio PRG vigente tavola n. 5007

2. Ambiente fisico: assetto ed evoluzione geomorfologica

Il territorio comunale di Palermo ha un'estensione di circa 159 kmq e ricade in parte nella tavoletta edita dall'Istituto Geografico Militare – I.G.M. – “Palermo” ma anche "Torretta", “Misilmeri”, “Monreale” ed in parte nella tavoletta "Isola delle Femmine", alla scala 1: 25.000. Esso è limitato a nord dal Mar Tirreno, a sud dalle dorsali calcaree che fanno capo ai Monti di Palermo mentre al suo interno emerge Monte Pellegrino che sembra separare il lato orientale da quello occidentale della città.

Da un esame plano-altimetrico dell' area eseguito sulla base cartografica, questa appare costituita da una vasta area sub-pianeggiante prospiciente al mare che rappresenta quasi il 60 % dell'estensione territoriale bordata antiteticamente da espressioni montuose alquanto aspre che risalgono verticalmente per tettonica mostrando con evidenza contatti per faglia camuffati da detriti di falda spesso evoluti in conoidi. Nelle dorsali vengono raggiunte le quote più elevate e generate pendenze notevoli mentre il resto della piana ha andamento sub-pianeggiante.

Nel complesso quindi il territorio è caratterizzato da due differenti lineamenti: una morfologia molto acclive con pareti sub-verticali che caratterizza le rocce più competenti molto provate dalla tettonia tensile mio-pliocenica; una morfologia alquanto blanda che caratterizza la piana antistante che ha subito nel tempo i fenomeni di trasgressione e regressione marina. Il passaggio tra i due ambienti morfologici è camuffato da una fascia di detrito di falda continuo e omogeneo caratterizzato da pendenze medie ed elevate nelle porzioni prossime alla dorsale.

Differenti comportamenti reologici hanno quindi caratterizzato le litologie presenti. Faglie dirette a rigetto verticale interessano i complessi rigidi mentre passaggi di facies con discontinuità stratigrafica interessano i complessi duttili. Ulteriore aggravio è svolto anche dagli agenti esogeni hanno fortemente influenzato l'evoluzione morfologica del territorio; infatti frane per crollo e rotolamenti di massi caratterizzano le aree maggiormente degradate così come rappresentato nel Piano per l'Assetto Idrogeologico il cui stralcio si riporta in allegato. Assenti invece i dissesti nell'abitato ed in generale nella parte sub-pianeggiante.

Il regime idrografico istauratosi è del tipo parallelo con poche aste principali di modesto gradiente e portate regimate, impostatesi in valli basse e larghe nelle zone montane e pedemontane mentre del tutto invisibili in coincidenza del tessuto urbano poiché gli alvei sono stati sistemati con scatolari in c.a. o armco per controllare e veicolare le portate idrauliche. L'unica espressione degna di nota è il Fiume Oreto che nasce dalle pendici delle dorsali calcaree della zona tra Altofonte e Monreale e scorre in maniera ordinata fino alla foce con portate regolarizzate degli interventi di sistemazione idraulica subiti.

Anche dal punto di vista della pericolosità idraulica l'abitato come pure l'area in studio non rientra in zone a rischio elevato o molto elevato se non in coincidenza di restringimenti di alcuni decorsi (Passo di Rigano o Oreto) che per riduzione della sezione idraulica danno luogo ad effetti di rigurgito localizzati. come confermato dalla cartografia del Piano per l'Assetto Idrogeologico il cui stralcio si riporta in allegato.

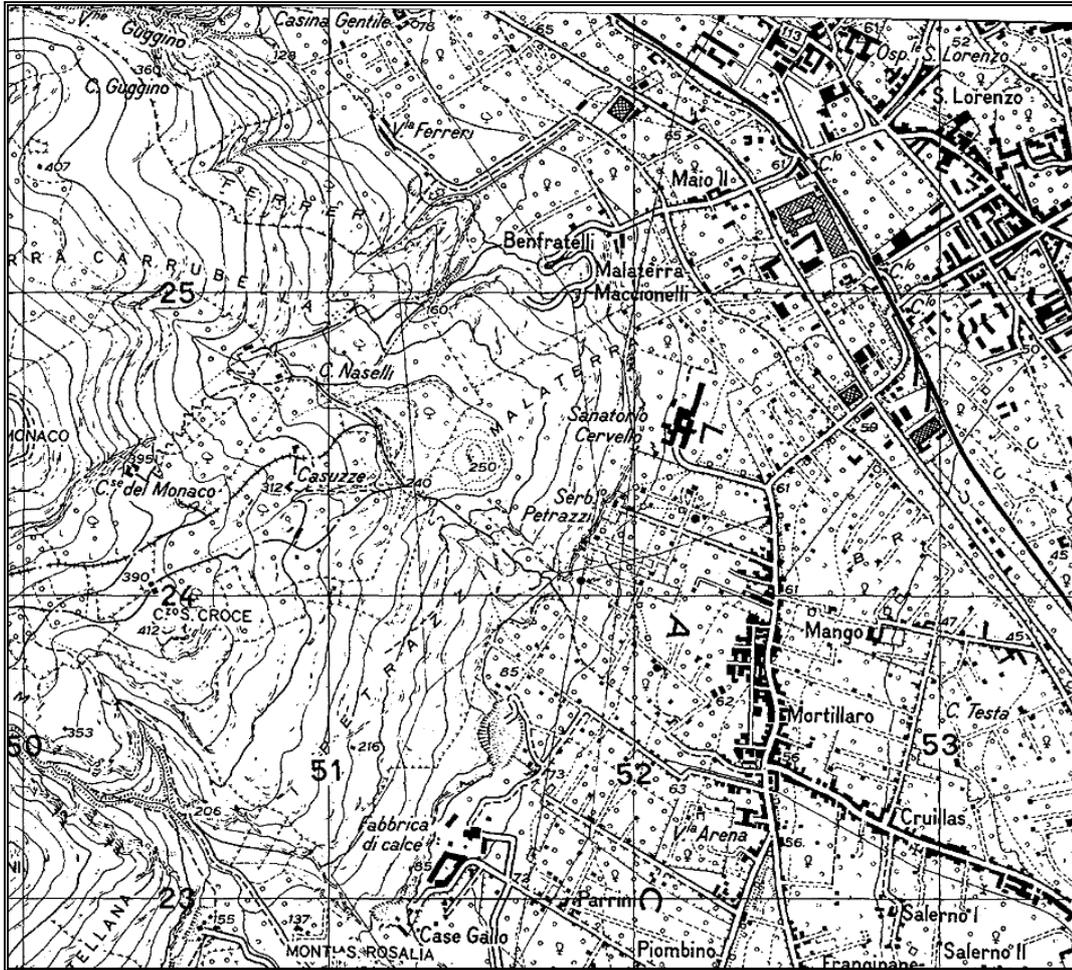


Fig. 6 – Stralcio della tavoletta IGM n. 249 II NO - Torretta

3.0 Caratteristiche pluviometriche e termometriche dell'area

L'area in studio ricade nella zona occidentale dell'abitato di Palermo che non risulta avere un pluviometro registratore in uso pertanto ci si è avvalsi delle misure pluvio-termometriche registrate presso la stazione (topoieta) di Isola delle Femmine. Per quanto riguarda questi aspetti si riportano i dati termometrici e pluviometrici registrati dal Ministero dei LL.PP. per il territorio di Palermo e pubblicati dal Servizio Idrografico negli Annali Ideologici, nel dettaglio si farà riferimento all'intervallo 1964 - 1973. Dalle osservazioni sui dati termometrici si evince che il mese più caldo è Agosto con circa 26,5 gradi, mentre quello più freddo è Gennaio con 13 gradi.

Dalle osservazioni sui dati pluviometrici si evince che il 75% dell'afflusso meteorico si ha nel semestre Settembre-Febbraio con punte massime in Dicembre e Gennaio mentre le punte minime sono in Luglio e Agosto. Peraltro la distribuzione piovosa è molto irregolare nell'anno e variabile tra gli anni. Da quanto riportato si deduce che il regime pluviometrico è mediterraneo marittimo, mentre il tipo di clima è meso-mediterraneo.

Dai dati termo-pluviometrici si è risaliti ai valori medi dell'indice di aridità mensile che risulta minimo nel periodo Giugno-Luglio-Agosto mentre elevato in Dicembre-Gennaio-Febbraio.

L'elaborazione congiunta di tutti i dati ha consentito il calcolo nell'anno idrologico medio delle temperature e della pluviometria:

<i>Temperatura media = 19 C°</i>	<i>Piuvosità med. annua = 570 mm</i>
----------------------------------	--------------------------------------

4.0 Stato dei luoghi e interventi previsti

L'area oggetto della variante, come pure gli immediati intorno significativi, si pone lungo un pianoro con pendenza blanda o nulla nell'ambito del tessuto urbano dell'abitato di Palermo e per tale localizzazione risulta difficoltoso produrre delle considerazioni geomorfologiche ed idrogeologiche di rilievo in quanto resta visibile solo l'assetto plano-altimetrico generale.

Più in dettaglio l'area d'intervento è di circa 1.300 mq, è disposta in fregio al viale Francia ed è delimitata perimetralmente da muri di recinzione o da rete metallica e paletti e vi si accede dalla Via Montecarlo e/o da Piazza San Marino e da Viale Francia.

Al momento nell'area d'intervento insistono un prefabbricato con una elevazione f.t. a servizio dell'attività della parrocchia ed un campo di calcio a 5 che verranno demoliti per far posto alle nuove strutture.

Il nuovo progetto prevede la realizzazione di una nuova canonica con impronta nel terreno di circa 240 mq su due elevazioni per un totale di circa 1.500 mc ed il nuovo campo di calcio a 5.

Entrambe le opere avranno in pianta una nuova disposizione rispetto ad oggi ed avranno basso impatto sul territorio sia dal punto di vista geomorfologico che idrogeologico che tecnologico e ambientale.

L'area non è interessata da dissesti in atto né potenziali e per la relazione tra assetto plano-altimetrico e geologia dei luoghi si esclude ogni possibilità di dissesto profondo o superficiale per effetto della forza di gravità che sia generato dalla realizzazione delle opere in progetto se adeguatamente fondati.

L'area non è attraversata da solchi torrentizi di vario ordine gerarchico, e non è interessata dal fenomeno del ruscellamento superficiale.

Si esclude per l'area d'inserimento degli edifici ogni forma di pericolosità geologica poiché non è area franosa, non è esondabile, non è erodibile, i terreni hanno adatte capacità portanti in relazione a quanto da realizzare se raggiunti orizzonti di sicura affidabilità anche con fondazioni indirette spinte sotto le coltri di copertura e i terreni di riporto, i terreni sono stabili anche se tagliati verticalmente e, con corretti accorgimenti, è garantita l'invulnerabilità dell'acquifero sottostante utilizzando la rete fognaria comunale.

Riguardo la pericolosità sismica dell'area, non è franosa, l'area ha modesta pendenza di pochi gradi ($< 15\%$), non è area di ciglio né ricade sulla cresta di dorsale rocciosa, non è area di fondovalle ma è area intermedia, i terreni di fondazione (con il ricorso a fondazioni indirette) non hanno caratteristiche scadenti e, se pur la zona mostra contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche differenti, le singole fondazioni vengono incastrate su terreni omogenei quindi non subiscono amplificazioni differenziate del moto del suolo o cedimenti. L'area non è un punto di raccolta di protezione civile.

Si conclude che l'area è stabile e sicura ed è fuori dalle zone di vincolo previste da P.A.I.

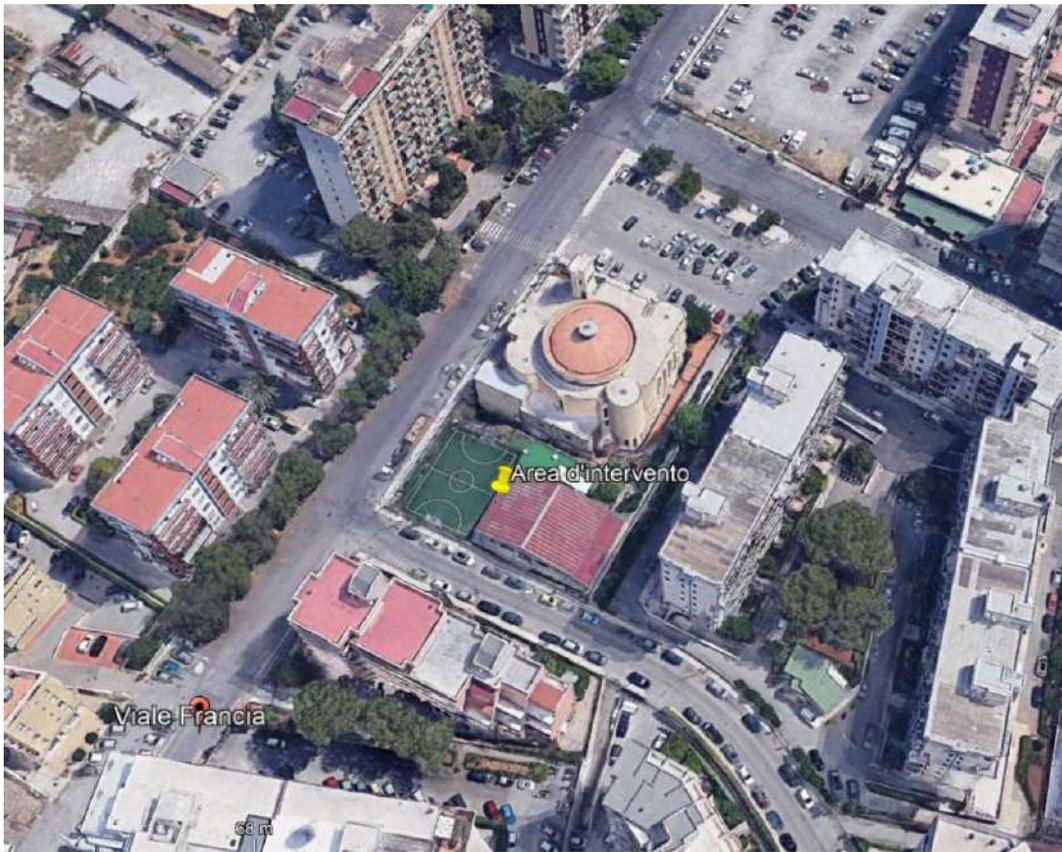


Fig. 7 – L'area d'intervento

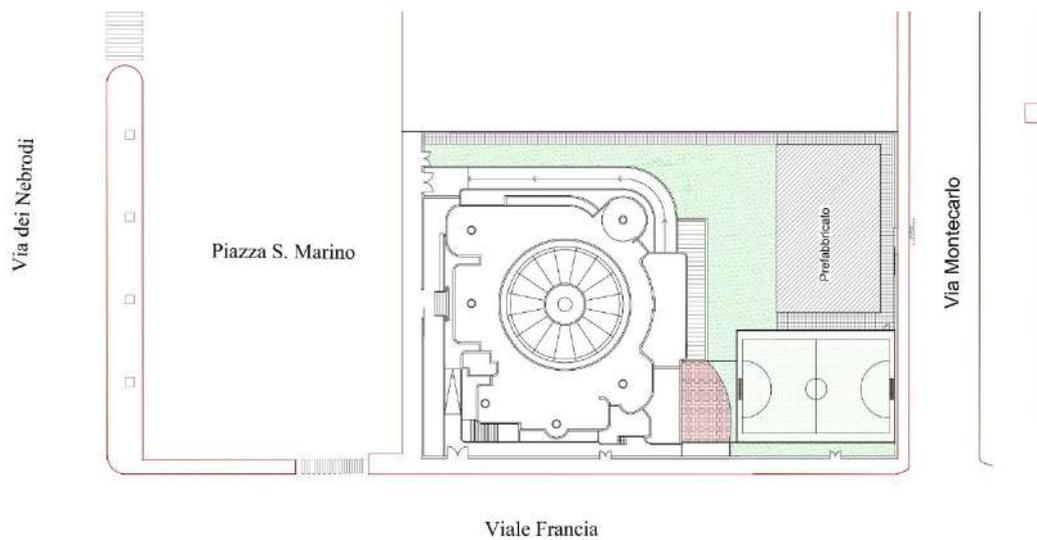


Fig. 8 – Rilievo dello stato attuale

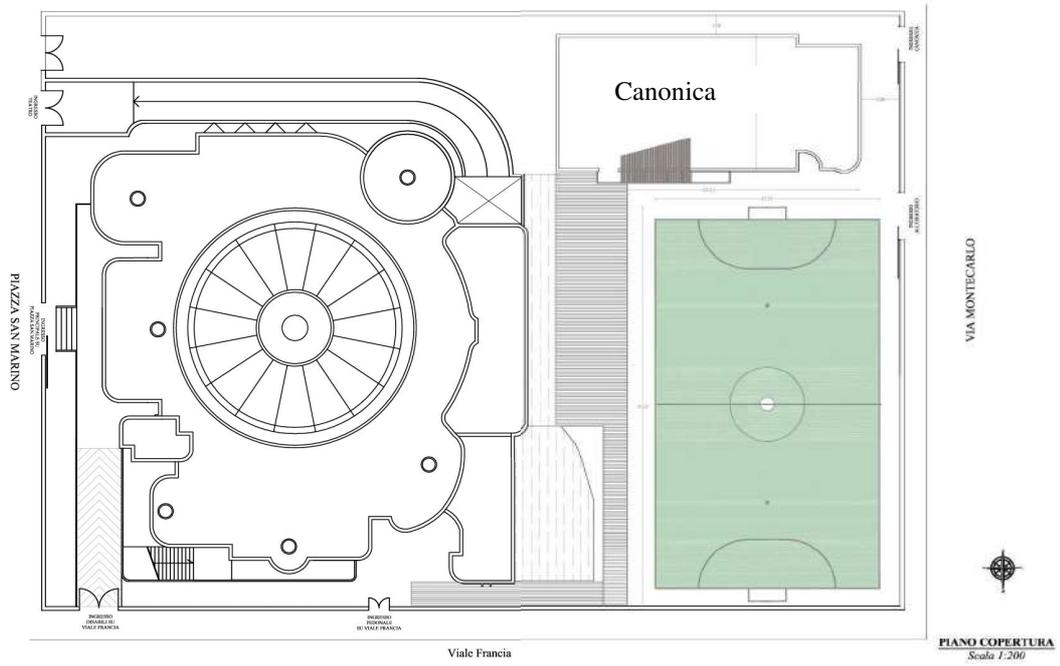


Fig. 9 – Planimetria di progetto

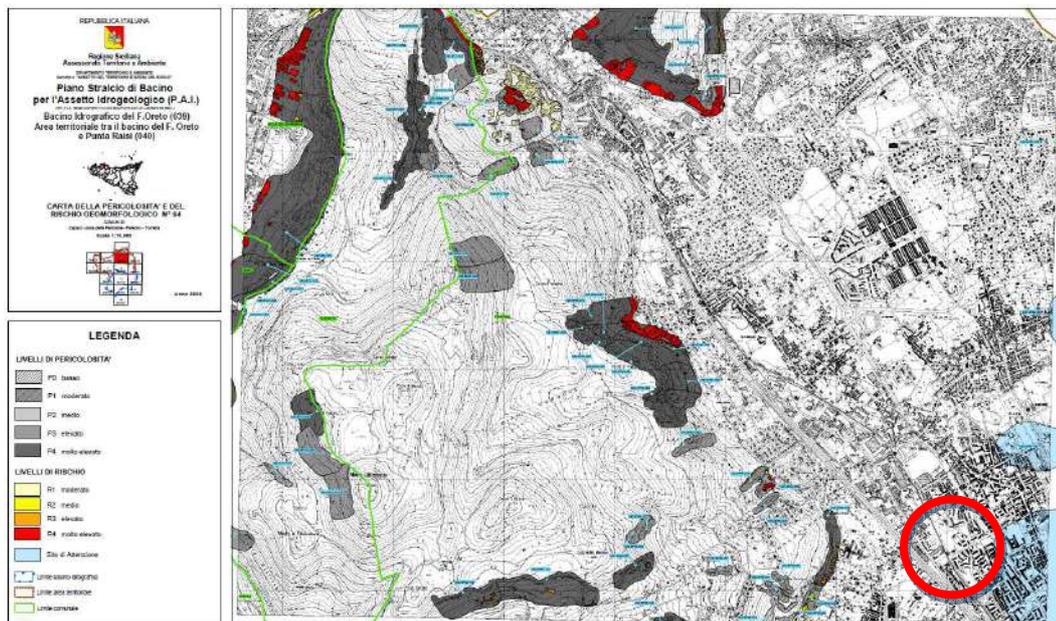


Fig. 10 – Stralcio carta della pericolosità e rischio geomorfologico P.A.I.

L'area in studio ricade fuori da ogni vincolo PAI

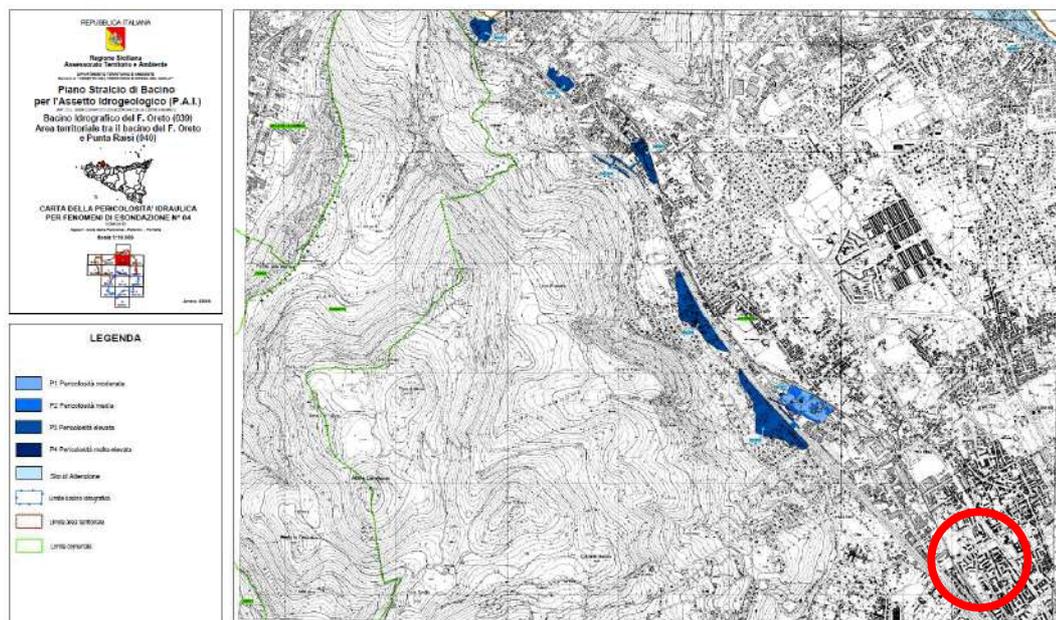


Fig. 11 – Stralcio carta della pericolosità e rischio idraulico P.A.I.

L'area in studio ricade fuori da ogni vincolo PAI

5. Caratteri geolitologici generali della Piana di Palermo

Per risalire alla caratterizzazione geologica, petrografica e sedimentologica dell'area interessata dalla progettazione ci si è avvalsi di un rilevamento geologico di superficie integrato da conoscenze acquisite con indagini dirette ed indirette pregresse e bibliografiche.

In base agli studi precedenti (Gignoux, 1913; Ruggieri, 1967; Ruggieri & Sprovieri, 1975), alcuni dei quali basati sull'analisi delle informazioni litostratigrafiche, derivanti da indagini geognostiche (Cusimano et al., 1997; Giammarinaro et al., 1999) ed alle più recenti ricerche (Calvi et al., 1998 e 2000, Contino et al., 2003), si è ricostruita la successione dei sedimenti marini pleistocenici della Piana di Palermo. Tali terreni risultano databili all'Emiliano sup. – Pleistocene medio, al Pleistocene superiore (Buccheri, 1966) ed all'Olocene (Di Stefano, 1998).

La Piana di Palermo è costituita da depositi pleistocenici marini, con spessori variabili, che talora possono raggiungere i 100 m, di calcareniti e/o argille sabbiose e silt, discordanti sui carbonati meso – cenozoici del settore di catena dei Monti di Palermo (Caflich, 1966; Abate et al., 1978; Catalano et al., 1979) o sulle loro coperture numidiche. Nel dettaglio, dal basso verso l'alto è riconoscibile la seguente successione:

a) terreni del substrato meso-cenozoico

Il substrato meso-cenozoico della Piana di Palermo è costituita da:

- successioni carbonatiche mesoterziarie imeresi e panormidi
- Flysch Numidico (Oligo – miocene): terreni argilloso-marnosi con intercalazioni, a luoghi, di arenarie quarzose. Il tetto del numidico della Piana presenta alti e bassi morfologici allineati secondo direttrici tettoniche pleistoceniche, già riconosciute nell'area da diversi autori

(Catalano et al ., 1979, 1998; D'Angelo et al. 1980; Abate et. al. , 1982; Catalano & D'Argenio, 1982; Nigro & Renda, 2002).

b) depositi marini dell'Emiliano sup. - Pleistocene medio

I depositi pleistocenici possono essere distinti in due litofacies principali:

- una calcarenitica superiore, con intercalati livelli argillosi e argilloso sabbiosi, con spessore variabile da qualche metro ad oltre 80 m (località Resuttana ai Colli). Questa litofacies è costituita da biocalcisiltiti e sabbie, passanti in alto a litareniti, biocalcareniti e/o biocalcisiltiti (e subordinate biocalciruditi). La loro colorazione varia dal biancastro al giallastro, in funzione della percentuale di ossidi di ferro e manganese (Liguori & Cusimano, 1978). La cementazione, con un grado molto variabile, è sia primaria (calcite microcristallina), che secondaria (calcite spatica), e sono diffusi i processi di decementificazione legati alla circolazione delle acque sotterranee. A nord della Città, le calcareniti sono biancastre, granulometricamente omogenee, a prevalente contenuto calcitico e con rari livelli argilloso sabbiosi; mentre nel settore meridionale, le calcareniti sono giallastre e con una percentuale variabile di silice e quindi un diverso grado di cementazione (Cusimano & Di Cara, 1995). Nell'ambito delle calcareniti giallastre sono riscontrabili sia variazioni di litofacies, causate da ripetute eteropie laterali e/o verticali, sia argille sabbiose in livelli più frequenti e più potenti rispetto alle calcareniti biancastre.

- Una inferiore, prevalentemente argilloso-siltosa, assente o ridotta nel settore settentrionale della Piana. Questi depositi sono costituiti da argille sabbiose azzurre fossilifere con ripetuti passaggi di silt, sabbie e calcareniti talora grossolane, infra -circalitorali (Ruggieri, 1993), e con

locali intercalazioni di sabbie medie o grossolane (Liguori & Cusimano, 1978). Lo spessore è mediamente decametrico, con un massimo in perforazione di circa 90 m (località Romagnolo). Alla base, in discordanza, si riscontra un orizzonte discontinuo, più o meno potente (sino ad oltre 1 m), di conglomerato trasgressivo polimittico, costituito da ciottoli, di natura silicea o carbonatica, da ben arrotondati ad appiattiti, con fori di litodomi o di spugne Cliona .

c) Depositi marini del Pleistocene sup.

Lungo la costa, ed in particolare nelle località Sferracavallo, Addaura, Vergine Maria, Arenella e Acqua dei Corsari, si riscontrano dei depositi marini del Pleistocene sup. con spessori medi in perforazione di 4 m (Arenella). Si tratta di biocalcareniti e/o biocalciruditi e/o ghiaie in matrice sabbioso-siltosa discordanti sui terreni precedenti. Parte di essi sono stati datati al Tirreniano (Buccheri, 1966).

d) depositi continentali recenti ed attuali

- Sabbie eoliche ed eolianiti würmiane . Sono presenti in limitati affioramenti ubicati a ridosso di pareti rocciose (Monte Gallo, Addaura, Arenella, Pizzo Sferrovecchio), e costituiti da sabbie calcaree, più o meno quarzose, a stratificazione incrociata.

- Depositi di travertino . Si tratta di placche di calcari concrezionati bianco grigiastri, da vacuolari a compatti, legate a manifestazioni sorgentizie di un certa rilevanza. In questi depositi si rinvencono, inoltre, molluschi polmonati (*Helix* spp.) e raramente vertebrati continentali.

Siti di affioramento sono quelli di Baida, di S. Isidoro (dove hanno spessori decametrici) ed Acqua dei Corsari.

- Depositi alluvionali . Affiorano in special modo lungo l'Oreto e nella parte alta della incisione del Fiume del Maltempo. Sono costituiti da ghiaie e ciottoli centi – decimetrici polimitici, immersi in una matrice sabbioso siltosa bruna o grigiastra. Gli spessori sono estremamente variabili, con massimi nel tratto terminale dell'Oreto (circa 50 m).

- Depositi fluvio-lacustri e palustri . Si tratta di sabbie fini con rari ciottoli centimetrici che si rinvencono, con spessori generalmente metrici, soprattutto a valle di gruppi sorgentizi (Favara di Villabate e Favara di Maredolce). Nelle anse riparate del Fiume del Maltempo (Giardinaccio) e del Papireto affiorano anche silt torbosi bruno – nerastri. Altre aree palustri si rinvenivano un tempo nelle aree di Margifaraci, Ucciardone, Maredolce, etc.

- Depositi colluviali . Sono costituiti da sabbie fini e silt bruni o rossastri con ciottoli poco arrotondati, centimetrici, sparsi a sciami o concentrati in livelli lenticolari. Gli spessori maggiori (circa 20 m), si riscontrano nei tratti terminali delle principali conoidi, al piede dei versanti dei Monti di Palermo, specie nel sottosuolo del Borgo Nuovo e del C.E.P. Si rinvencono, inoltre, frequentemente, all'interno della Piana in corrispondenza delle antiche depressioni vallive, dove sono interdigitati con i depositi alluvionali.

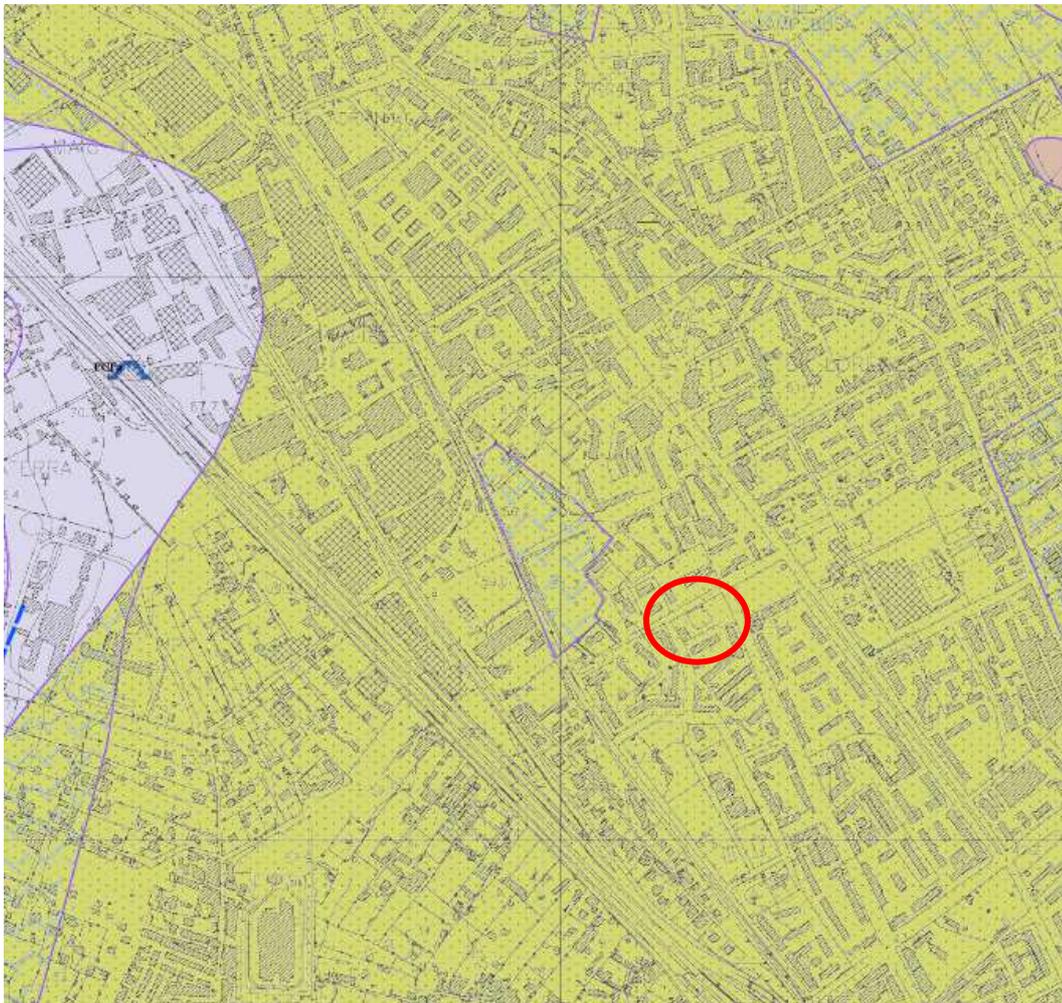
- Depositi litoranei dell'antico porto (La Cala) - Questi depositi sono molto eterogenei, prevalentemente sabbioso – ghiaioso – ciottolosi, con orizzonti di argille torbose grigio nerastre. Si riscontrano costantemente nell'area dell'antico porto, confermando, in accordo coi dati storici, la presenza di una vasta rada che probabilmente si addentrava sino a lambire il sito dove oggi sorge la chiesa di S. Antonio Abate in Via Roma.

- Materiali di riempimento e risulta . Si riscontrano, con potenza variabile, in perforazione nella Piana di Palermo, essendo legati essenzialmente al riempimento di cave di materiale lapideo, successivamente abbandonate. Nel centro storico a ciò si aggiungono i riporti legati agli imponenti lavori per la realizzazione della cinta muraria cinquecentesca ed alla regimazione del Fiume del Maltempo e bonifica del Papireto, culminate con la colmata definitiva del 1591. In quest'ultima zona si rinvengono, infatti, spessori superiori anche ai 10 m di materiali di risulta. Gli eventi bellici legati al secondo conflitto mondiale hanno determinato la creazione di ingenti cumuli di macerie che sono stati successivamente stoccati in discariche ubicate in alcune aree soprattutto costiere.

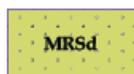
3.1 I terreni di sedime in dettaglio

Per quanto riguarda la geologia dell'area, dai sopralluoghi eseguiti e dalle indagini geognostiche effettuate, è presente per spessori variabili compresi tra qualche decimetro e circa 6 m “terreno di riporto” a matrice limo sabbiosa con brecce poligeniche e sfabbricidi sospesi, passante in

basso al ben noto complesso delle calcareniti e sabbie del pleistocene presente in gran parte del tavolato palermitano. Da quanto appreso dai sondaggi geognostici eseguiti, non è rilevabile la presenza di falda acquifera poiché impostata alla quota di circa -16/18 m dal calpestio dell'area.



SINTEMA DI MARSALA



MRSd Calcareniti di Palermo - Calcareniti e sabbie bioclastiche e marne di colore giallo e biancastro
EMILIANO P.P. - SICILIANO

Fig. 12 – Stralcio carta geologica

6. Lineamenti idrogeologici

Come evidenziato nei lineamenti geologici, l'area oggetto della presente indagine ricade su terreni di riporto recenti di modesto spessore utilizzati per il ricolmo su calcareniti e sabbie pleistoceniche.

Questi ultimi sedimenti costituiscono il principale acquifero dell'area indagata; si tratta di sedimenti dotati di permeabilità primaria del tipo per porosità con grado di permeabilità da medio ad alto ($10^{-7} < K < 10^{-4}$ m/sec) e dove sono presenti gli orizzonti calcarenitici cementati la permeabilità è del tipo secondario per fessurazione e fratturazione con grado di permeabilità alto ($10^{-1} < K < 10^{-2}$ m/sec) e con una evoluzione della permeabilità verticale in senso crescente. Sono caratterizzati da frequenti eteropie sia in senso orizzontale, che verticale. Tali variazioni determinano dei locali aumenti o delle locali diminuzioni alla filtrazione, talora fino quasi all'annullamento, nel grado di permeabilità se la percentuale di materiale fine supera il 50% nella classazione granulometrica del campione. I terreni di riporto soprastanti, sono sedimenti dotati di porosità primaria medio alta, del tipo per porosità, grado di permeabilità da medio ad alto ($10^{-5} < K < 10^{-3}$ m/sec, $K > 10^{-2}$) e con una evoluzione verticale della permeabilità in senso crescente. Sono caratterizzati da frequenti eteropie sia in senso orizzontale, che verticale. Tali variazioni determinano dei locali aumenti o delle locali diminuzione, talora fino all'annullamento, nel grado di permeabilità.

Lo spessore della coltre di riporto è confinata alla porzione settentrionale del lotto a ricolmo di un probabile scavo non più utilizzato, varia da 1 a 5 m e si rinviene anche fino a circa 6/8 m di profondità dal p.c.

7. Le indagini geognostiche eseguite

Nell'ambito del presente studio è stato concordato un piano d'indagine geognostico, geotecnico e geofisico consistente in:

- Esecuzione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo;
- Esecuzione di prove dinamiche in foro del tipo "SPT";
- Esecuzione di prospezioni sismiche con il metodo a rifrazione con interpretazione tomografica e con il metodo MASW;

al fine di risalire all'esatto assetto stratigrafico e litotecnico dell'area interessata dalla realizzazione delle opere.

I sondaggi eseguiti sono stati denominati S1 ed S2 ed i centri d'indagine sono riportati nella planimetria in allegato.

La trivellazione è stata eseguita a rotazione, a carotaggio continuo con il recupero di carote di terreno poco disturbate, con avanzamento in foro a secco ed in subordine a circolazione diretta d'acqua. La macchina utilizzata è una trivella oleodinamica marca Hydra modello joy 01 montata su mezzo cingolato semovente. L'utensile di perforazione utilizzato per il recupero dei terreni è stato un carotiere semplice del tipo T2 della lunghezza di 1,0 m e di 1,5 m del diametro (\varnothing) 101 mm, capace di estrarre carote con poco grado di disturbo del diametro di circa 86 mm. Il taglio dei terreni è avvenuto munendo il carotiere alla punta di una corona dentata con n. 14 punte "widia" ottagonali del tipo TC6. Le aste prolungo sono della lunghezza di 1,0 m e sono provviste di filettatura tronco-conica alle estremità con attacco maschio – femmina del diametro del 76 mm.

L'avanzamento in tutti i fori di sondaggio non ha reso necessario il rivestimento provvisorio con tubi metallici a recupero per mantenere in

equilibrio le pareti del foro. Durante la perforazione le carote estratte sono state riposte e quotate in apposite cassette catalogatrici scompartate la cui custodia è rimasta a carico della Committenza.

Si riportano le coordinate dei fori d'indagine nel sito e le relative profondità dal piano di calpestio che coincide con la quota bocca-foro :

	Latitudine	Longitudine	Profondità	Quota boccaforo
S1	38° 9'19.13"N	13°19'29.67"E	- 10 m	47 m slm
S2	38° 9'19.82"N	13°19'28.38"E	- 3 m	47 m slm



Fig. 13 - Ubicazione dei fori di sondaggio

Durante i sondaggi sono stati eseguiti tests penetrometrici del tipo S.P.T. – *Standard Penetration Test*, a varie quote dalla bocca foro. Per le prove è stato utilizzato il campionatore Raymond munito di punta chiusa. La prova SPT si esegue durante la perforazione a fondo foro e consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di “avviamento”;
- N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$N_{SPT} = N2 + N3$$

Si sono utilizzate le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63.5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;

- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.
- campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm chiuso alla base da una punta conica di diametro 51 mm, angolo 60° , che viene usata per i terreni ghiaiosi-sabbiosi.
-

L'esecuzione di ogni prova è stata eseguita secondo le normative previste dall' *ISSMFE* reinterpretate con le norme *ASTM* quindi curando l'infissione preliminare di 150 mm senza che siano stati superati 50 colpi e poi misurando la resistenza alla penetrazione (N) con l' infissione vera e propria in una penetrazione di 300 mm, senza che per ogni tratto siano superati 50 colpi. Si è badato che la frequenza della battitura non superava 30 colpi al minuto.

Tabella 1 - Valori N_{spt} ottenuti nel sondaggio S1

Sondaggio	Profondità		Numero colpi		
	(m)	N_{15}	N_{30}	N_{45}	N_{SPT}
S1	2,7	7	6	5	11
S1	4,5	8	9	13	22
S1	5,8	14	13	16	29
S1	8,5	31	29	33	62

Tabella 2 - Valori N_{spt} ottenuti nel sondaggio S2

Sondaggio	Profondità	Numero colpi			
	(m)	N_{15}	N_{30}	N_{45}	N_{SPT}
S2	1,6	26	34	31	65
S2	2,6	Rifiuto			

Schema delle relazioni N_{spt} /Addensamento per terreni granulari

N_{spt}	Stato di addensamento
0 - 4	Sciolto
4 - 10	Poco addensato
10 - 30	Moderatamente addensato
30 - 50	Addensato
>50	Molto addensato

Schema delle relazioni N_{spt} /Consistenza per terreni coesivi

N_{spt}	Consistenza
<2	Privo di consistenza
2 - 4	Poco consistente
4 - 8	Moderatamente consistente
8 - 15	Consistente
15 - 30	Molto consistente
>30	Estremamente consistente



Foto 1 – Posizionamento trivella sul foro di sondaggio n. 1 (S1)



Foto 2 – Cassetta catalogatrice S1C1 da 0,0 m a 5,0 m



Foto 3 – Cassetta catalogatrice S1C2 da 5,0 m a 9,0 m

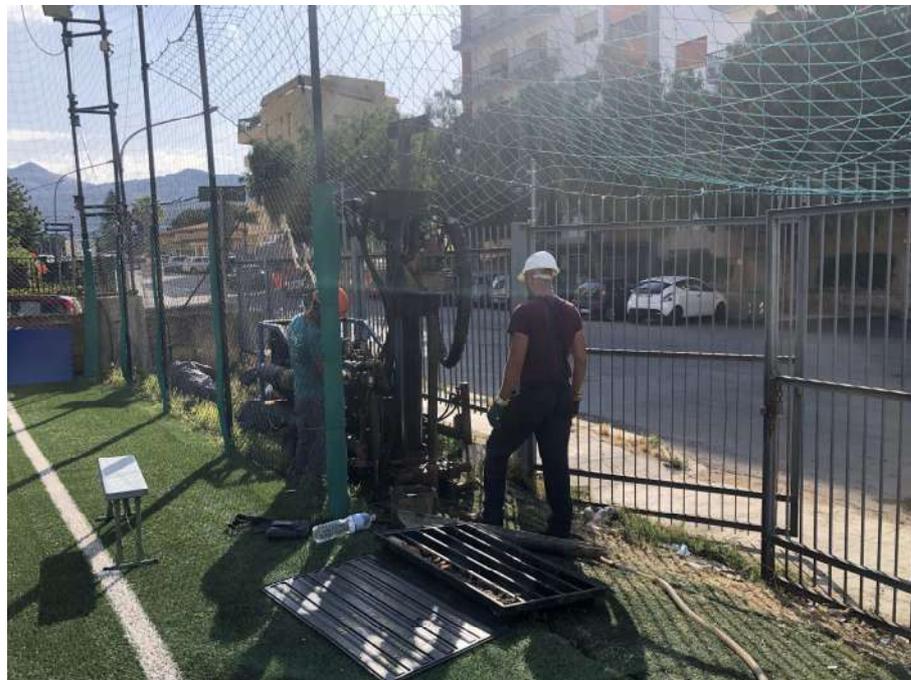


Foto 4 – Posizionamento trivella sul foro di sondaggio n. 2 (S2)



Foto 5 – Cassetta catalogatrice S2C1 da 0,0 m a 2,0 m

8. L'indagine geofisica eseguita: rifrazione e MASW

La campagna di indagine sismica è consistita nell'esecuzione di n. 2 un stese sismiche a rifrazione con interpretazione con il metodo G.R.M. e tomografico e di cui una interpretata con metodo Masw. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismografo digitale DB280S a 24 canali della Dolang ad alta risoluzione, in grado di registrare i segnali provenienti da geofoni a componente verticale e di permettere, grazie ad un software di elaborazione interno, un rapido controllo della qualità della registrazione, consentendo un pro-cessing 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 ad alta risoluzione, una frequenza massima di campionamento di 100.000 Hz, un convertitore Analogico/Digitale a 24 bit, una velocità massima di campionamento pari 16 ms e una risoluzione di acquisizione a 24 bit, con sovracampionamento e post-processing.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento vengono scelte in funzione del tipo di indagine eseguito, della lunghezza degli stendimenti, del grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nelle zone indagate.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza di battuta del peso di 9 kg, strumentata con interruttore starter, battente su una piastra metallica che è stata impiegata come dispositivo in grado di generare onde sismiche. I geofoni utilizzati sono del tipo verticale a 4,5 Hz.

Per quanto riguarda le modalità pratiche della prospezione effettuata, questa è stata eseguita disponendo lungo un allineamento di 24 metri e

18 metri 12 geofoni verticali posti rispettivamente con una equidistanza di 2 metri e di 1,5 m. Gli scoppi sono stati realizzati sia all'esterno che all'interno dello stendimento.

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda λ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde λ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la

superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

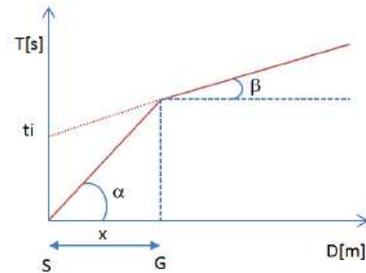
$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

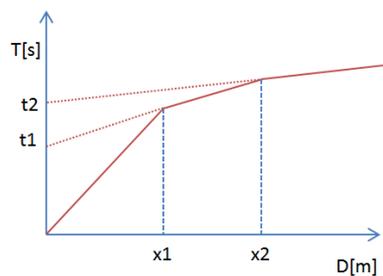
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come $V_1 = 1 / \tan \alpha$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

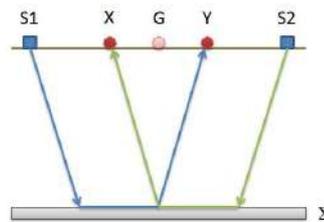


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

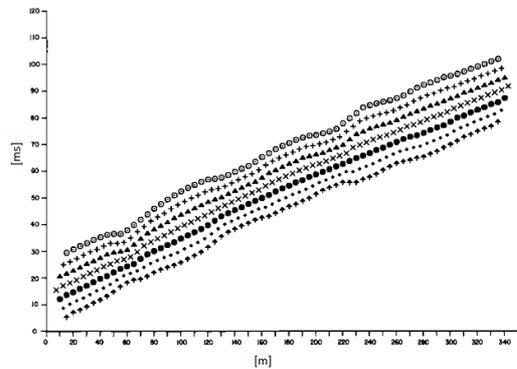
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S1Y} e T_{S2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S_1 ad X e dalla sorgente S_2 ad Y mentre T_{S1S2} è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S_1 ed S_2 , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

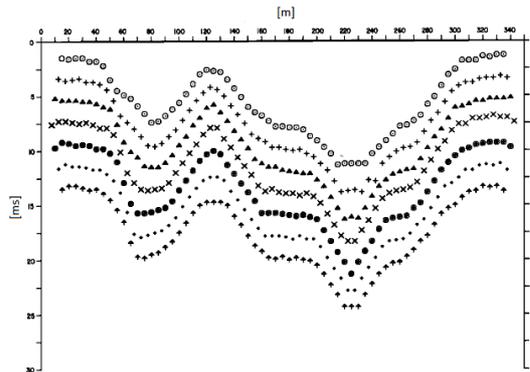
Il calcolo della funzione T_v viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo.

L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h . Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20° .

Per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche secondarie (onde S) all'interno dei terreni che costituiscono i primi 30 metri di sottosuolo, secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018 e ss.mm.ii.) si è scelta la **tecnica sismica di tipo MASW** che ha consentito la valutazione del parametro V_{Sequiv} ai fini della classificazione sismica del suolo di fondazione.

Quando un terreno viene sollecitato elasticamente, lungo l'interfaccia terreno-aria, si generano onde di Rayleigh attraverso l'interazione tra le onde di compressione P e le onde di taglio S. E' noto che la propagazione delle onde superficiali, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a $0,91V_s$ e ai fini pratici ciò si traduce nel fatto che misurando la V_r si ottiene la V_s con un errore di calcolo del tutto trascurabile. I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di

inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici è stata eseguita con l'ausilio del software "Easy Masw", prodotto dalla "GEOSTRU", che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio). Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in tre operazioni svolte in successione:

1. acquisizione multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo costituito da 24 geofoni ed una sorgente sismica;
2. estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (un profilo verticale posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico).

I comuni metodi lineari forniscono, infatti, soluzioni che dipendono dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire; in altre parole, i metodi lineari hanno un'altissima probabilità di fallire indicando un modello errato della situazione reale.

Gli algoritmi evolutivi basati su metodologie di ottimizzazione di tipo "global search" (quali ad esempio gli algoritmi genetici) sono potenzialmente in grado di fornire indicazioni più complete e precise.

A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" all'interno del quale vengono valutate di-verse possibili soluzioni. Il punto di forza del programma "Easy Masw" è quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli possibili con altre metodologie. La soluzione finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (deviazioni standard) ottenuta grazie all'utilizzo di tecniche statistiche.

Entrando nel merito della elaborazione, per la determinazione del profilo verticale della VS (e quindi la VSequiv) il primo passo riguarda la "Determinazione dello Spettro di Velocità" ed il "picking" della curva di dispersione. Successivamente si procede con la modellazione diretta o l'inversione della curva di dispersione interpretata dall'utente.

Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità, e quindi si effettua il picking della curva di dispersione cioè la selezione dei punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale. Successivamente, per ottenere il profilo verticale della VS, è necessario eseguire l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer. La contropartita è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (deviazioni standard).

Grazie alle conoscenze stratigrafiche desunte tramite i sondaggi geognostici eseguiti, si è stabilita - per l'interpretazione dei dati acquisiti - una modellistica a 3 strati. Le curve di dispersione relative al sondaggio sismico eseguito è mostrata negli allegati di seguito.

Solo il modo fondamentale della curva è stato analizzato per la determinazione del parametro V_{sequiv} .

Le analisi del profilo sismico MASW ha permesso la definizione del modello 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabili nei baricentri dello stendimento.

La profondità di penetrazione dell'indagine MASW è determinata dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione. Strati più profondi influenzano, infatti, frequenze inferiori (lunghezze d'onda maggiori) e di conseguenza sarà la frequenza più bassa a determinare la massima profondità di penetrazione (da cui l'importanza di generare un segnale con una sufficiente quantità di energia anche alle frequenze più basse). Questo valore è determinato attraverso l'approssimazione $\lambda/2.5$ ed è, quindi, chiaramente solo indicativo. Infatti, è bene precisare che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fratturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismostratigrafici coincidono con gli spessori

litologici. Alla fine del calcolo, per ogni sondaggio, viene fornita la VS media fino a 30 metri di profondità.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sismici è stata effettuata una energizzazione verticale ad un estremo dello stendimento.

Le caratteristiche di acquisizione di entrambi i sondaggi eseguiti sono le seguenti:

Sondaggio	Lunghezza totale della stesa (m)	Numero geofoni (4.5 Hz)	Posizione Off set (m)	Posizione primo geofono (m)	Posizione ultimo geofono (m)	Equidistanza tra geofoni (m)
Masw1	24	12	-5	0	22	2

L'interpretazione del sondaggio Masw 1 ha mostrato un valore di $V_{Sequiv7}$ pari a 443,21 m/s.

In base alla classificazione dei terreni prevista dal Testo Unico per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018 e successive modifiche e integrazioni, la **categoria del suolo di fondazione** risulta essere di tipo **“B”**, ossia: *“Depositi di terreni a grana grossa addensati o terreni a grana fine consistenti caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Nelle schede allegate nelle pagine successive si sintetizzano i risultati delle indagini sismiche e MASW eseguite.



Foto 1 – Momenti di acquisizione sismica SS1 e MASW1



Foto 2 – Momenti di acquisizione sismica SS2

7.0 Proprietà lito-tecniche dei terreni di sedime

Il quadro stratigrafico e fisico-meccanico dei terreni indagati ha delineato con chiarezza l'assetto dei luoghi.

Dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dal responso delle stese sismiche si è appreso che sui luoghi insiste una fascia di terreni di riporto utilizzati a ricolmo di una zona probabilmente scavata fino a circa 6/8 m in concomitanza alla realizzazione della Chiesa esistente e poi non più utilizzata. Per migliore lettura si riporta l'ubicazione delle indagini.



Fig. 14 - Ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche

In dettaglio i “*terreni di riporto*” sono di recente deposizione e sono costituiti da limi sabbiosi e/o sabbie limose marroni rossastre che fanno da matrice a breccie poligeniche prevalentemente calcaree, con spessore del deposito di 6/8 m prima di passare al sottostante complesso calcarenitico. Si precisa che il complesso dei terreni di riporto non è presente per tutto il lotto ma solo in una porzione che si tenta di schematizzare nella planimetria in allegato. Il riempimento resta confinato tra un muro di contenimento in c.a. presente sul fronte esposto alla Chiesa e la parete di calcarenite che ne rappresenta il perimetro; peraltro il fianco degli affioramenti calcarenitici è probabile che siano inclinati per maggiore stabilità del fronte stesso.

Nel dettaglio quindi il complesso dei riporti è da considerare un deposito “eterogeneo”, con marcata anisotropia geotecnica e discontinuità petrografica, per l’alternanza irregolare sia in senso orizzontale che verticale della matrice limo sabbiosa o sabbio-argillosa di colore variabile dei toni del marrone rossastro, con breccie calcaree a più altezze stratigrafiche. Volendo fornire una caratterizzazione geomeccanica di questi depositi antropici, si è fatto riferimento a dati bibliografici, elementi riavati dalla sismica eseguita e da prove SPT eseguite. Si ricorda infatti che tale tipo di prova consiste nel conteggio del numero di colpi necessari per infiggere, mediante un maglio battente, una batteria di aste nel terreno di successive quantità costanti. I dati che si ricavano forniscono valutazioni qualitative e quantitative delle caratteristiche del sottosuolo e trovano larga diffusione in meccanica dei terreni. Le penetrometrie sono utilizzate per ricavare valori indicativi, ma abbastanza vicini alla realtà, dell’angolo d’attrito interno drenato (ϕ), del

valore di densità relativa (D_r), del peso di volume (γ) per i terreni geotecnicamente “sciolti”. Per l’interpretazione del dato si fa riferimento alla somma del numero di colpi utilizzato per l’infissione degli ultimi 30 cm chiamati N_{spt} .

Per l’orizzonte di terreno di riporto “TR” presente da un minimo di -1 m dalla quota bocca foro e fino ad un massimo di -6,0/8,0 m dalla quota bocca foro dei sondaggi che coincide con il camminamento, per l’esecuzione delle verifiche geotecniche possiamo suggerire i seguenti intervalli di grandezze indici:

- ◆ peso di volume (γ) = 18,0 – 19,0 KN/mc
- ◆ coesione (c') = 0,00 KPa
- ◆ angolo d'attrito interno (ϕ') = 26 - 30 gradi

Volendo schematizzare il terreno secondo le ipotesi del Winkler, possiamo orientativamente suggerire un coefficiente di sottofondo "k" pari a 2 - 4 Kg/cmc.

Altra parametrizzazione di riferimento è :

- modulo elastico di Young (E) = 30-40 MPa
- modulo edometrico (E_{ed}) = 30-50 MPa
- modulo di deformazione di taglio (G) = 100-120 MPa
- modulo di Poisson (ν) = 0,40 - 0,35

Al di sotto della fascia dei terreni di riporto sopra descritti, si raggiunge il ***complesso delle sabbie e calcareniti bioclastiche*** pleistoceniche, ben rappresentate nel tavolato palermitano. I terreni campionati durante i

sondaggi dal punto di vista geologico, sono costituiti da “strati di calcarenite debolmente cementata a tratti ben cementata alternata in modo irregolare a letti di sabbie addensate con presenza di noduli calcarenitici” di colore giallastro talora biancastro costituenti uno strato debolmente vergente verso nord-ovest con inclinazione di circa 4°-5°. Durante la perforazione eseguita, una volta raggiunta la formazione calcarenitico-sabbiosa in posto è stata campionata con continuità fino a circa -10,0 m dal p.c. ma da riscontri pregressi si spinge oltre i 30 m dal p.c. come peraltro confermato dalle velocità delle onde primarie della sismica a rifrazione. Nonostante l’eteropia di facies che il complesso calcarenitico presenta localmente, coerentemente con la storia deposizionale, le caratteristiche dei terreni si prestano ad ospitare anche l’incastro di eventuali fondazioni indirette che possono ipotizzarsi per le strutture della canonica. Com’è noto i processi sedimentari che hanno dato luogo alla creazione di litofacies calcarenitico-sabbiose sedimentatesi nel corso delle ultime vicende geologiche hanno caratterizzato una certa variabilità sotto l’aspetto compositivo, tessiturale e diagenetico, correlabili alle modificazioni, anche repentine, del quadro idrografico e morfologico della zona di deposito. All’interno del deposito della piana di Palermo sono state infatti riconosciute (Jappelli et al,1981; Valore, 2000) almeno dodici varietà di rocce con differenti proprietà fisiche e macrostrutturali e con caratteristiche meccaniche che vanno da quelle tipiche dei materiali incoerenti a quelle delle rocce lapidee del tipo “tenero”, ossia fino a circa 15-20 MPa (150-200 kg/cmq) di resistenza uniassiale. Nelle verticali indagate nell’ambito del presente studio, adottando la medesima classificazione in uso nella

letteratura geotecnica, è stata riconosciuta una calcarenite a grana fine e media denominata “CL” frammista a livelli sabbiosi (CS). La permeabilità risulta elevata. Nella calcarenite riscontrata in cantiere afferente alla tipologia “CL” i clasti sono prevalentemente litoidi costituiti da frammenti di rocce carbonatiche e subordinatamente silicee e da grani monocristallini di sparite e di quarzo ed, in quantità minore, da bioclasti. La porosità in generale risulta bassa (6-8%), da analisi specifiche pregresse, gli indici di Kahn (Packing Density e Grain Contact) indicano che la struttura della calcarenite è prevalentemente dovuta al *bonding*; cioè ai legami interparticellari pre e post-genetici (legami elettrochimici ecc...).

Volendo dare una descrizione del comportamento meccanico di questi terreni che oggi rappresentano l’obiettivo dello studio, si riportano valori tratti dalla bibliografia accademica ma soprattutto valori tratti dall’interpretazione delle prove SPT eseguite. Nei paragrafi precedenti si sono riportati i valori misurati, mentre in allegato è riportata schematicamente l’interpretazione dei risultati secondo vari autori. Nota importante è inoltre che durante tutta la perforazione tutti i fori non sono stati condizionati con tubazione provvisoria di rivestimento per il mantenimento della verticalità del foro evitando il franamento delle pareti. In ogni caso l’interpretazione del parametro puntuale per le verifiche geotecniche resta un compito del progettista geotecnico, in accordo a quanto prevede il D.M. 14.01.2008 al punto “6.2.2 – Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica”.

Intervalli di valori fisico-meccanici

- ◆ Angolo d'attrito interno (ϕ') : $35^\circ - 43^\circ$
- ◆ Coesione (c') : $0,0 - 5,0$ t/mq
- ◆ Peso di volume (γ) : $19 - 20$ KN/mc

- ◆ - modulo elastico di Young (E) = $100 - 200$ MPa
- ◆ - modulo edometrico (Eed) = $100 - 150$ MPa
- ◆ - modulo di deformazione di taglio (G) = $200 - 300$ MPa
- ◆ - modulo di Poisson (ν) = $0,30 - 0,35$
- ◆ Resistenza a compress. (σ_r) = $5 - 10$ MPa (ove lapidea)
- ◆ Spessore: oltre 30 m
- ◆ N_{SPT} : = $30-35$ (a volte anche $50-60$)
- ◆ Coeff. di Winkler (k) = $10 - 12$ kg/cmc

Calcolando un valore di N_{spt} medio sull'intero spessore del complesso calcarenitico si è ottenuto un valore di circa 30 colpi, facendo riferimento alla tabella interpretativa sottostante emerge che i termini ricadono sostanzialmente nell'ambito "densa", cui competono valori di densità relativa di circa 80 % e riferendosi ai diagrammi riportati nella letteratura elaborati da vari autori corrisponde un angolo d'attrito interno tra 35 e 40 gradi. Ciò lascia supporre che l'alternanza sia di sabbie variamente addensate e calcareniti del tipo a cementazione tenera, tranne rari intervalli lapidei.

Tabella interpretativa di riferimento per terreni sciolti (da Terzaghi e Peck, 1948)

<i>Resistenza alla penetrazione</i> ($N_{colpi}/305\text{ mm}$)	Densità relativa
0 - 4	Molto poco densa
4 - 10	Scarsamente addensata
10 - 30	Mediamente addensata
30 - 50	Densa
> 50	Molto densa

Si ricorda comunque che nota l'eterogeneità del sedime, e le sue proprietà geomeccaniche sia nei confronti della resistenza ad azioni di taglio che nei confronti della comprimibilità, si suggerisce di ricorrere ad una fondazione indiretta mediante pali in c.a. trivellati armati e gettati in opera, verificati in funzione delle sollevazioni verticali e delle caratteristiche del terreno a supporto delle fondazioni della canonica.

8. Comportamento geologico-sismico dei depositi

Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali, in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria. Determinare il comportamento di un litotipo, vale a dire la risposta a sollecitazioni costanti o variabili nel tempo, significa definire le relazioni sforzo-deformazioni sue caratteristiche, tramite i moduli elastici e i moduli di taglio. In particolare, in un contesto di prevenzione da rischio sismico, di notevole importanza è la valutazione della "Risposta sismica locale", che consiste nel definire come i terreni più superficiali d'interesse ingegneristico, rispondono alle sollecitazioni prodotte da un evento sismico, modificandone le caratteristiche spettrali, nel senso di amplificazioni e/o attenuazioni in termini di ampiezze delle onde.

Da tali modifiche, è noto, dipendono i maggiori danni alle strutture durante una scossa di terremoto, poiché la vulnerabilità di un edificio è funzione oltre che della durata e dell'intensità della sollecitazione, principalmente dall'ampiezza delle onde di taglio. L'assetto litostratigrafico locale del sito investigato, e comunque di gran parte dell'intero territorio, rappresenta, da questo punto di vista, una tipica "situazione geologica a rischio", per la notevole possibilità che si verifichino fenomeni di amplificazioni o risonanze dei sistemi terreno-strutture.

La ricostruzione della successione litostratigrafica dedotta dagli studi effettuati, prevede una alternanza di materiale sciolto o parzialmente

lapideo su un sub strato calcareo a comportamento litoide oltre una certa profondità.

Una tale situazione geolitologica nonché geomeccanica, fa sì che uno sciame sismico che percorre lo strato litoide (basamento con $V_s > 800$ m/sec), presenta delle velocità delle onde sismiche di taglio abbastanza elevate, ma tutte le onde vengono attenuate secondo una ben determinata legge di attenuazione (resta sempre valida la regola generale che i danni prodotti e quindi la distribuzione degli effetti, sono funzione inversa alla distanza dalla sorgente e dal meccanismo di liberazione dell'energia).

Viceversa i terreni sciolti più superficiali, a differenza del basamento litoide che ha una risposta elastica alle sollecitazioni, tendono ad avere un comportamento visco-elastico, e quindi attenuano certe frequenze, mentre ne amplificano altre.

Alla luce di quanto detto, vista la possibilità oggettiva che alcune frequenze subiscano un'amplificazione (da tenere ben presente nel calcolo strutturale di edifici da realizzare), risulta importante verificare la "Risposta sismica locale" del sito oggetto di studio.

Al tal fine è stata condotta una triplice verifica, anche avvalendosi di altri dati in possesso dello scrivente acquisiti per altri lavori in zona, per l'ottenimento della V_s per il metodo speditivo della verifica della categoria del suolo di fondazione in ottemperanza a quanto prevede il D.M. 17.01.2018, ed in particolare :

- rilievi con sismica a rifrazione secondo il metodo MASW;
- rilievi con misura della V_{S30} sulla base di $N_{spt\ 30}$;
- rilievi di microtremore ambientale con tromografo digitale;

Dal raffronto delle tre metodologie si è ottenuto :

- con il metodo MASW, una velocità delle onde di taglio di 443 m/sec con la velocità equivalente prevista nelle NTC 2018 e 681 m/sec se consideriamo l'approccio delle NTC2008, che rientrano comunque nell'intervallo di velocità “360 – 800 m/sec” consono alla categoria del suolo di tipo “B”;
- con la media sui dati di N_{spt30} , come prevedevano le NTC2008, ottenendo un valore medio complessivo di $V_{N_{spt30}} = 73$ colpi, mediando tutti i dati ottenuti a varie profondità di sondaggi eseguiti dallo scrivente molto vicini alla zona e comparabili, quindi maggiore di 50 (essendo i terreni del tipo granulare), valore che rientra nella categoria del suolo di tipo “B”;
- con la misura del microtremore ambientale “noise” mediante il metodo HVSR, che in misure eseguite dallo scrivente vicini ha dato una velocità equivalente sui 30 m tra 400 e 650 m/sec, velocità che rientrano nell'intervallo di velocità “360 – 800 m/sec” consono alla categoria del suolo di tipo “B”;

In breve gli studi microzonazione sismica eseguiti con varie metodologie sono risultati confrontabili ed hanno confermato il valore di V_{Sequiv} compreso tra “360 – 800 m/sec” consono alla **categoria del suolo di tipo “B”** come descritto per gli studi semplificati che fanno riferimento al D.M. 17.01.2018. Il **coefficiente di amplificazione topografica sarà “T1”**.

8.1 Potenziale di liquefazione

In senso stretto 'liquefazione' è lo stato fisico in cui può venire a trovarsi un terreno sabbioso saturo quando la sua resistenza al taglio si riduce drasticamente per effetto dell'incremento e dell'accumulo delle pressioni interstiziali. In senso ampio con il termine 'liquefazione' si indicano differenti fenomeni fisici (liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione) molto diversi tra loro, osservati nei materiali granulari saturi durante l'applicazione di carichi dinamici e ciclici in condizioni non drenate. Un terreno granulare saturo è costituito da un insieme di grani a contatto tra loro e da acqua interstiziale. La resistenza è di tipo frizionale, dipende solo dalla tensione media di contatto (σ') e può essere espressa ad es. dalla relazione di Mohr-Coulomb:

$$\tau = \sigma' \operatorname{tg}\varphi' = (\sigma - u) \operatorname{tg}\varphi' \quad (\sigma: \text{tensione totale}; u: \text{pressione interstiziale}).$$

Durante lo scuotimento sismico (carico dinamico e ciclico) si realizzano condizioni non drenate perchè l'acqua rimane intrappolata nei vuoti e la pressione interstiziale varia di Δu con conseguente variazione della resistenza al taglio: $\tau = \sigma' \operatorname{tg}\varphi' = (\sigma - u - \Delta u) \operatorname{tg}\varphi'$. Se la deformazione di taglio γ indotta dalla sollecitazione è maggiore di γ_w , la Δu media è progressivamente crescente e la resistenza al taglio può ridursi drasticamente fino ad annullarsi (per $\Delta u = \sigma'$ iniziale) e il terreno tende a comportarsi come un fluido viscoso. Prima dello scuotimento sismico un generico elemento di volume all'interno di un deposito è soggetto, rispettivamente sui piani orizzontale e verticale, agli sforzi normali efficaci σ'_v e σ'_h nonché ad eventuali sforzi di taglio τ_D (driving stresses) parte della resistenza disponibile in σ'_v e τ_D , parte della resistenza

disponibile in direzione orizzontale e verticale è mobilitata per contrastare gli sforzi di taglio τ_D .

Durante il terremoto l'elemento di volume è soggetto a sforzi di taglio aggiuntivi alternati τ_{cyc} . Tali sforzi inducono nei terreni sciolti la tendenza ad una diminuzione di volume che, essendo impedita (condizioni non drenate), genera un incremento della pressione interstiziale, la degradazione della rigidità e deformazioni sempre più elevate poi gli sforzi efficaci (e resistenza) si riducono fino ad annullarsi quindi il terreno si comporta come un fluido viscoso.

In base al D.M. 17.01.2018 la liquefazione si può escludere qualora sia verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. *Eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ;*
2. *Accelerazioni massime al p.c. in condizioni free-field minori di 0,1 g ;*
3. *Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna (per p.c. suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali) ;*
4. *Sabbie pulite caratterizzate da $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, essendo (N) rispettivamente $(N1)_{60}$ e q_{c1N} rispettivamente il valore del numero di colpi da SPT e della resistenza di punta da CPT, normalizzati e corretti ;*
5. *Distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche.*

Sulla base delle analisi condotte e parametrize a quanto descritto nel D.M. 14.01.2008, il tratto potenzialmente liquefacibile non si materializza poichè non si tratta di sabbie pulite omogenee ma di una trasposizione prudenziale dell'alternanza calcarenite tenera/sabbia addensata.

Allo stesso modo, essendo i terreni saturi oltre i 15 m dal p.c., ed essendo la zona di Palermo interessata da numerosi terremoti di intensità

generalmente non molto elevata ma comunque (secondo il catalogo storico CPTI11 con magnitudo) di intensità massima raggiunta di circa 5.6, o anche pari a circa 6.5 (la figura sottostante riporta la storia sismica di Palermo), l'area in oggetto risulta a pericolosità medio-alta, come tutta la Sicilia settentrionale. Va ricordato che la zonazione sismogenetica alla base della carta di pericolosità tiene conto principalmente dei terremoti storici e potrebbe risentire della carenza di informazioni sulla sismicità a mare, che invece emerge chiaramente dai dati strumentali degli ultimi 20-30 anni.

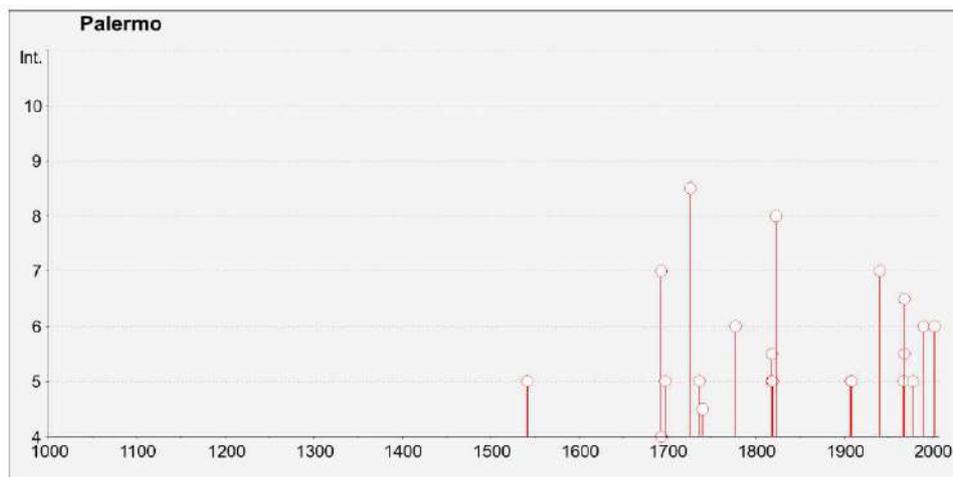


Fig. 14 - Terremoti storici della città di Palermo

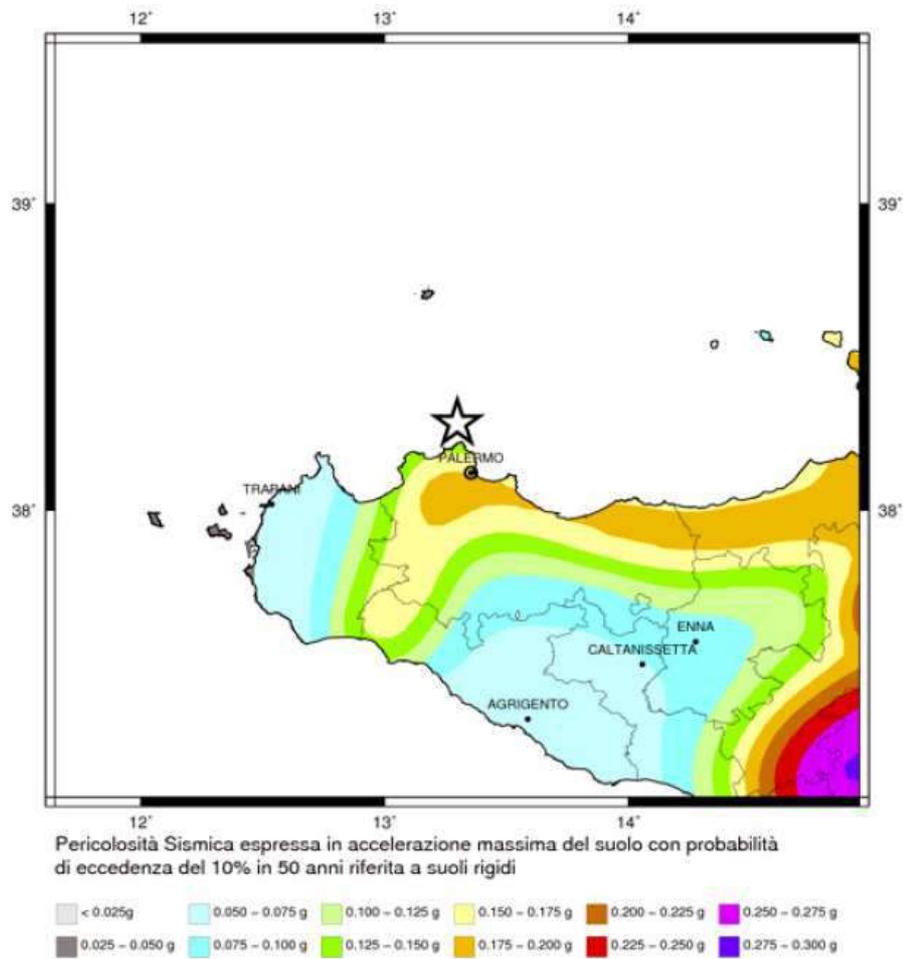


Fig. 15 - Pericolosità sismica della fascia settentrionale della Sicilia

9. Caratterizzazione terreni ai sensi circ. AA.TT. n.3/20.6.14

In osservanza a quanto previsto nella circolare AA.TT.AA. n. 3 del 20.06.2014, in assenza di una vera e propria microzonazione sismica locale, l'area in studio è stata indagata attraverso l'elaborazione dati ottenuta dall'esecuzione di rilievi sismici eseguiti i cui risultati si riportano in allegato, con l'ottenimento della misura della velocità delle onde sismiche longitudinali (V_p) e trasversali o di taglio (V_s), ed ottenimento anche dei valori di V_{Sequiv} necessari al riconoscimento della tipologia e della categoria del suolo di cui alla D.M. 17.01.2018.

A complemento del lavoro svolto si sono allegate alla relazione le seguenti carte tematiche :

- Carta geolitologica (scala 1:2.000);
- Carta geomorfologica (scala 1:2.000);
- Carta idrogeologica (scala 1:2.000);
- Carta litotecnica (scala 1:2.000);
- Carta delle pericolosità geologiche (scala 1:2.000);
- Carta delle maggiori pericolosità sismiche (scala 1:2.000);
- Carta delle indagini (1:500)
- Carta delle suscettività d'uso all'edificazione (1: 2.000)
- Schede interpretative delle prove eseguite;
- Sezione geologica.

10. La cartografia prevista alla circolare TT.AA. n. 3/20.6.14

10.1 La carta geolitologica

La carta geologica in allegato risulta monotematica con unico litotipo afferibile al Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo alternate a sabbie calcarenitiche del pleistocene presente con un pacco di oltre 30 m. Caratteristica peculiare è la parziale presenza di terreni di riporto serviti, come detto, per ricolmo di una parte di scavo poi non più utilizzato per la realizzazione della Chiesa.

Le emergenze rilevate sono di modesta entità e non rappresentano un ostacolo all'intervento ricorrendo a fondazioni indirette con pali in c.a..

Riguardo quanto riportato nelle note del Dipart. della Protezione Civile si precisa che l'area è una zona stabile con substrato sovraconsolidato, non è interessata da potenziale liquefazione ma potrebbero aversi cedimenti differenziali pertanto il ricorso a pali di fondazione, non vi sono aree di deformazione dovute a faglie attive e/o capaci, non è area di fondovalle, non è una falda detritica, non è conoide alluvionale né area con cavità sepolte, non è orlo di scarpata morfologica con dislivello tra 10 o 20 m o maggiore di 20 m, non è orlo di terrazzo fluviale con dislivello tra 10 e 20 m o oltre 20 m, non è cresta di versante, né scarpata sepolta, né valle sepolta stretta o larga.

10.2 La carta geomorfologica

L'analisi della carta geomorfologica riportata in allegato non evidenzia frane in atto né movimenti lenti e superficiali dovuti alla mancata regimazione delle acque piovane. La struttura geologica del sub-strato ha caratteristiche tali da non creare turbative all'azione antropica in progetto

se si osserveranno i criteri del buon costruire suggeriti nei precedenti paragrafi. L'area ha una tipica evoluzione morfologica gestita dalle acque d'infiltrazione e superficiali, con assenza di segni evolutivi per la diffusa presenza del tessuto urbano. La zona dove è ubicato il lotto non è un'area di fondovalle, ed è ben lontana da pericolosità di esondazione per l'assenza di alvei sia per la realizzazione della viabilità e poi ancora le urbanizzazioni primarie presenti nella zona. Si conclude pertanto che non sussistono problematiche in atto o potenziali che possono influenzare negativamente l'insediamento a patto che vengano rispettate le prescrizioni riportate nei precedenti paragrafi.

10.3 La carta idrogeologica

La carta idrogeologica in allegato riporta le porzioni di territorio pertinenti alla variante ed alla realizzazione del manufatto. Le caratteristiche idrogeologiche dei termini presenti nell'area in studio sono diversificate in funzione delle caratteristiche intrinseche che assume il litotipo sia in superficie che in profondità. Come evidenziato nei lineamenti geologici, l'area oggetto della presente indagine ricade su terreni di riporto recenti di modesto spessore utilizzati per il ricolmo su calcareniti e sabbie pleistoceniche.

Questi ultimi sedimenti costituiscono il principale acquifero dell'area indagata; si tratta di sedimenti dotati di permeabilità primaria del tipo per porosità con grado di permeabilità da medio ad alto ($10^{-7} < K < 10^{-4}$ m/sec) e dove sono presenti gli orizzonti calcarenitici cementati la permeabilità è del tipo secondario per fessurazione e fratturazione con grado di permeabilità alto ($10^{-1} < K < 10^{-2}$ m/sec) e con una evoluzione

della permeabilità verticale in senso crescente. Sono caratterizzati da frequenti eteropie sia in senso orizzontale, che verticale. Tali variazioni determinano dei locali aumenti o delle locali diminuzioni alla filtrazione, talora fino quasi all'annullamento, nel grado di permeabilità se la percentuale di materiale fine supera il 50% nella classazione granulometrica del campione. I terreni di riporto soprastanti, sono sedimenti dotati di porosità primaria medio alta, del tipo per porosità, grado di permeabilità da medio ad alto ($10^{-5} < K < 10^{-3}$ m/sec , $K > 10^{-2}$) e con una evoluzione verticale della permeabilità in senso crescente. Sono caratterizzati da frequenti eteropie sia in senso orizzontale, che verticale. Tali variazioni determinano dei locali aumenti o delle locali diminuzione, talora fino all'annullamento, nel grado di permeabilità.

Lo spessore della coltre di riporto è confinata alla porzione settentrionale del lotto a ricolmo di un probabile scavo non più utilizzato, varia da 1 a 5 m e si rinviene anche fino a circa 6/8 m di profondità dal p.c.

La falda si imposta oltre i 18-20 m dal p.c.

La vulnerabilità della falda, se verranno garantiti gli standard sanitari, sarà bassa, nota la tipologia di attività da svolgere (abitativa con allaccio alla fognatura).

Nell'area non vi sono sorgenti o altre emergenze idriche. Non vi sono comunque aree sottoposte a regimi di salvaguardia secondo quanto previsto al D.P.R. 236/88 oggi art. 94 del D.lvo 152/06.

10.4 La carta litotecnica

La carta litotecnica in allegato riporta una classificazione dei sedimenti secondo quanto previsto alla circolare assessoriale AA.TT.AA. n.

3/2014, all'allegato "D". E' stata così distinta una unità litotecnica in base alle caratteristiche fisico-meccaniche sia della coltre di coltre superficiale che del sub-strato.

- COPERTURA : terreni di riporto, si tratta di limi sabbiosi e sabbie limose, di colore bruno tabacco o rossastro, con tessitura rimaneggiata, non di rado con inclusi litoidi minuti calcarei spigolosi. Detti terreni in accordo con la loro origine non posseggono proprietà tecnologiche eccelse, anzi sono da evitare come sedime delle fondazioni di edifici per la loro elevata compressibilità che ne causa riduzioni di volume se sollecitati verticalmente. In relazione a quanto previsto all'allegato D della circolare predetta sono sedimenti a grana fine del tipo "F1c". Presenti fino ad un massimo di 6/8 m dal p.c.

- SUBSTRATO : si tratta di un'alternanza irregolare sia verticale che orizzontale di calcareniti bioclastiche da poco a mediamente cementate a sabbie addensate; dal punto di vista litotecnico il comportamento generale dell'ammasso è "incoerente" e secondo lo schema della circolare si identifica con la dicitura "F1".

Si rimanda ai paragrafi precedenti per quanto riguarda la parametrizzazione geotecnica delle terre.

10.5 La carta delle pericolosità geologiche

La carta delle pericolosità geologiche è una carta di sintesi che tiene conto delle particolarità esposte nelle precedenti cartografie. In essa non sono state individuate pericolosità dovute alla presenza di erosione libera e/o concentrata o per frana in atto o per alluvionamento. In generale sono state individuate vulnerabilità che possono compromettere la

determinazione delle scelte di pianificazione urbanistica generale e di dettaglio tanto che vengono rese le seguenti prescrizioni.

L'area non ricade in area PAI ma per la presenza di un riempimento parziale del lotto con terreno di riporto, per la realizzazione dell'immobile sono necessarie fondazioni indirette; E' fatto assoluto divieto di accumulare i terreni di scavo nel tratto in corrispondenza del muro di sostegno in c.a. presente sul fronte nord in corrispondenza della Chiesa e si obbliga ad utilizzare mezzi di trasporto capienti per recepire i terreni di scavo ed allontanarli a discarica autorizzata senza che avvenga uno stoccaggio temporaneo nel lotto.

10.6 La carta delle pericolosità sismiche

La carta delle maggiori pericolosità sismiche riporta la presenza di terreni di riporto sulle calcareniti e sabbie bioclastiche che già da 7/8 m posseggono velocità delle onde di taglio superiori a 800 m. Le calcareniti a loro volta in profondità soggiacciono sul basamento calcareo. L'unità litologica non è quindi omogenea. Si tratta di "sedimenti a grana grossa e media" a comportamento "incoerente"; i terreni sono in falda sotto i 15 m ma non sono liquefacibili. Le emergenze rilevate sono di modesta entità e non rappresentano un ostacolo all'intervento. Sono necessarie fondazioni indirette.

Riguardo quanto riportato nelle note del Dipart. della Protezione Civile si precisa che l'area è una zona stabile con substrato sovra consolidato, non è interessata da potenziale liquefazione ma sono possibili cedimenti differenziali nei terreni fino a 6/8 m dal p.c., non vi sono aree di deformazione dovute a faglie attive e/o capaci, il litotipo non è unico

quindi la zona non è sismicamente omogenea con possibilità di fenomeni di amplificazione sismica, non è area di fondovalle, né falda detritica, né conoide alluvionale né area con cavità sepolte, non è orlo di scarpata morfologica con dislivello tra 10 o 20 m o maggiore di 20 m, non è orlo di terrazzo fluviale con dislivello tra 10 e 20 m o oltre 20 m, non è cresta di versante, né scarpata sepolta, né valle sepolta stretta o larga.

Si rimanda alla scheda in allegato per le specifiche ed i riferimenti dei moduli sismici dinamici ottenuti.

10.7 La carta delle indagini

A supporto dello studio di seguito sono stati eseguiti n. 2 rilievi sismici e due sondaggi geognostici di cui descritto le metodologie ed i risultati nei paragrafi precedenti. In allegato le cartografie con l'ubicazione delle indagini.

10.8 La carta della suscettività all'uso dell'edificazione

Dovrà aversi cura di prevedere fondazioni del tipo indiretto in c.a. per l'edificio della canonica. Pertanto l'edificazione risulta condizionata ma solo per la parte edificata.

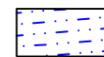
11. Conclusioni

Alla luce di quanto emerso dal rilevamento di campagna e dalle considerazioni geomorfologiche, litotecniche ed idrogeologiche effettuate, l'area in studio non ha caratteristiche tali da risultare ostative alle esigenze presentate dalla variante in progetto. Essa si presta, infatti, alla realizzazione delle opere di urbanizzazione, tuttavia è opportuno ricordare l'esigenza di una adeguata regimazione delle acque di apporto meteorico da convogliare nella fognatura acque bianche, come pure la necessità di utilizzare fondazioni indirette per trasferire i carichi delle strutture al sedime compatibilmente con le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni. Con tali premesse si può esprimere parere geologico-tecnico e geomorfologico favorevole per la variante in esame, sempre considerando la costante presenza del geologo durante i lavori di scavo affinché possano effettuarsi verifiche per una corretta impostazione delle strutture di fondazione oltre alla realizzazione delle opere idrauliche preventive per lo smaltimento dei decorsi superficiali, in osservanza a quanto previsto dalla normativa vigente. Per i dettagli si rimanda ai paragrafi precedenti.

Dott. Geol. Francesco Zerilli



Seguono allegati



Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo,
alternate a livelli di sabbie gialle addensate
Pleistocene sup.

Carta geologica
1:2.000



L'area è caratterizzata da blanda pendenza. Nel lotto non vi sono tracce di frane attive. L'area è stabile e non rientra in zone P.A.I.

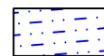


Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo, alternate a livelli di sabbie gialle addensate Pleistocene sup.

Carta geomorfologica
1:2.000



*Il complesso sedimentario è costituito da un deposito calcarenitico-sabbioso
 Il suo spessore è maggiore di 30 m dal p.c. La permeabilità è del tipo
 primario per porosità con coefficiente medio-alto. Assente il ruscellamento
 superficiale, la falda è del tipo profondo*



*Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo,
 alternate a livelli di sabbie gialle addensate
 Pleistocene sup.*

Carta idrogeologica
 1:2.000



Deposito di copertura di terreno di riporto
 coesione drenata (c') = nulla
 angolo attrito interno (ϕ') = 25°-27°
 peso di volume (γ) = 1,75-1,85 t/mc

 Calcareni e sabbie
 coesione drenata (c') = 0,0 - 5,0 t/mq
 angolo attrito interno (ϕ') = 35° - 43°
 peso di volume (γ) = 1,9-2,0 t/mc



Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo,
 alternate a livelli di sabbie gialle addensate
 Pleistocene sup.

Carta litotecnica
 1:2.000



L'area in studio non è interessata da pericolosità geologiche che limitano o inibiscono l'edificazione, non vi sono situazioni di instabilità in atto. La regimazione delle acque meteoriche da convogliare in fognatura acque bianche è necessaria, come l'utilizzo di fondazioni indirette su pali in c.a. per la strutture edili. Nell'area non vi sono elementi paleontologici, geologici o mineralogici di rarità scientifica o di tutela o suscettibili di tutela secondo quanto previsto al LL.RR. 80/77; 98/81; 14/88



Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo, alternate a livelli di sabbie gialle addensate Pleistocene sup.

**Carta pericolosità
geologiche
1:2.000**



L'area presenta pendenza generalizzata <math><15^\circ</math>, pertanto è stabile; possono determinarsi fenomeni di amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta a differente risposta sismica tra substrato e copertura in caso di sisma; i terreni non sono liquefacibili poiché la falda è profonda



Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo, alternate a livelli di sabbie gialle addensate Pleistocene sup.

**Carta pericolosità
sismiche**
1:2.000



La suscettività d'uso è condizionata ad una corretta configurazione della stabilità delle fondazioni della struttura della canonica in relazione alle caratteristiche geologiche e fisico-meccaniche dei terreni presenti nell'area



Complesso delle calcareniti bioclastiche di tipo giallo, alternate a livelli di sabbie gialle addensate Pleistocene sup.

**Carta suscettività
all'uso edificatorio
1:2.000**

PIAZZA SAN MARINO

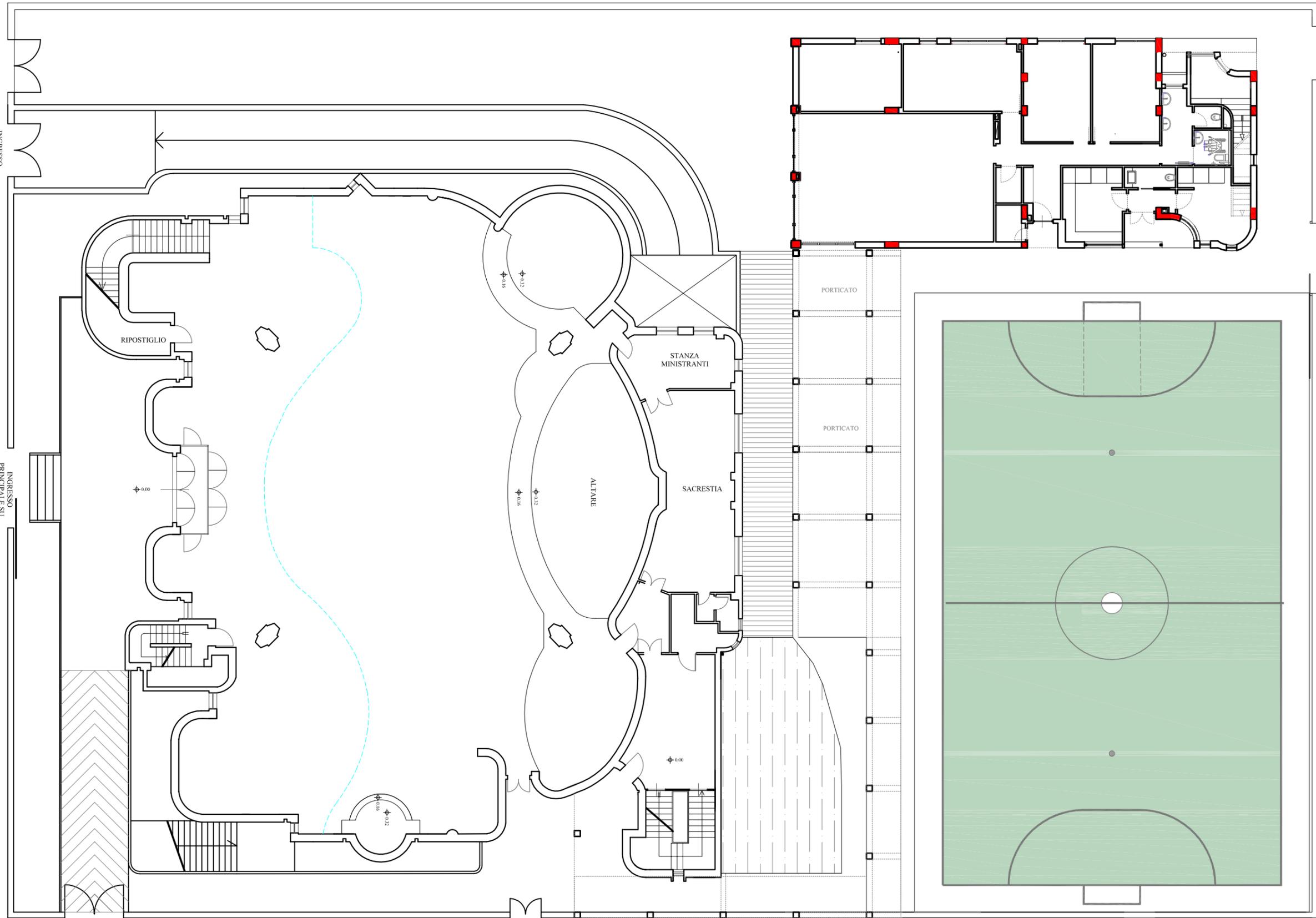
INGRESSO TEATRO

INGRESSO PRINCIPALE SU PIAZZA SAN MARINO

INGRESSO DISABILI SU VIALE FRANCIA

INGRESSO PEDONALE SU VIALE FRANCIA

Viale Francia



VIA MONTECARLO



PIANO TERRA

Scala 1:200

Ubicazione planimetrica dei sondaggi geognostici



Dott. Geol. Francesco Zerilli

Località : Piazza San Marino, 2 - Palermo

Sondaggio : Sond. 1

Cantiere : Realizzazione canonica

Quota : 0,00 - 9,00 m

Committenza : Parrocchia Mater Eccetiae

Data : 17.06.2021

Profondità (m)	Spessore (m)	Scala 1:50	Colonna litostratigrafica 0,0 m bocca-foro	Descrizione della stratigrafia di sondaggio	Percentuale carotaggio 20 40 60 80	Quota falda	R.O.D. (%)				Campione rimaneggiato	Campione indisturbato	S.P.T. (n. colpi)										
							20	40	60	80			Quota inizio prova	per 15 cm	per 30 cm	per 45 cm							
2,40	2,40			Terreno di riporto costituito da breccie calcaree di dimensioni centimetriche intercalate ad una matrice sabbiosa grossolana (per i primi 0,90 m dal p.c.) e sabbie limose di colore giallo-rossastre che presentano inclusi litici polimittici eterometrici.																			
8,00	5,60			Terre rosse residuali costituite da una matrice argillo-sabbiosa di colore rossastra con intercalati elementi calcarenitici di dimensioni da millimetriche a centimetriche.							4,30												
9,00	1,00			Sabbie e calcareniti variamente cementate di colore biancastro, dilavate nelle operazioni di carotaggio. Da 8,80 m in poi si presentano a consistenza lapidea, ben cementate, con tracce di ossidazione di colore ocreo.																			
<u>Utilizzo di doppio carotiere</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m dalla quota : alla quota :		<u>Utilizzo di corona diamantata</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m dalla quota : alla quota :		<u>Utilizzo di tubi di rivestimento</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m dalla quota : alla quota :		<u>Misure con freatometro</u> data : quota : data : quota :		<u>Cassette catalogatrici</u> <table border="1"> <tr> <td>C 1</td> <td>0,00</td> <td>5,00</td> </tr> <tr> <td>C 2</td> <td>5,00</td> <td>9,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				C 1	0,00	5,00	C 2	5,00	9,00						
C 1	0,00	5,00																					
C 2	5,00	9,00																					

Dott. Geol. Francesco Zerilli

Località : Piazza San Marino, 2 - Palermo

Sondaggio : Sond. 2

Cantiere : Realizzazione canonica

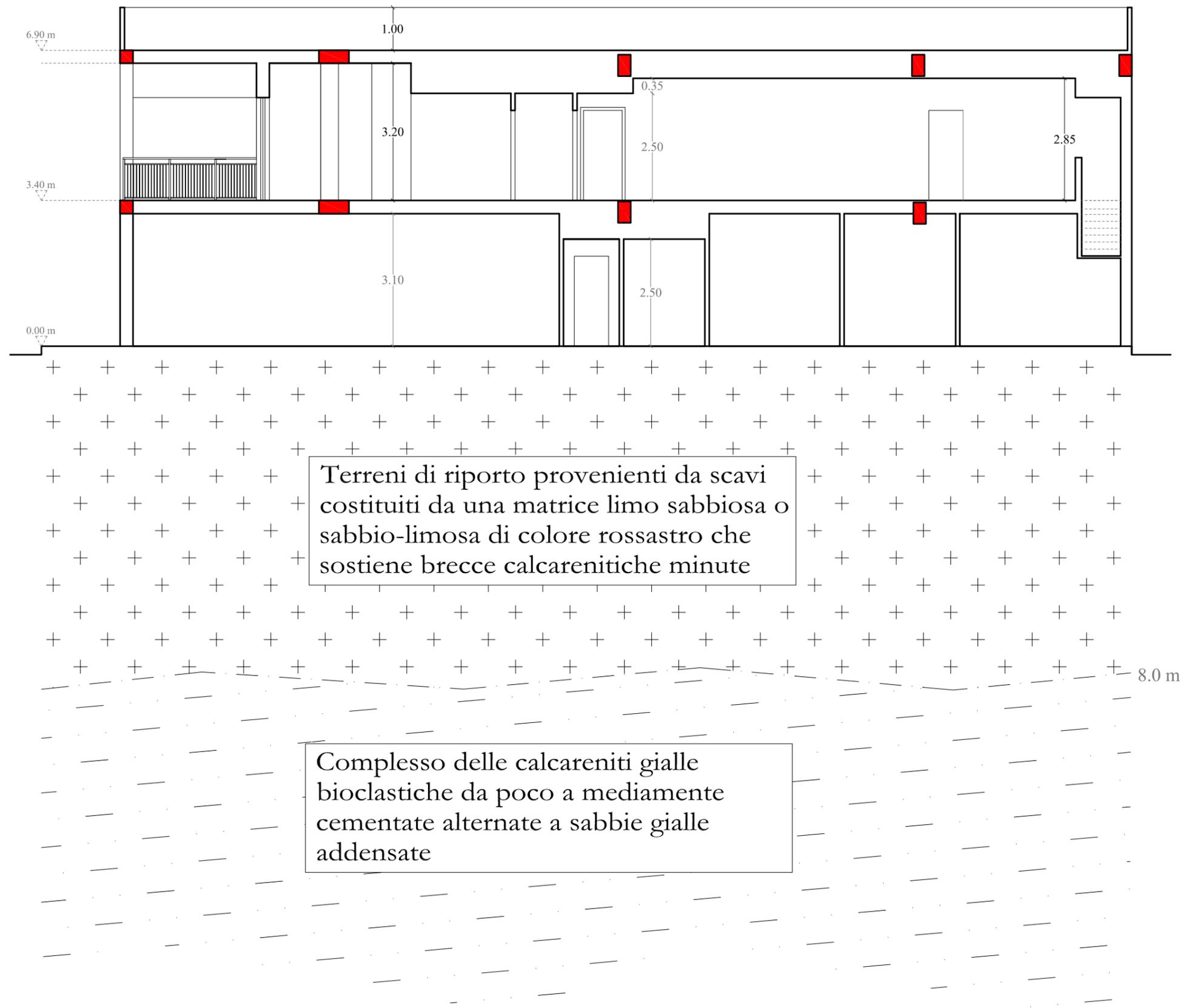
Quota : 0,00 - 3,00 m

Committenza : Parrocchia Mater Eccetiae

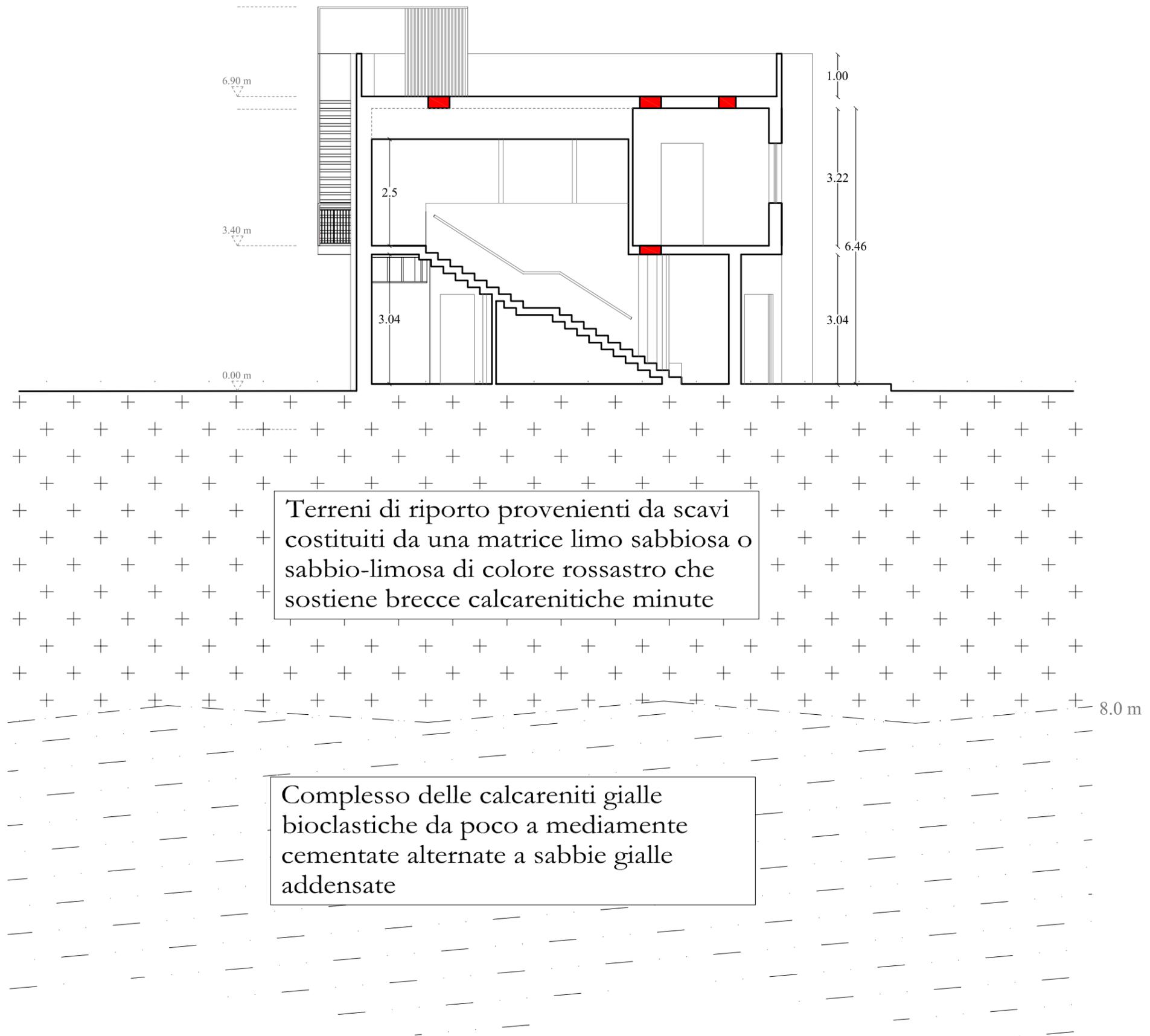
Data : 17.06.2021

Profondità (m)	Spessore (m)	Scala 1:50 Colonna litostratigrafica 0,0 m bocca-foro	Descrizione della stratigrafia di sondaggio	Percentuale carotaggio 20 40 60 80	Quota falda	R.O.D. (%)				Campione rimaneggiato	Campione indisturbato	S.P.T. (n. colpi)													
						20	40	60	80			Quota inizio prova	per 15 cm	per 30 cm	per 45 cm										
0,20	0,20																								
	2,80		<p>Terreno di riporto costituito da sabbie limose di colore giallo-rossastre che presentano inclusi litici polimitici eterometrici.</p> <p>Sabbie e calcareniti variamente cementate di colore biancastro con tracce di ossidazione di colore ocreo, dilavate nelle operazioni di carotaggio.</p>																						
3,00																									
<p><u>Utilizzo di doppio carotiere</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m</p> <p>dalla quota : alla quota :</p>		<p><u>Utilizzo di corona diamantata</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m</p> <p>dalla quota : alla quota :</p>		<p><u>Utilizzo di tubi di rivestimento</u> dalla quota : 0,00 m alla quota : 0,00 m</p> <p>dalla quota : alla quota :</p>		<p><u>Misure con freatimetro</u> data : quota :</p> <p>data : quota :</p>				<p><u>Cassette catalogatrici</u></p> <table border="1"> <tr> <td>C 1</td> <td>0,00</td> <td>3,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				C 1	0,00	3,00									
C 1	0,00	3,00																							

SEZIONE A-A



SEZIONE B-B



Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione

Stesa sismica SS1

Dati generali

Descrizione	Variante urbanistica realizzazione canonica
Committente	Parrocchia M. SS Madre della Chiesa
Zona	Viale Francia, Palermo
Responsabile	Dott. Geol. Francesco Zerilli
Data	27/05/2021



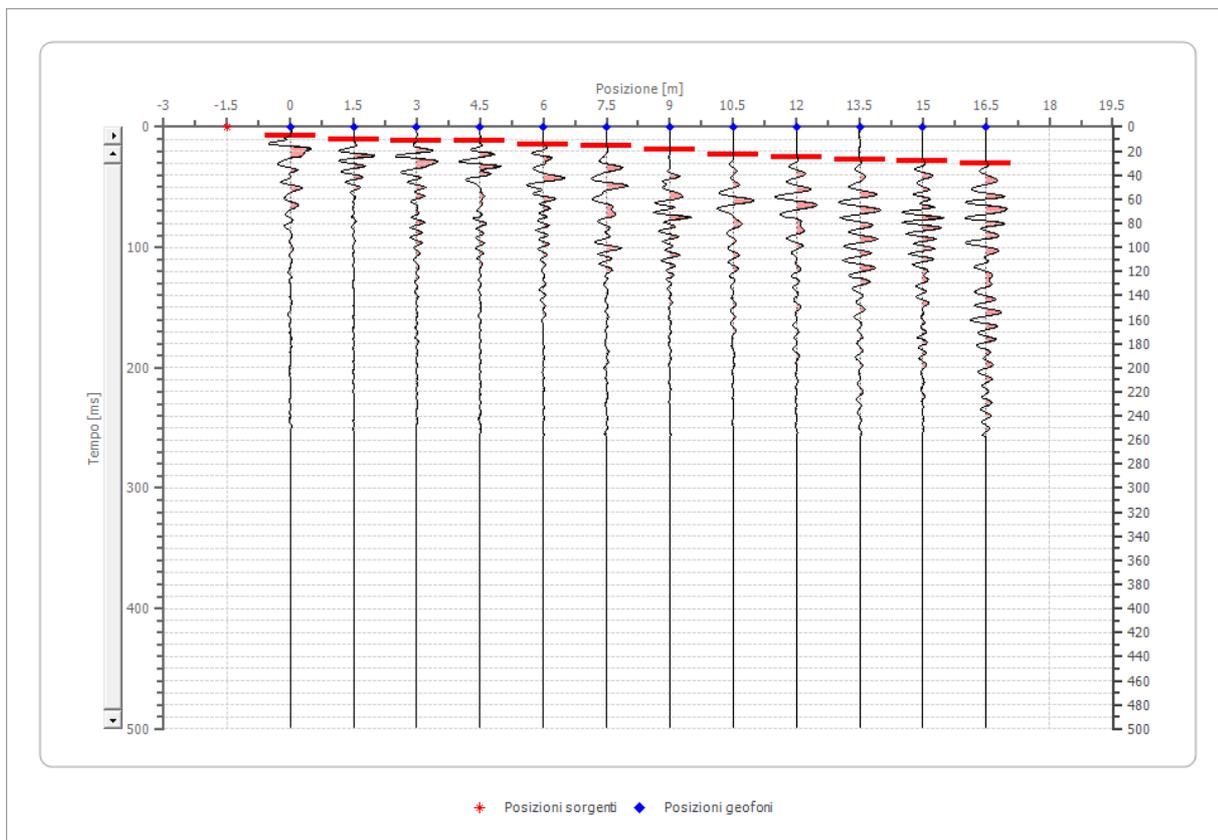
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	1.5	0.0
3	3.0	0.0
4	4.5	0.0
5	6.0	0.0
6	7.5	0.0
7	9.0	0.0
8	10.5	0.0
9	12.0	0.0
10	13.5	0.0
11	15.0	0.0
12	16.5	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -2 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

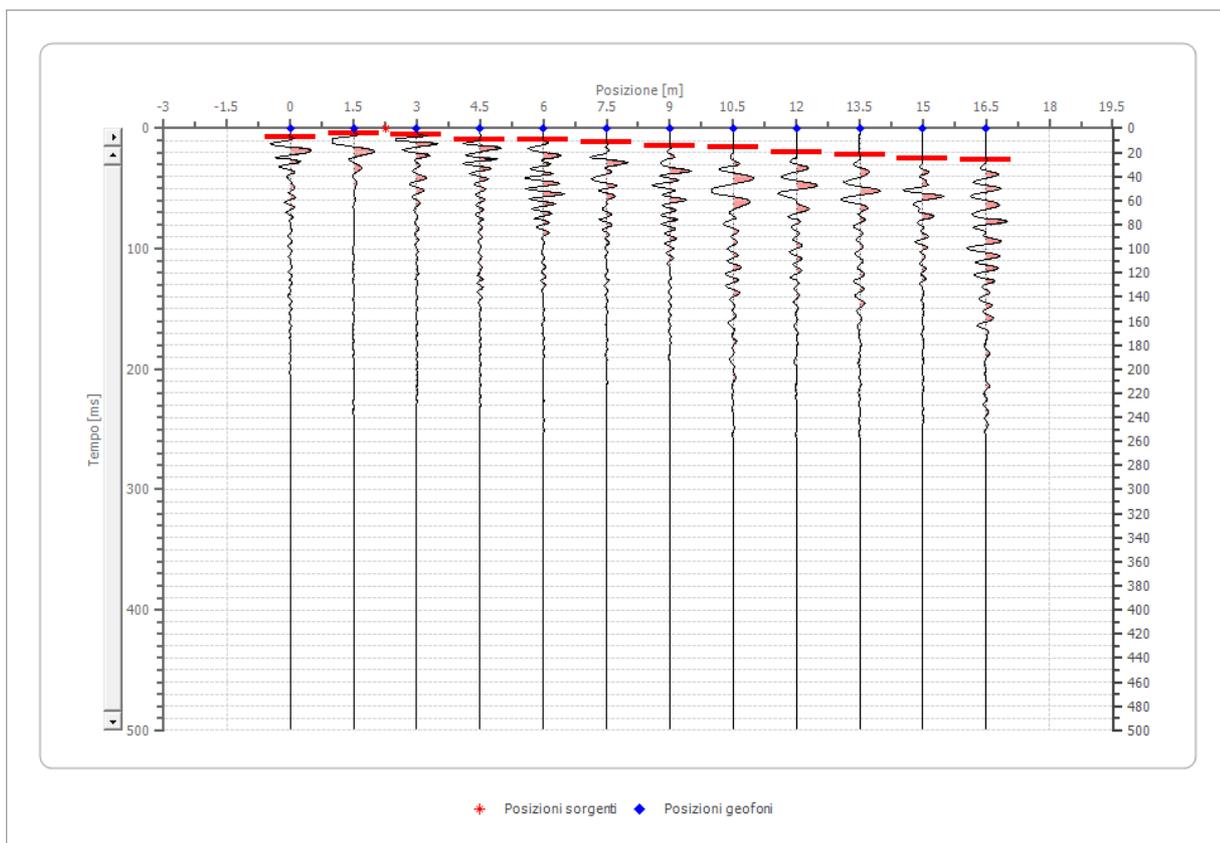


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	7.3176
1.5	10.4538
3.0	11.4992
4.5	11.4992
6.0	14.6353
7.5	15.6807
9.0	18.8168
10.5	22.9983
12.0	24.5760
13.5	27.1798
15.0	28.2252
16.5	30.3160

Battuta 2

Posizione sorgente X 2 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

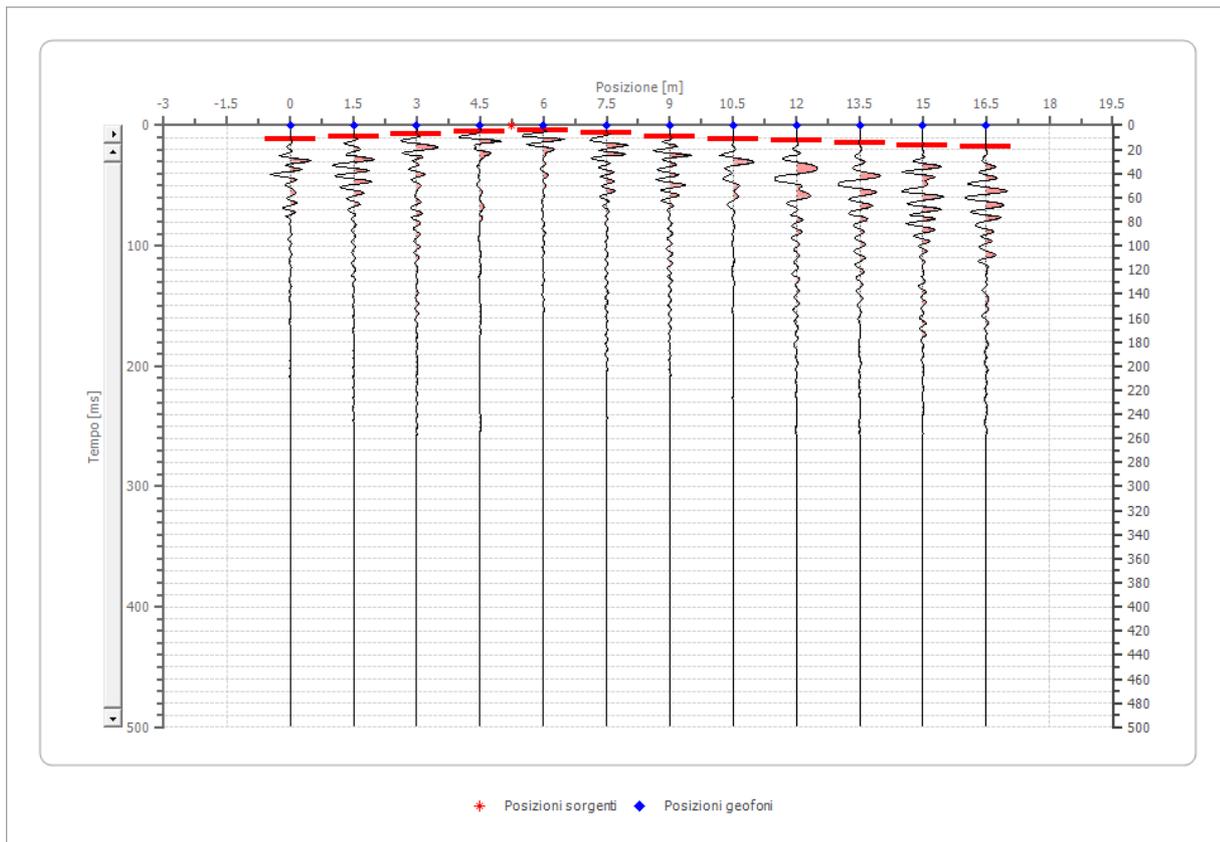


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	7.3176
1.5	4.1815
3.0	5.2269
4.5	9.4084
6.0	9.4084
7.5	11.4992
9.0	14.6353
10.5	15.6807
12.0	19.4560
13.5	21.9529
15.0	25.0891
16.5	26.1344

Battuta 3

Posizione sorgente X 5 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

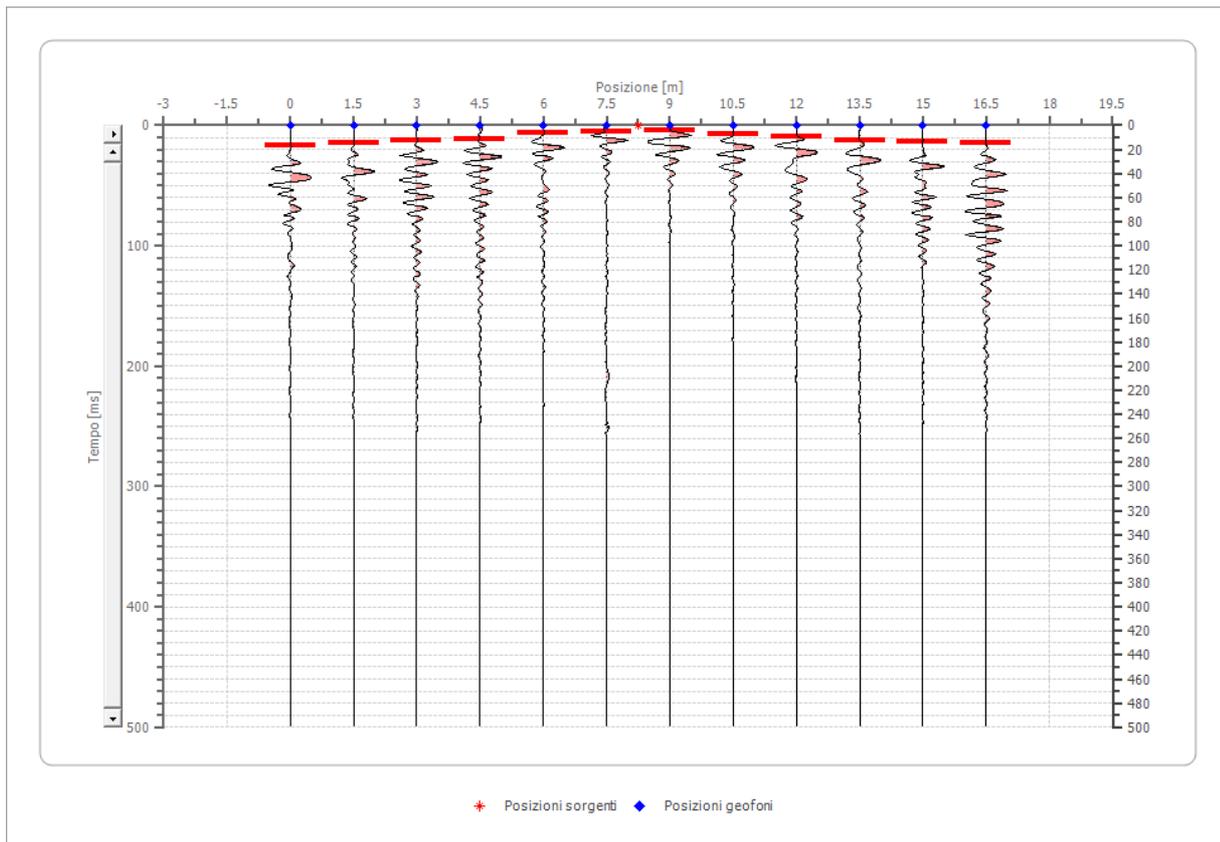


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	11.4992
1.5	9.4084
3.0	7.3176
4.5	5.2269
6.0	4.1815
7.5	6.2723
9.0	9.4084
10.5	11.4992
12.0	12.5445
13.5	14.6353
15.0	16.7260
16.5	17.7714

Battuta 4

Posizione sorgente X 8 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

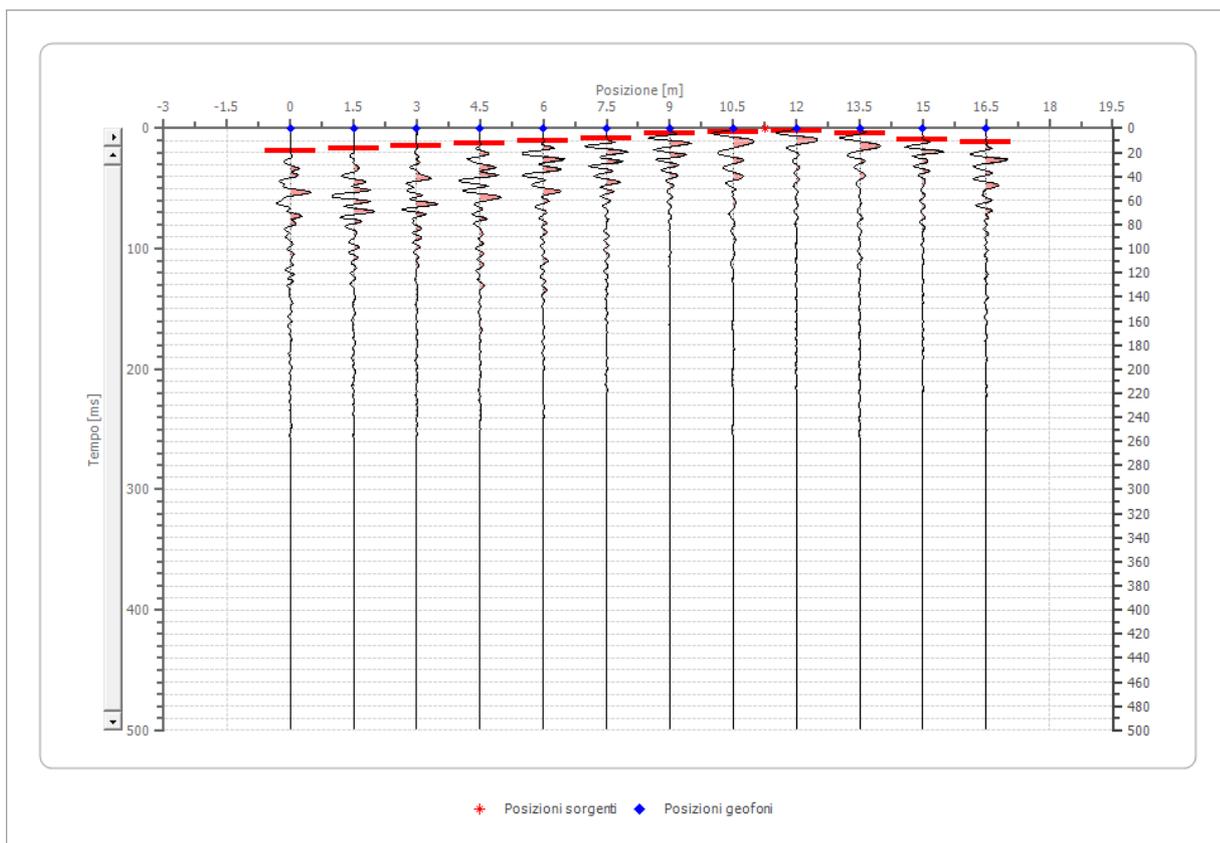


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	16.7260
1.5	14.6353
3.0	12.5445
4.5	11.4992
6.0	6.2723
7.5	5.2269
9.0	4.1815
10.5	7.3176
12.0	9.4084
13.5	12.5445
15.0	13.5899
16.5	14.6353

Battuta 5

Posizione sorgente X 11 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

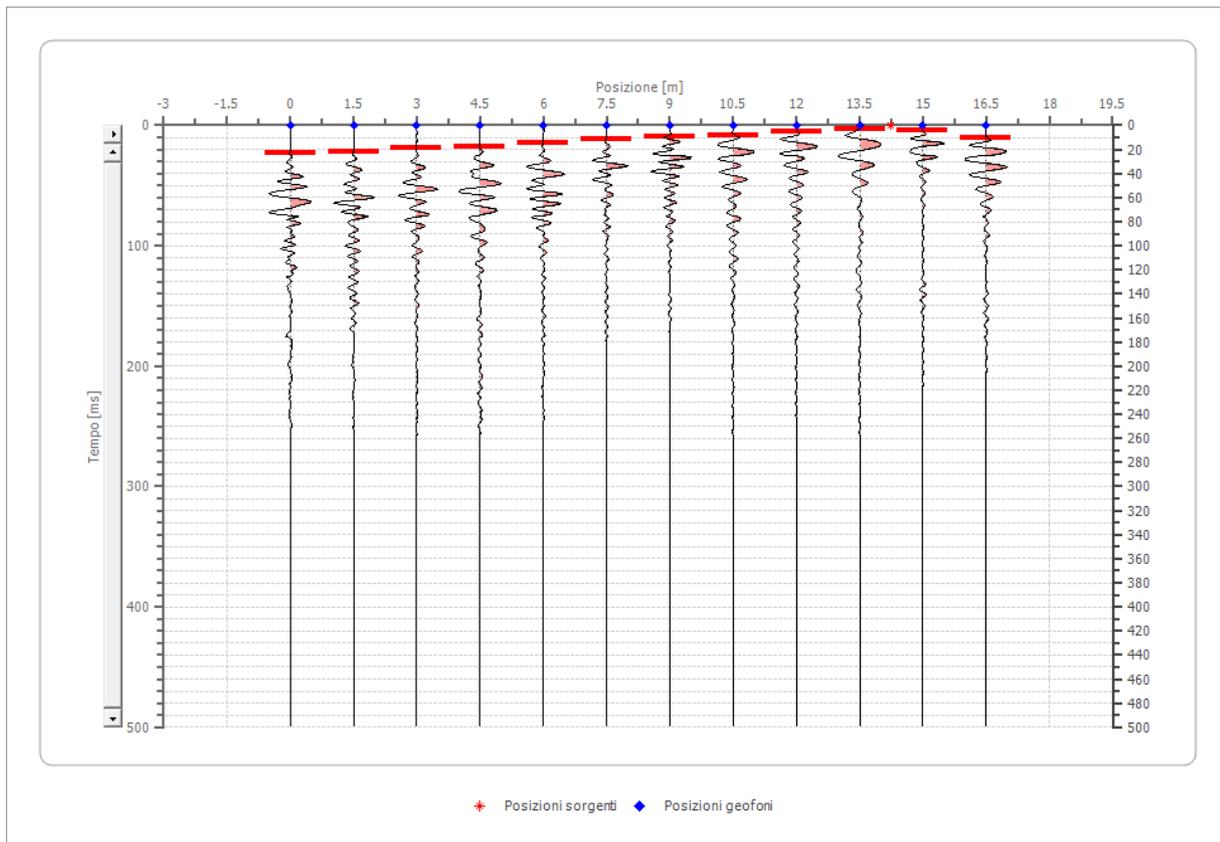


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	18.8168
1.5	16.7260
3.0	14.6353
4.5	12.5445
6.0	10.4538
7.5	8.3630
9.0	4.1815
10.5	3.1361
12.0	2.0908
13.5	4.1815
15.0	9.4084
16.5	11.4992

Battuta 6

Posizione sorgente X 14 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

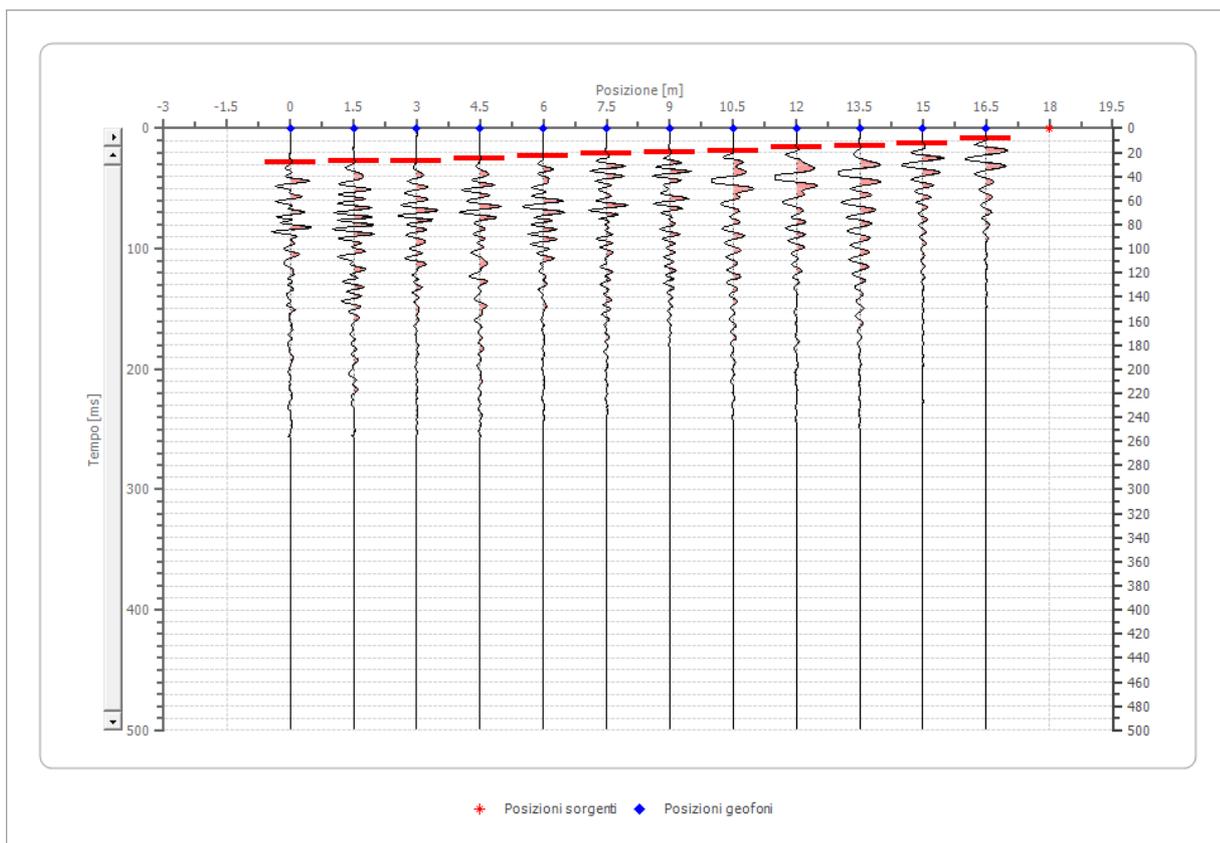


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.9983
1.5	21.9529
3.0	18.8168
4.5	17.7714
6.0	14.6353
7.5	11.4992
9.0	9.4084
10.5	8.3630
12.0	5.2269
13.5	3.1361
15.0	4.1815
16.5	10.4538

Battuta 7

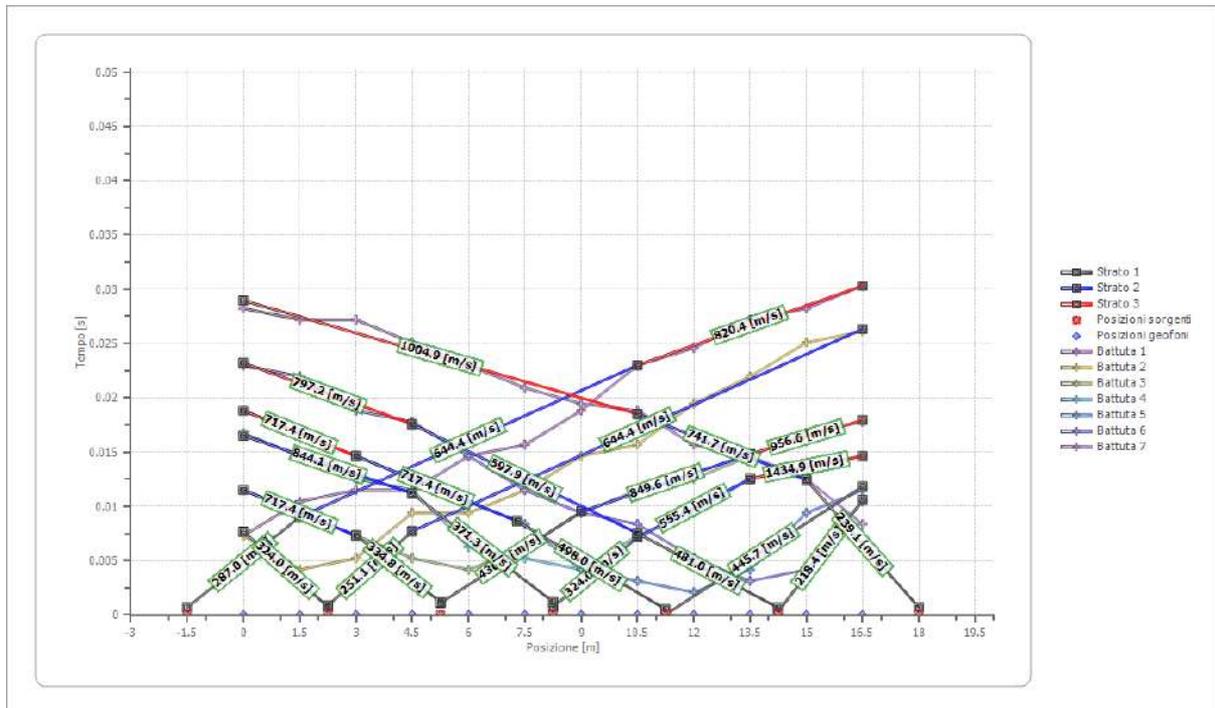
Posizione sorgente X 18 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

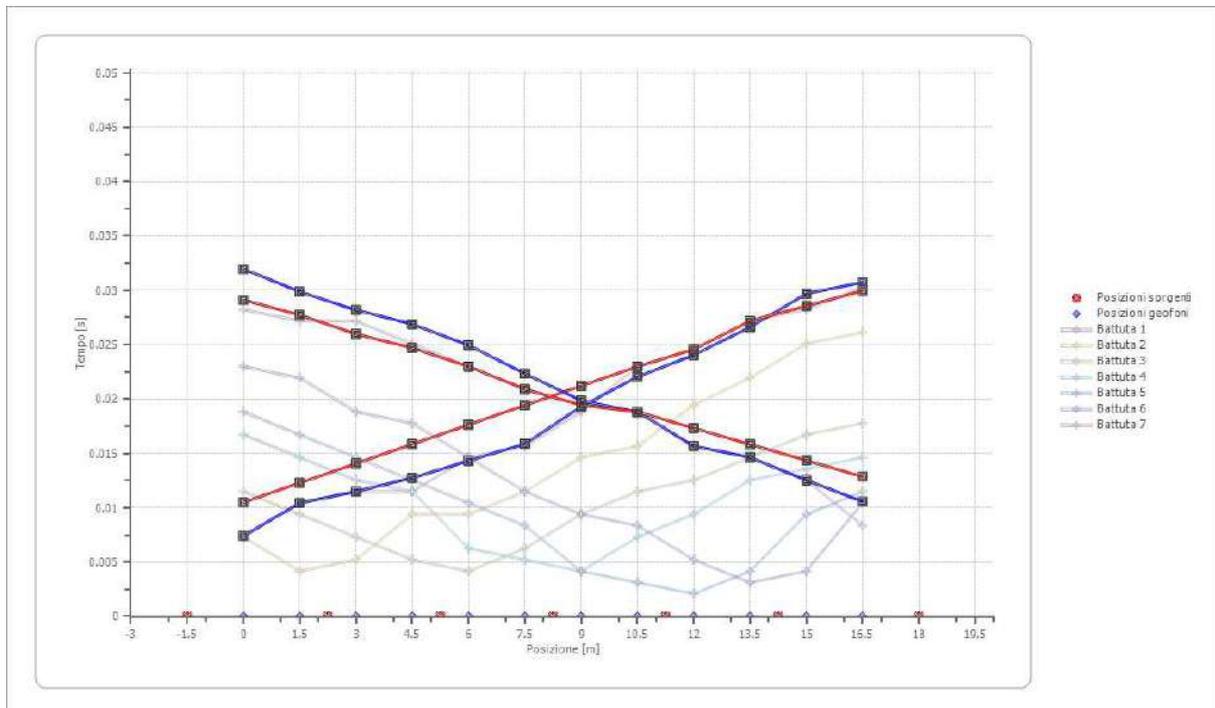


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	28.2252
1.5	27.1798
3.0	27.1798
4.5	25.0891
6.0	22.9983
7.5	20.9076
9.0	19.4560
10.5	18.8168
12.0	15.6807
13.5	14.6353
15.0	12.5445
16.5	8.3630

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	2.4	--
G= 1.5 [m]	1.4	2.2	--
G= 3.0 [m]	1.2	2.5	--
G= 4.5 [m]	1.2	2.9	--
G= 6.0 [m]	1.1	3.1	--
G= 7.5 [m]	0.9	3.3	--
G= 9.0 [m]	1.1	3.1	--
G= 10.5 [m]	1.5	3.1	--
G= 12.0 [m]	1.2	3.6	--
G= 13.5 [m]	1.5	3.6	--
G= 15.0 [m]	1.7	3.2	--
G= 16.5 [m]	1.6	3.5	--
Velocità [m/sec]	350.9	726.2	917.9
Descrizione			

Altri parametri geotecnici

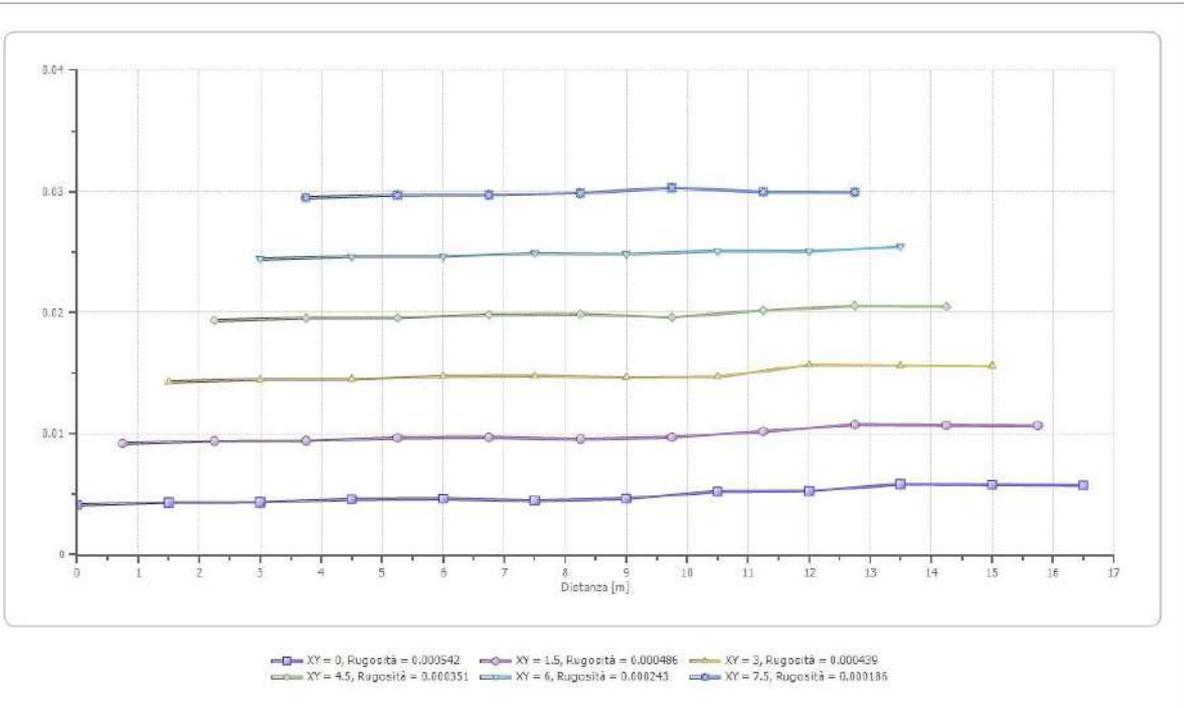
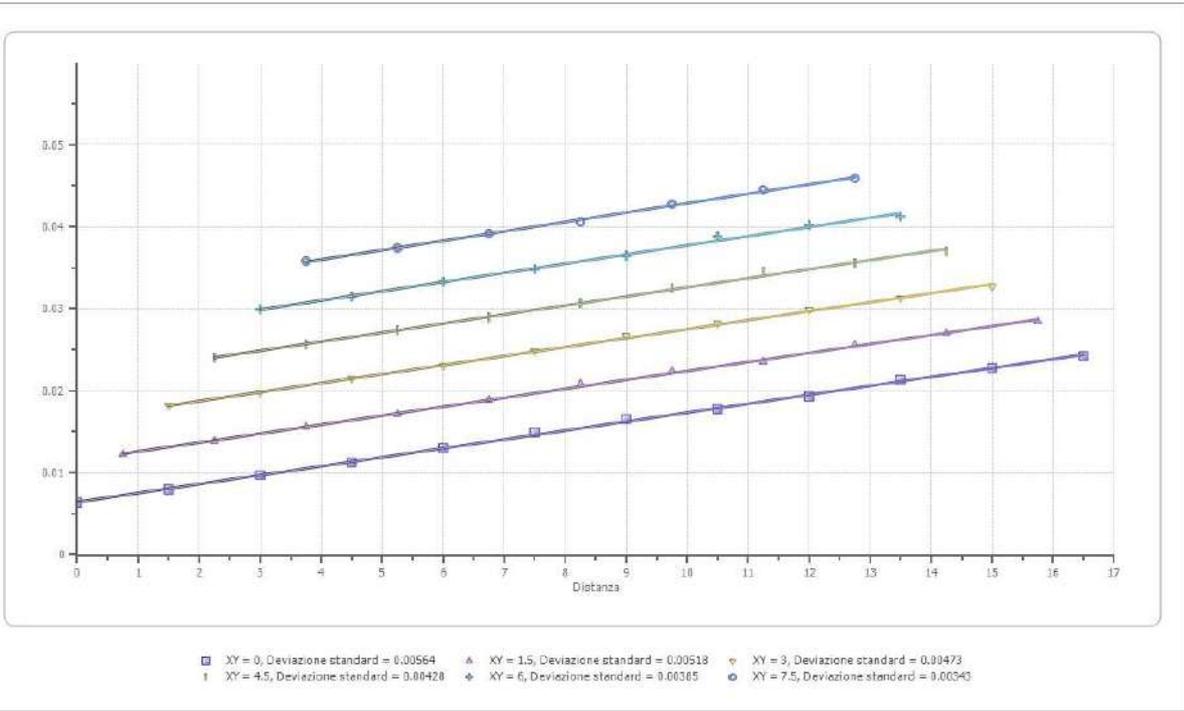
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	350.90	726.25	917.92
Vs [m/s]	168.57	348.88	440.96
G0 [MPa]	51.15	219.09	349.99
Ed [Mpa]	221.64	949.38	1516.64
M0 [MPa]	170.49	730.29	1166.65
Ey [Mpa]	138.10	591.54	944.99

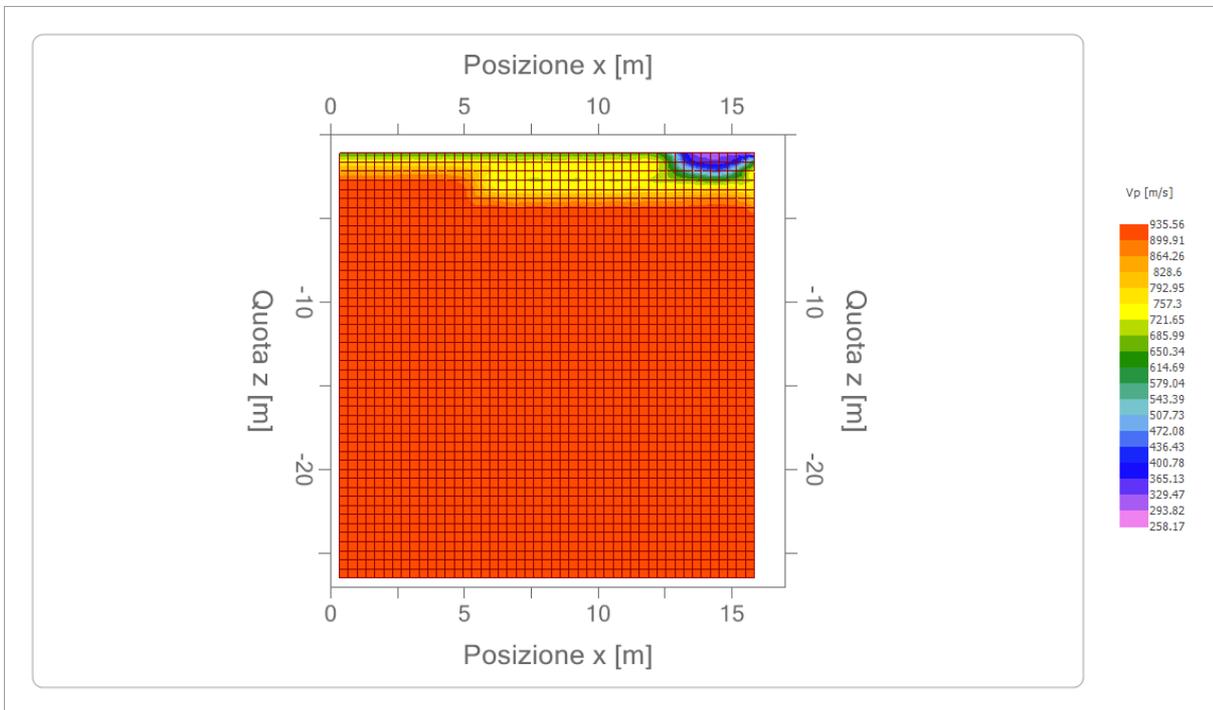
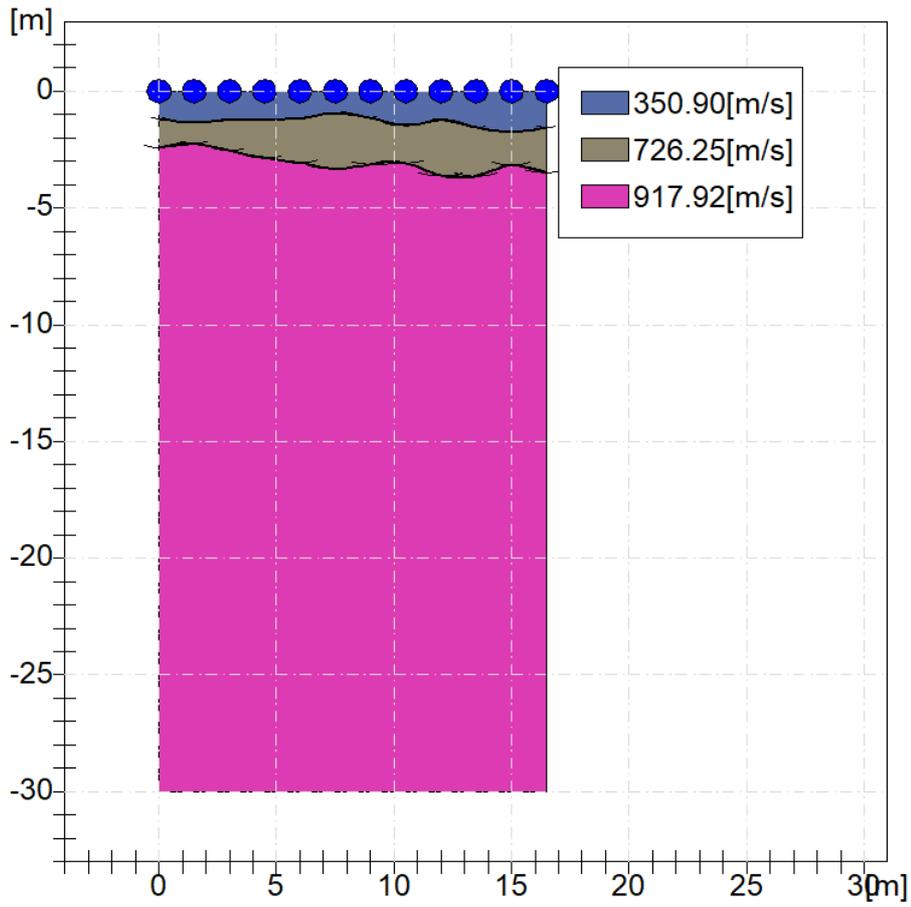
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

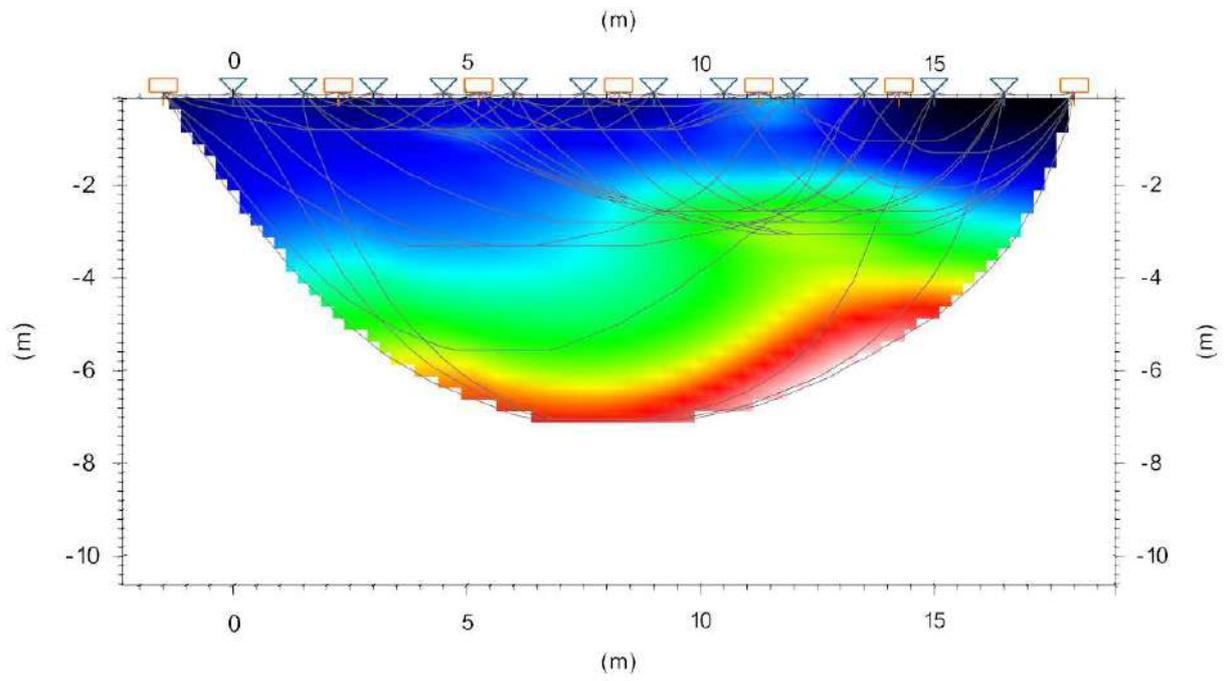
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





Interpretazione tomografica



Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione

Stesa sismica SS2

Dati generali

Descrizione	Variante urbanistica realizzazione canonica
Committente	Parrocchia M. SS Madre della Chiesa
Zona	Viale Francia, Palermo
Responsabile	Dott. Geol. Francesco Zerilli
Data	27/05/2021



Geometria geofoni

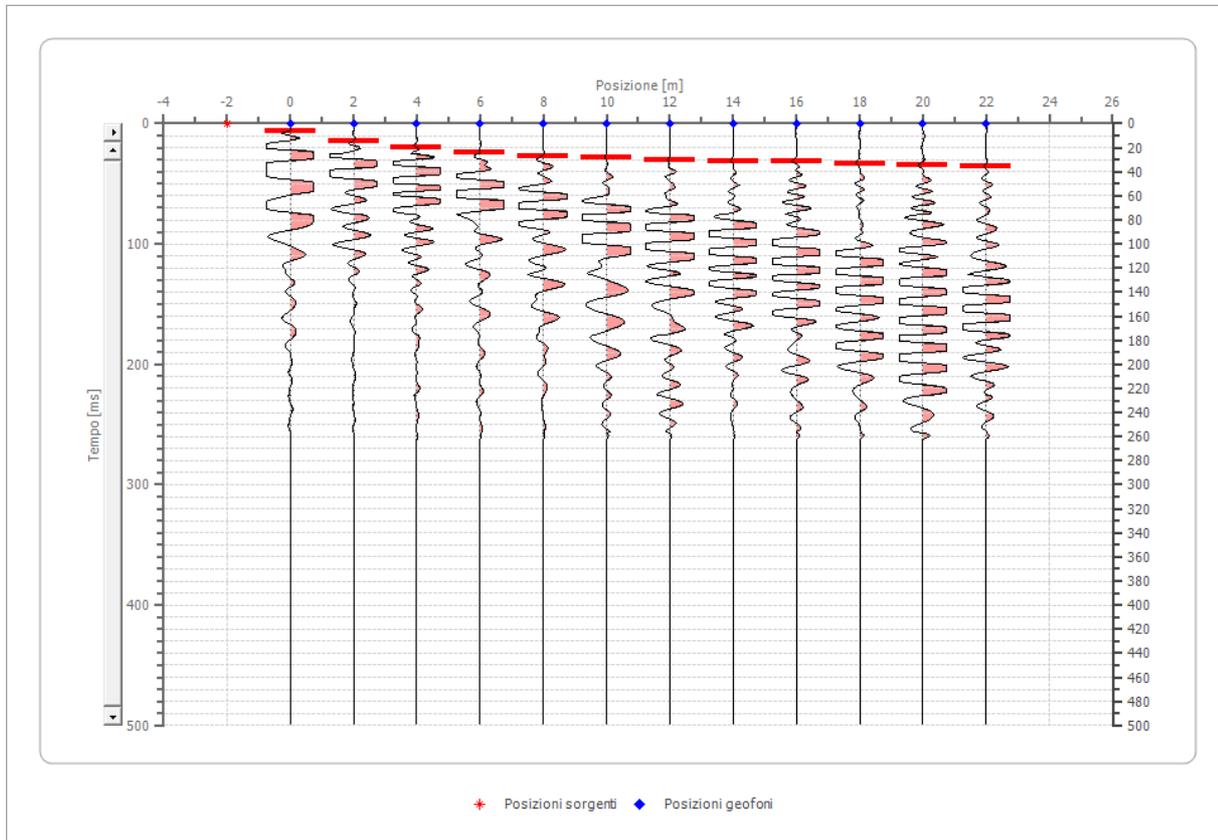
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	2.0	0.0
3	4.0	0.0
4	6.0	0.0
5	8.0	0.0
6	10.0	0.0
7	12.0	0.0
8	14.0	0.0
9	16.0	0.0
10	18.0	0.0
11	20.0	0.0
12	22.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -2 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

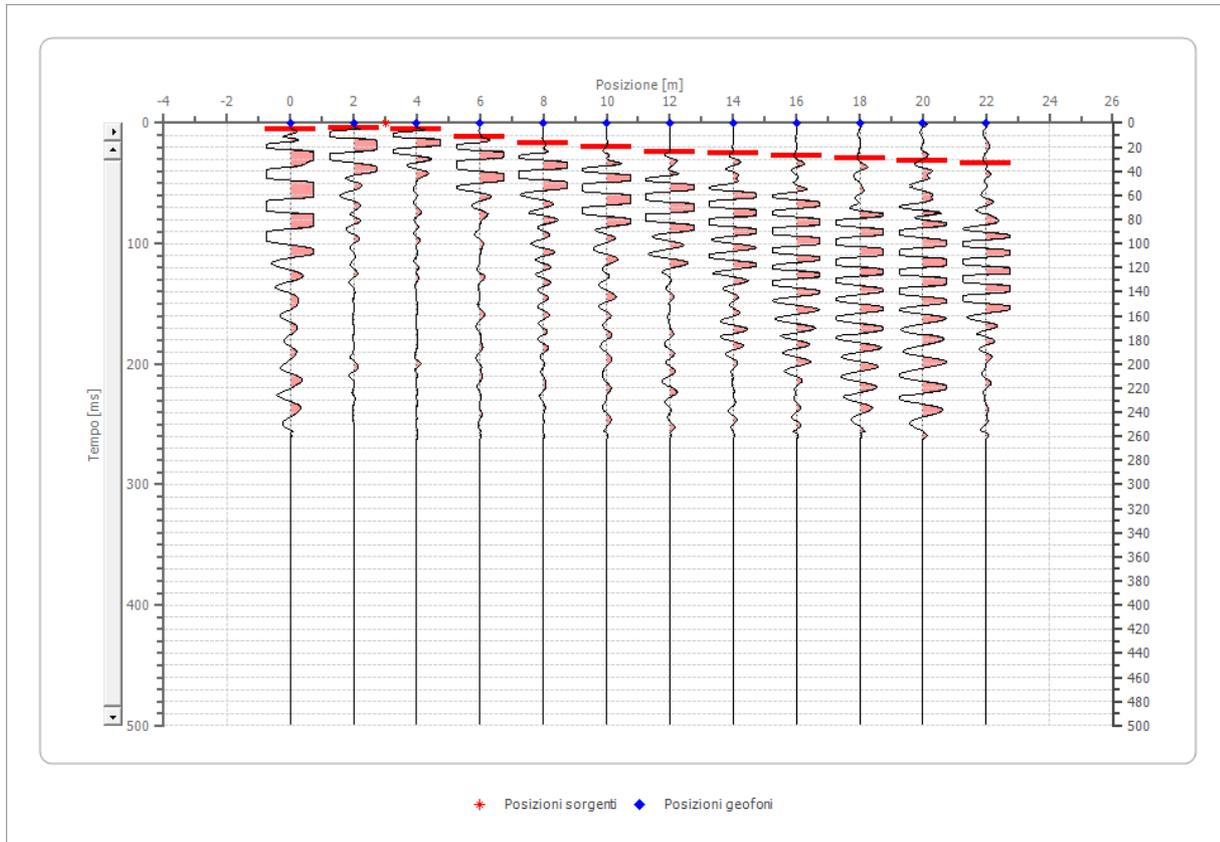


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.2723
2.0	14.6353
4.0	19.8622
6.0	24.0437
8.0	27.1798
10.0	28.2252
12.0	30.3160
14.0	31.3613
16.0	31.3613
18.0	33.4521
20.0	34.4975
22.0	35.5428

Battuta 2

Posizione sorgente X 3 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

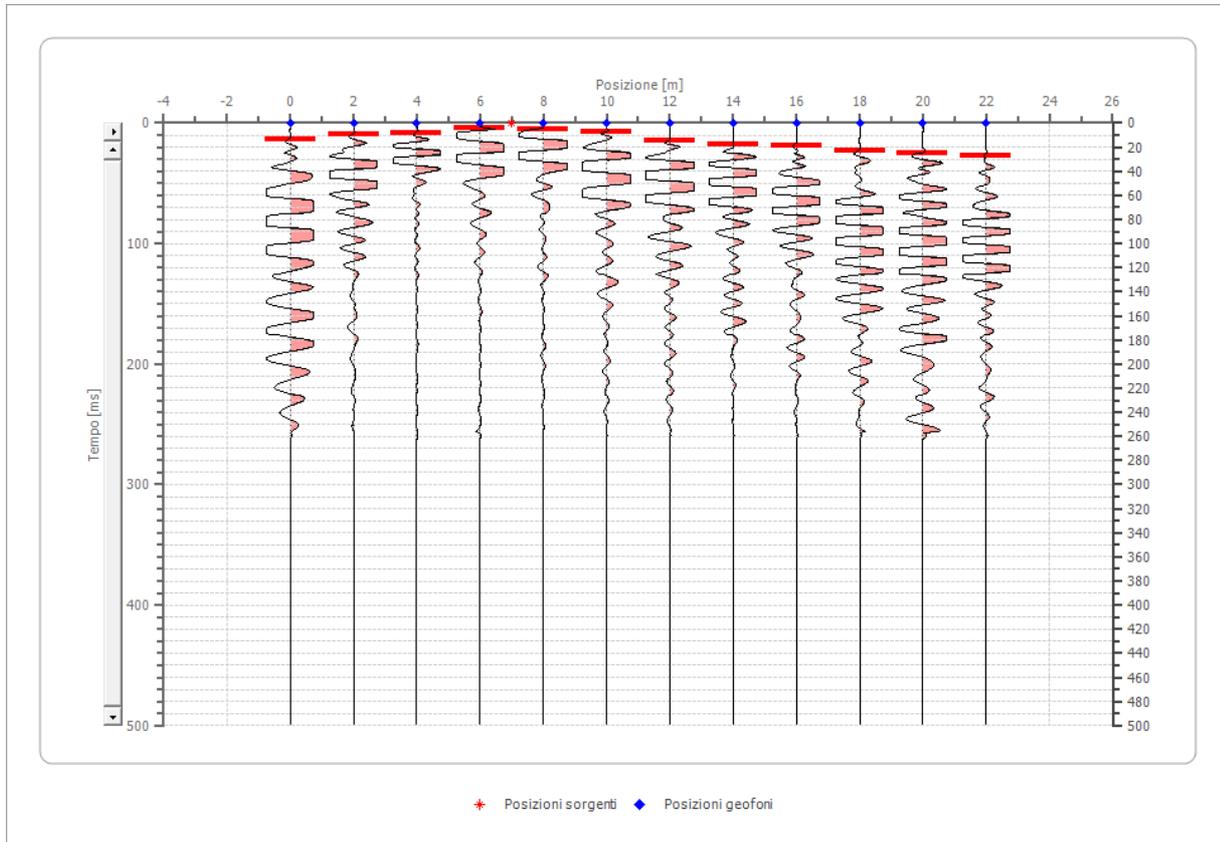


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.2269
2.0	4.1815
4.0	5.2269
6.0	11.4992
8.0	16.7260
10.0	19.8622
12.0	24.0437
14.0	25.0891
16.0	27.1798
18.0	29.2706
20.0	31.3613
22.0	33.4521

Battuta 3

Posizione sorgente X 7 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

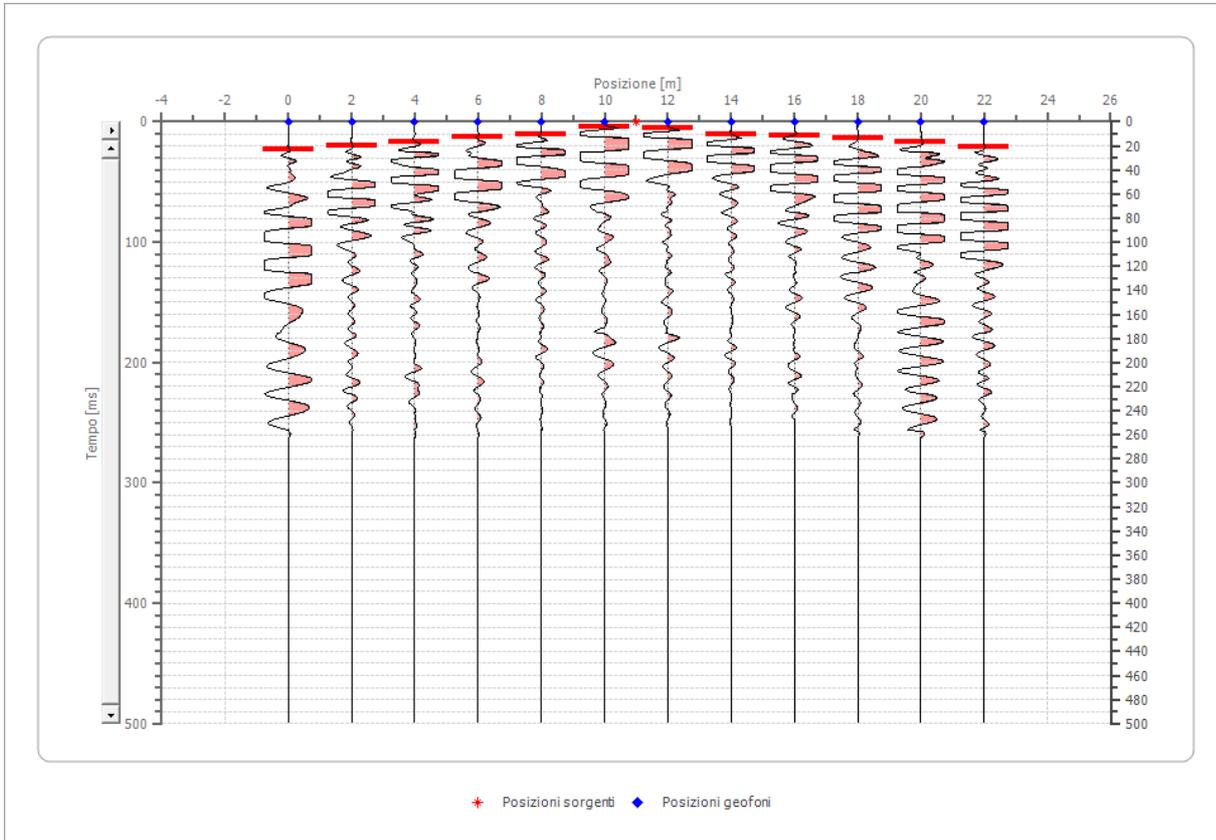


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	13.5899
2.0	9.4084
4.0	8.3630
6.0	4.1815
8.0	5.2269
10.0	7.3176
12.0	14.6353
14.0	17.7714
16.0	18.8168
18.0	22.9983
20.0	25.0891
22.0	27.1798

Battuta 4

Posizione sorgente X 11 [m]

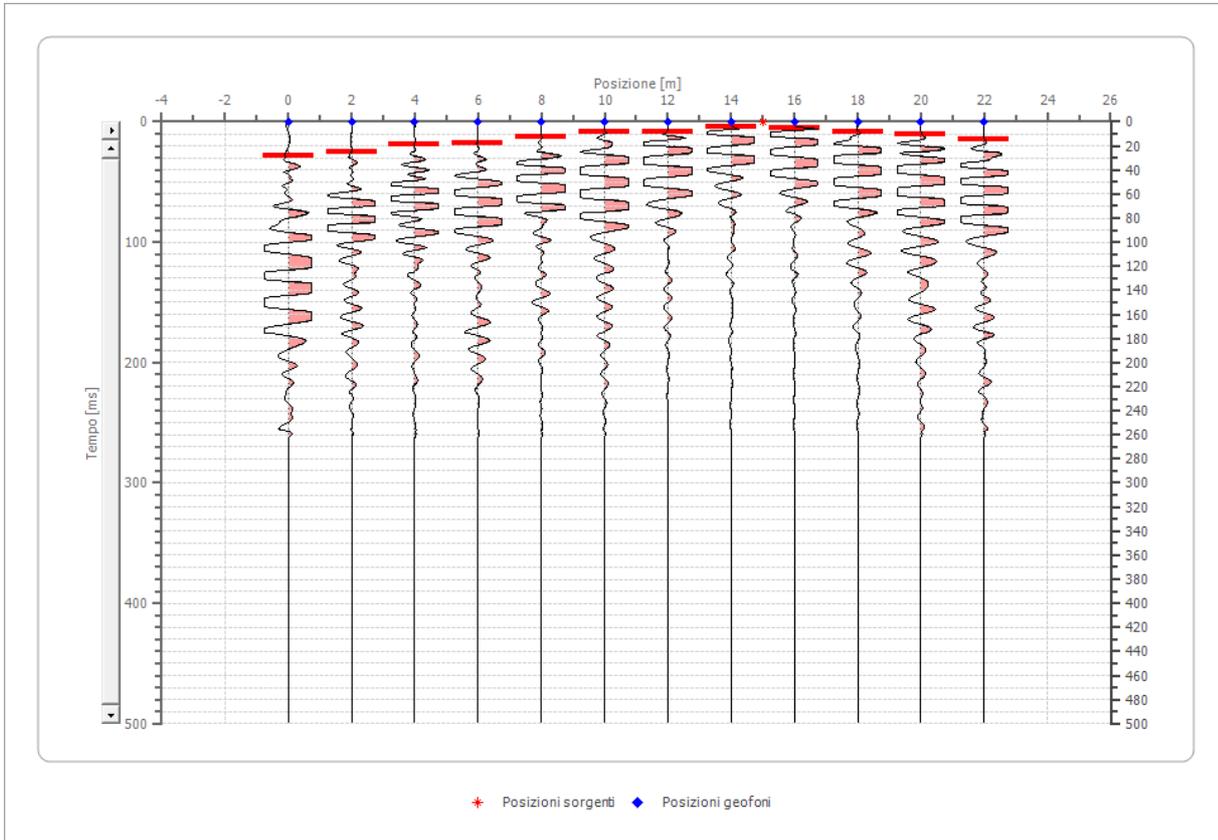
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.9983
2.0	19.8622
4.0	16.7260
6.0	12.5445
8.0	10.4538
10.0	4.1815
12.0	5.2269
14.0	10.4538
16.0	11.4992
18.0	13.5899
20.0	16.7260
22.0	20.9076

Battuta 5

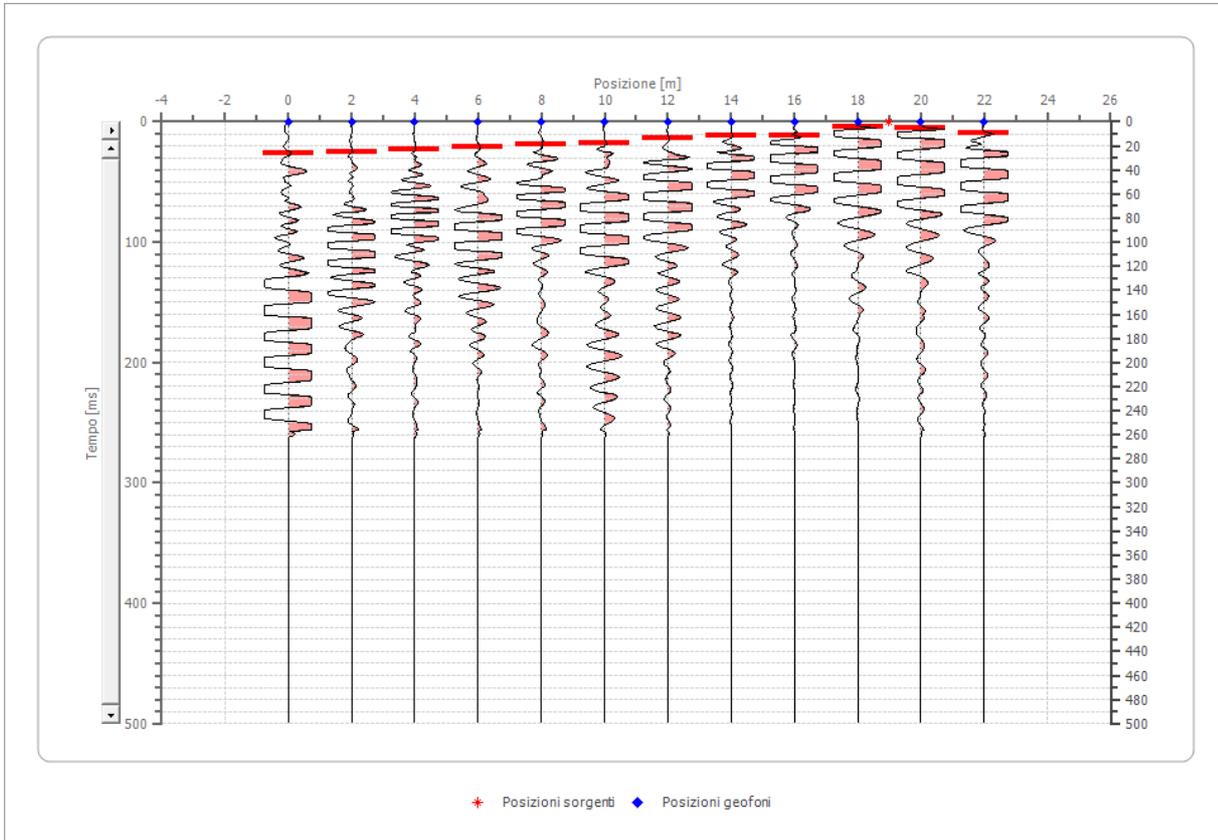
Posizione sorgente X 15 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	28.2252
2.0	25.0891
4.0	18.8168
6.0	17.7714
8.0	12.5445
10.0	8.3630
12.0	8.3630
14.0	4.1815
16.0	5.2269
18.0	8.3630
20.0	10.4538
22.0	14.6353

Battuta 6

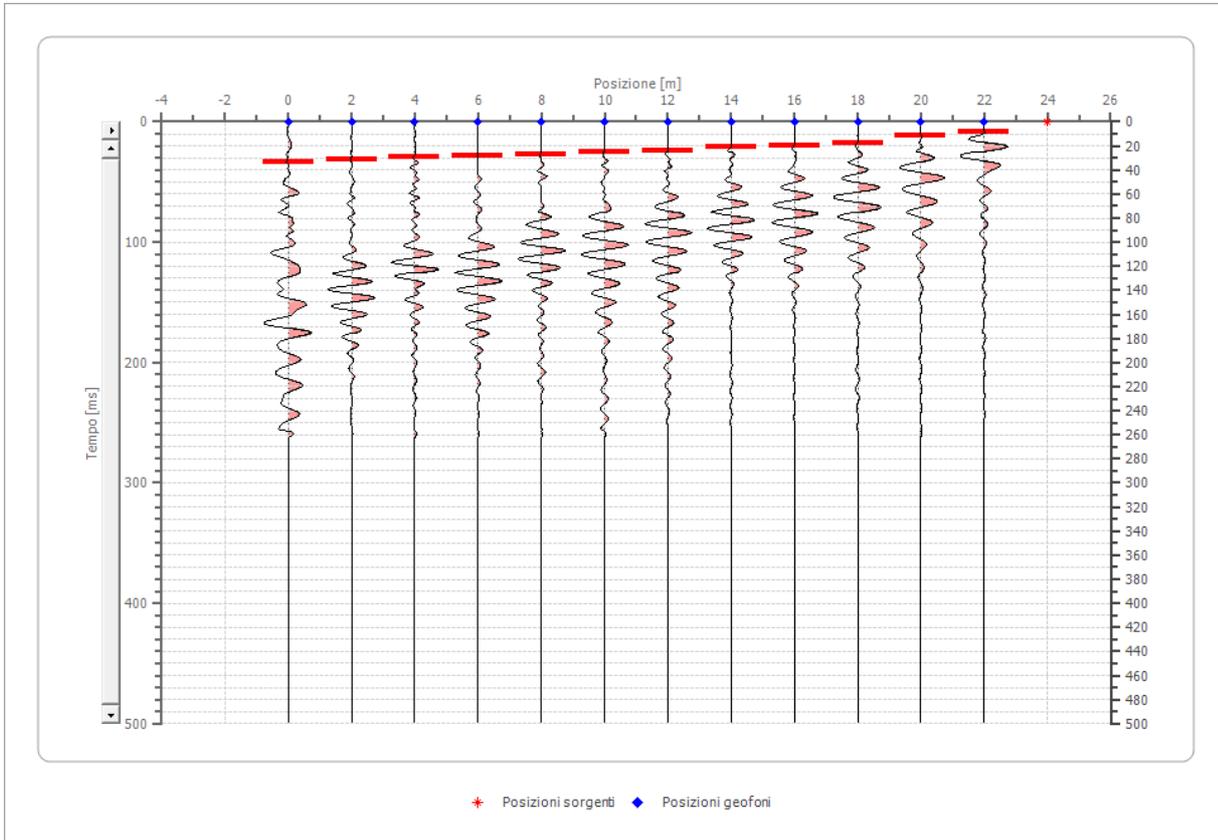
Posizione sorgente X 19 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	26.1344
2.0	25.0891
4.0	22.9983
6.0	20.9076
8.0	18.8168
10.0	17.7714
12.0	13.5899
14.0	11.4992
16.0	11.4992
18.0	4.1815
20.0	5.2269
22.0	9.4084

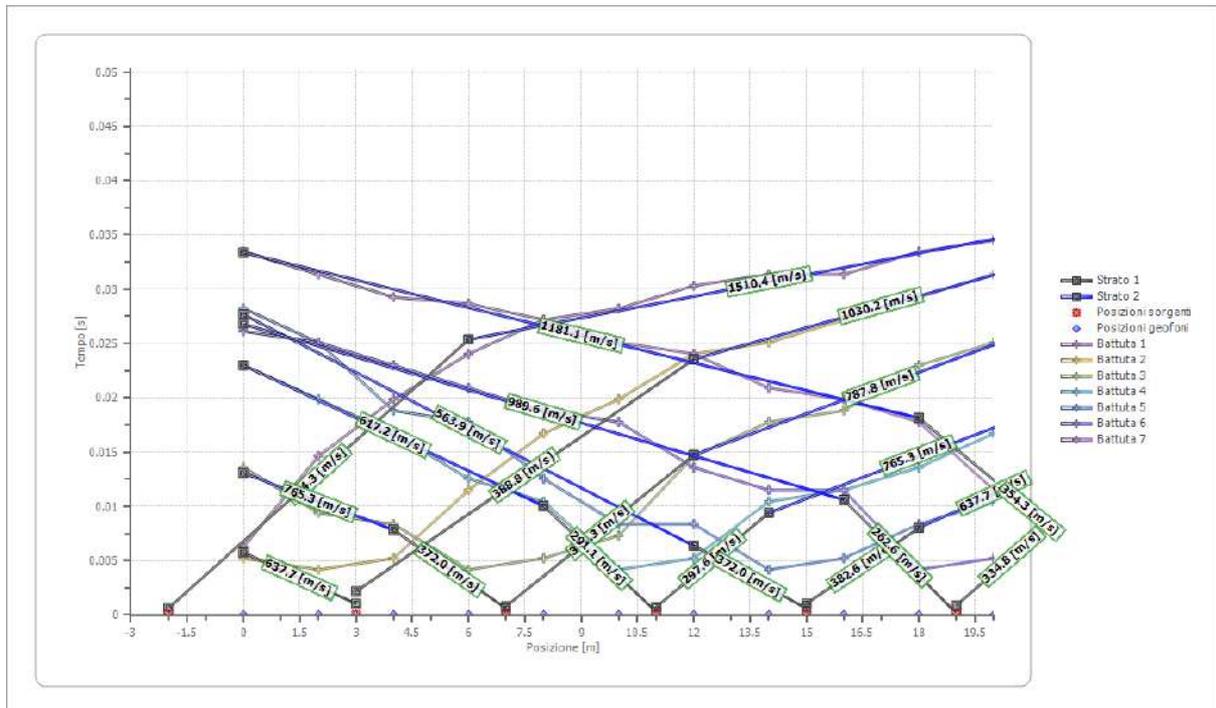
Battuta 7

Posizione sorgente X 24 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

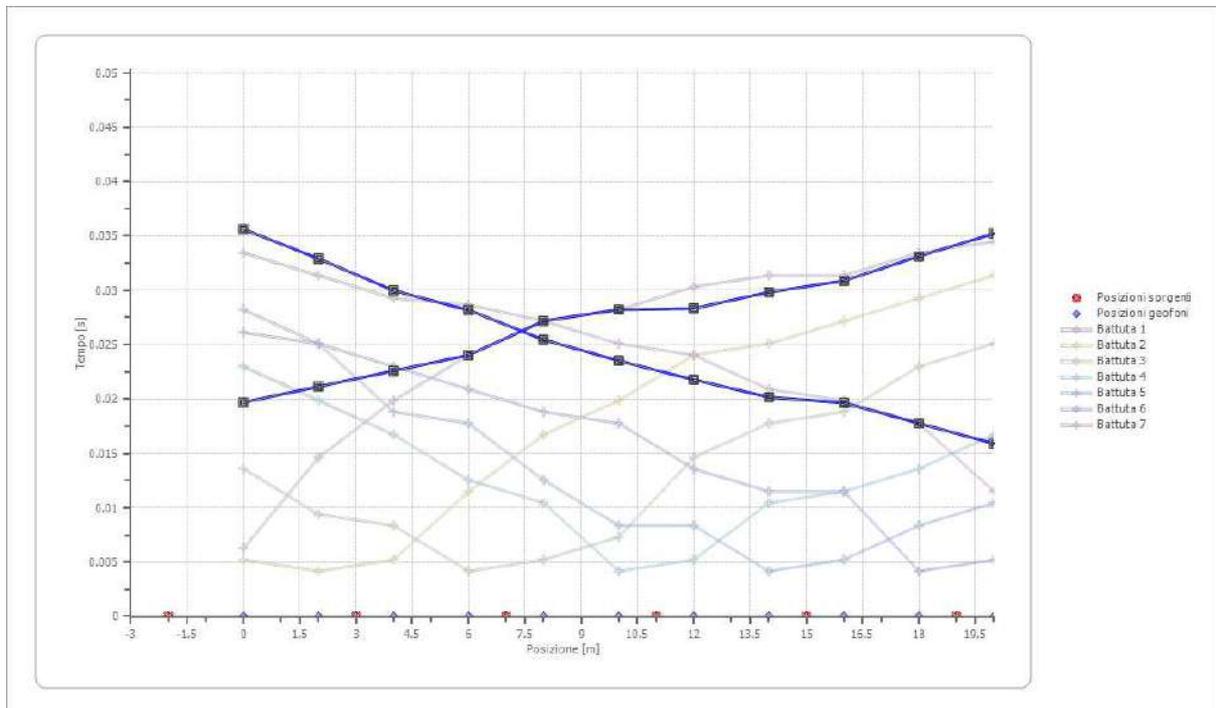


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	33.4521
2.0	31.3613
4.0	29.2706
6.0	28.6720
8.0	27.1798
10.0	25.0891
12.0	24.0437
14.0	20.9076
16.0	19.8622
18.0	17.7714
20.0	11.4992
22.0	8.3630

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

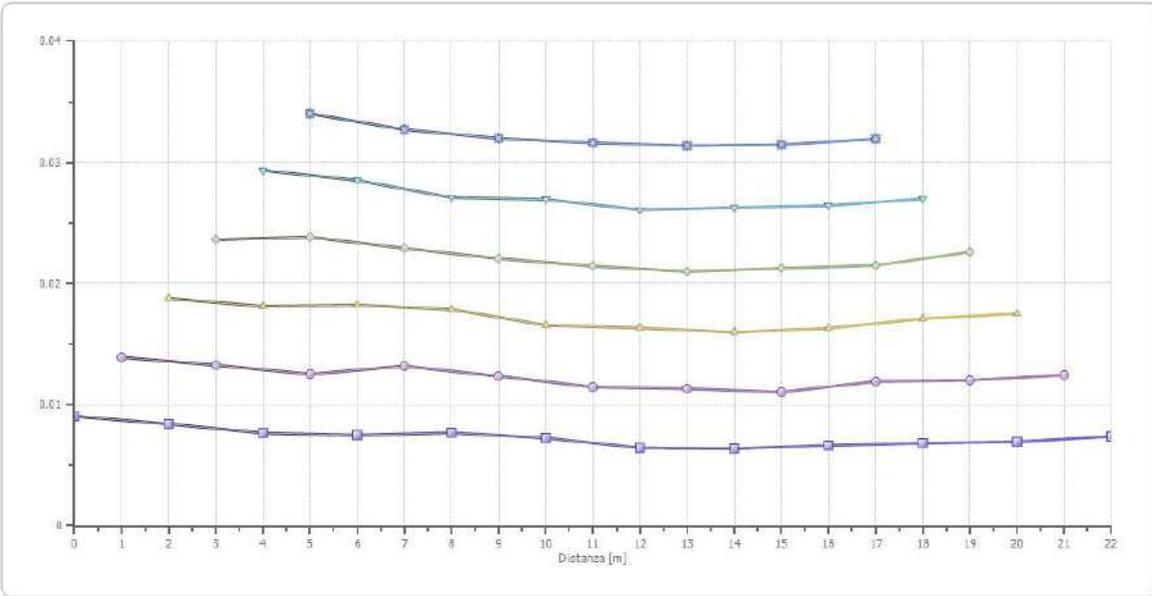
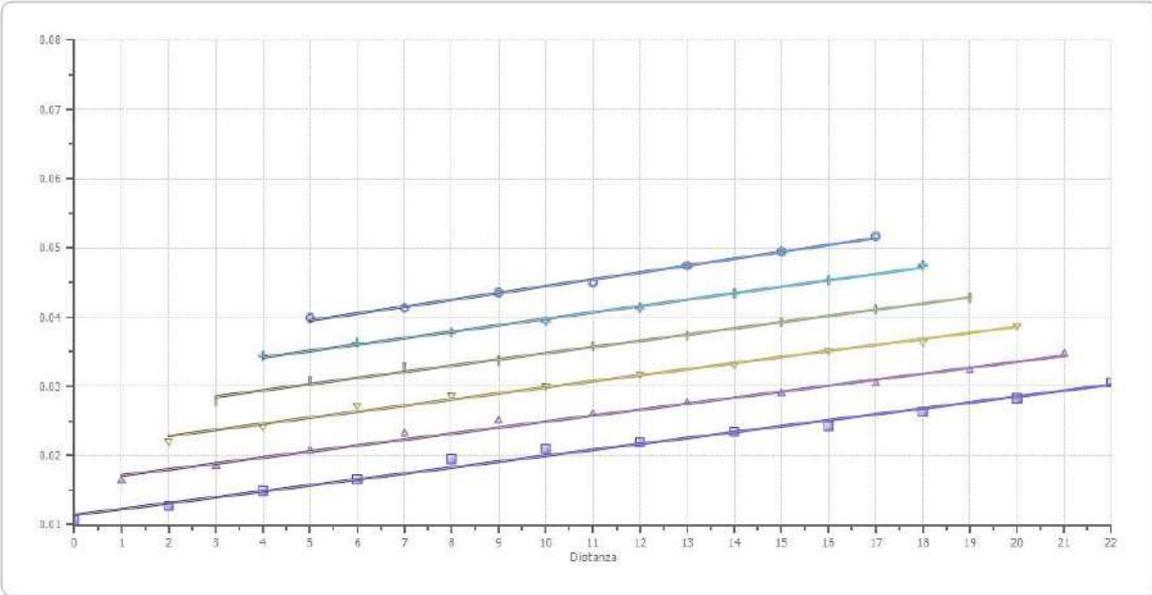
XY: 0

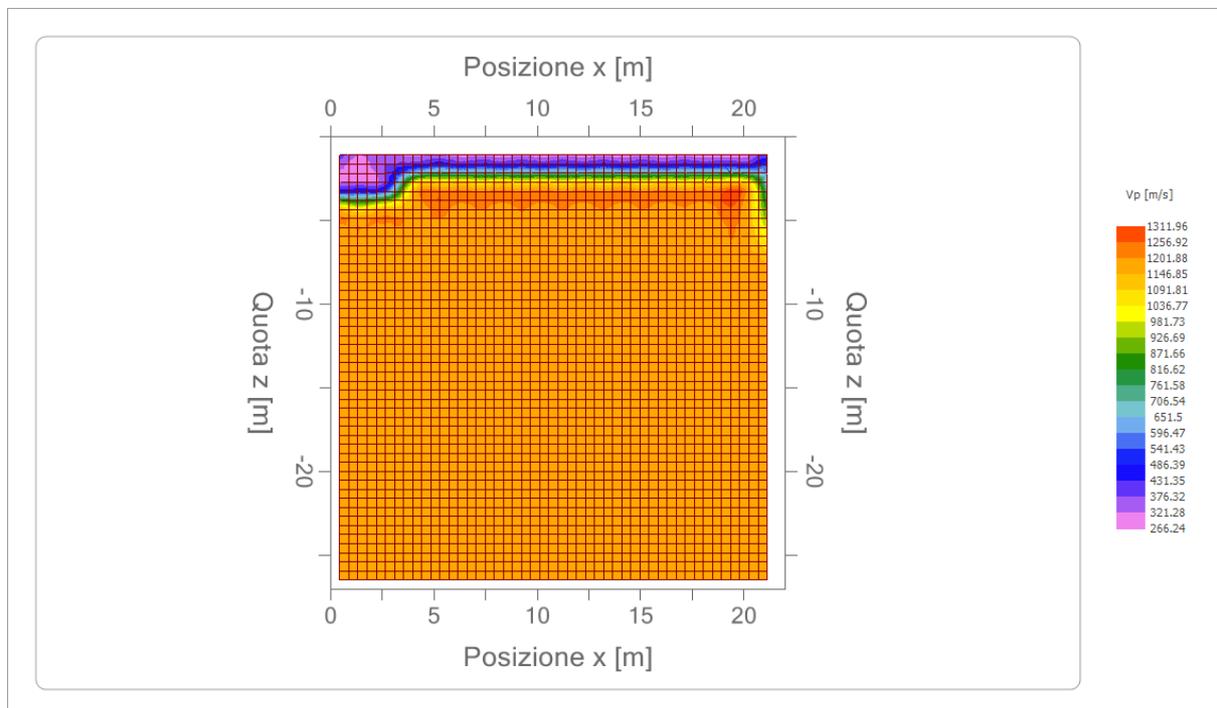
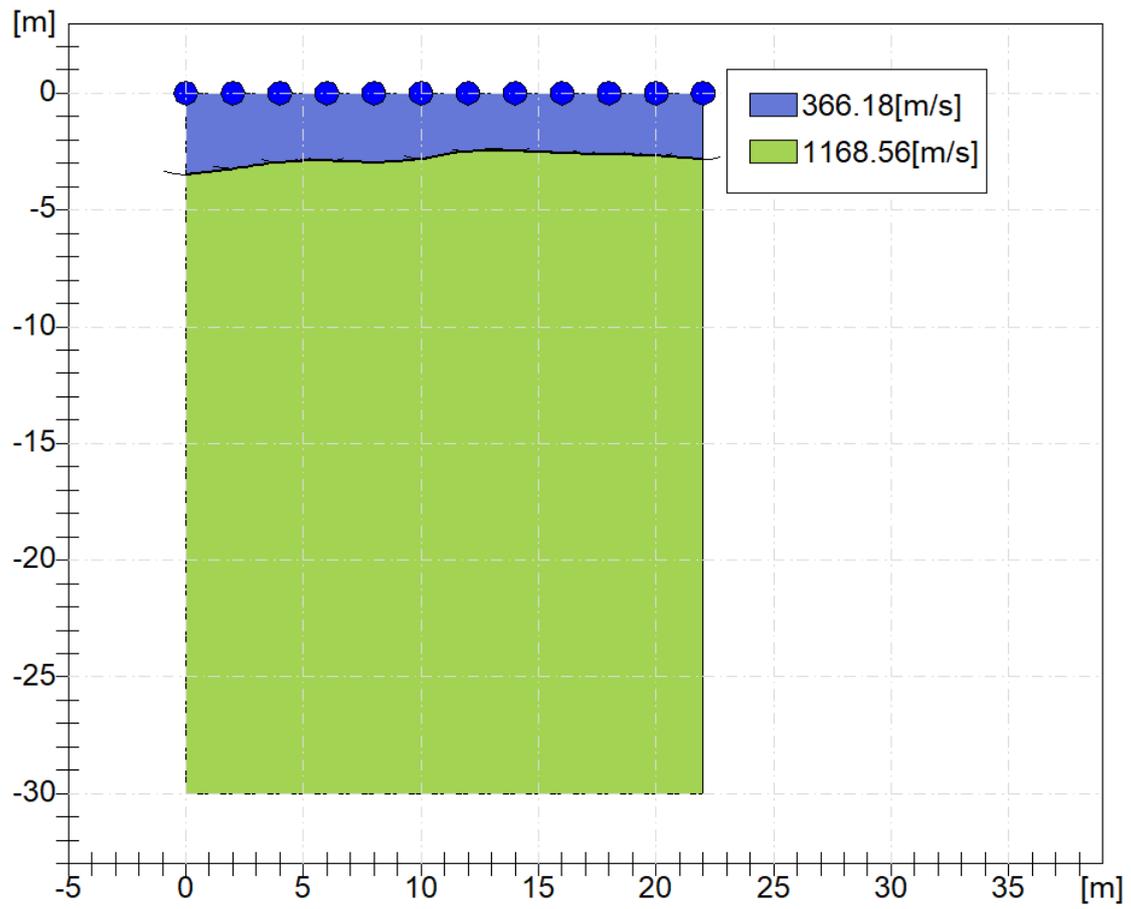
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	3.5	--
G= 2.0 [m]	3.2	--
G= 4.0 [m]	3.0	--
G= 6.0 [m]	2.9	--
G= 8.0 [m]	3.0	--
G= 10.0 [m]	2.8	--
G= 12.0 [m]	2.5	--
G= 14.0 [m]	2.5	--
G= 16.0 [m]	2.6	--
G= 18.0 [m]	2.6	--
G= 20.0 [m]	2.7	--
G= 22.0 [m]	2.8	--
Velocità [m/sec]	366.2	1168.6
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	366.18	1168.56
Vs [m/s]	175.91	561.36
G0 [MPa]	55.70	567.22
Ed [Mpa]	241.36	2457.95
M0 [MPa]	185.66	1890.73
Ey [Mpa]	150.39	1531.49

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;





Indice

Dati generali	.6
Geometria geofoni	.7
Dati battute	.7
Dromocrone	.13
Dromocrone traslate	.14
Interpretazione col metodo G,.R.M.	.14
Altri parametri geotecnici	.15
Indice	.18



Indagine geofisica tramite tecnica MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Stesa sismica MASW 1

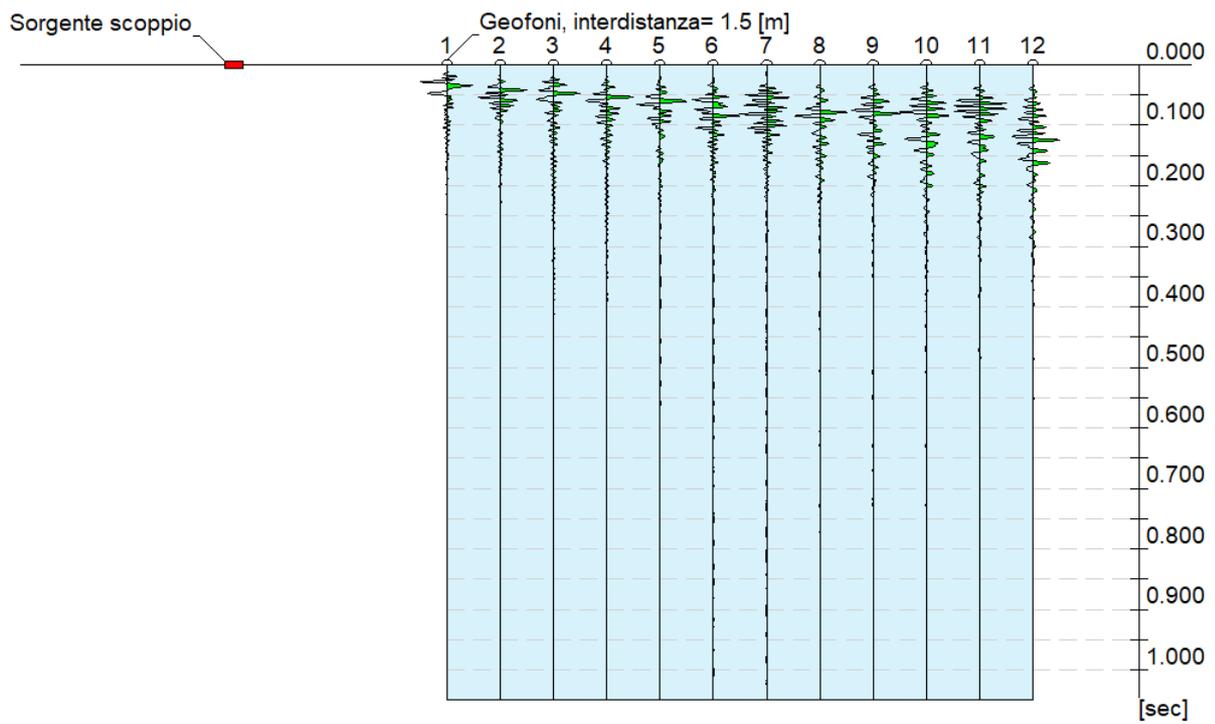
Dati generali

Descrizione	Variante urbanistica realizzazione canonica
Committente	Parrocchia M. SS Madre della Chiesa
Zona	Viale Francia, Palermo
Responsabile	Dott. Geol. Francesco Zerilli
Data	27/05/2021



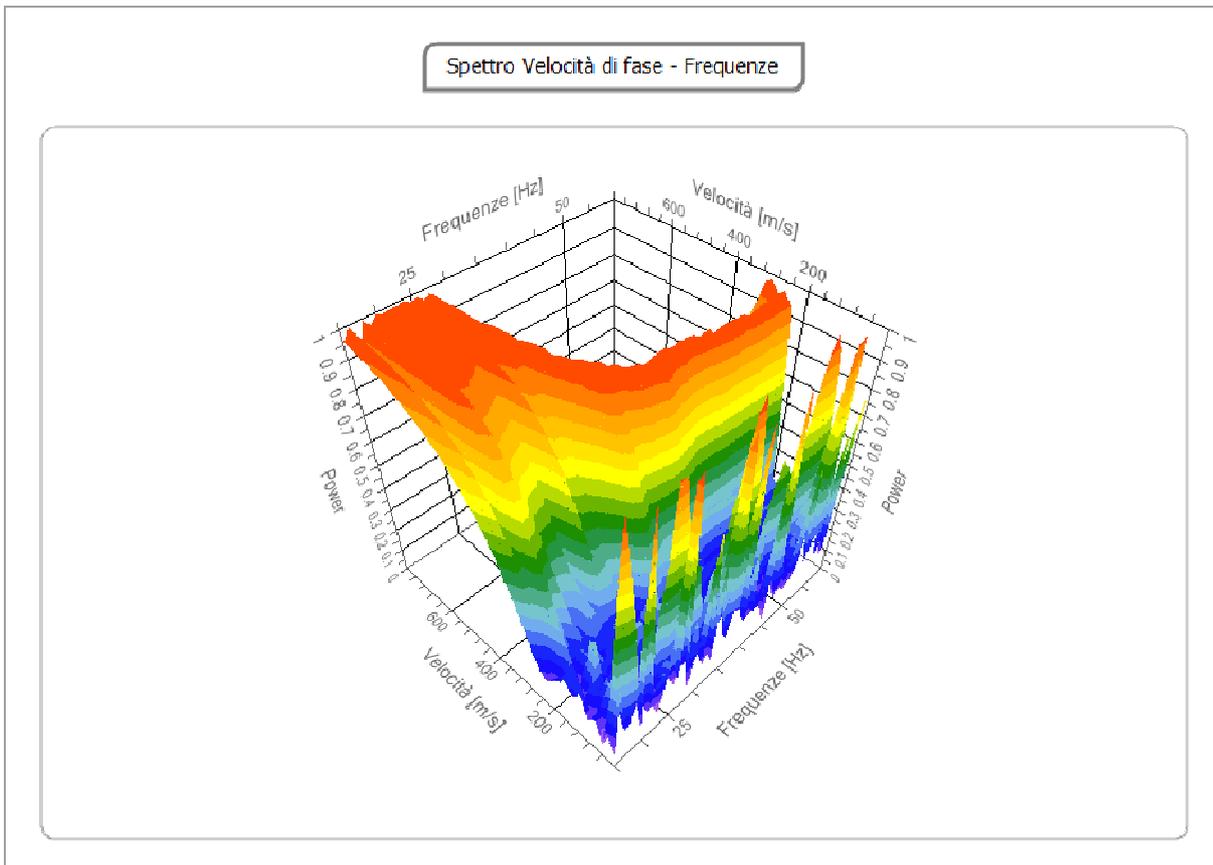
Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1048.6
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [msec]	1.024



Analisi spettrale

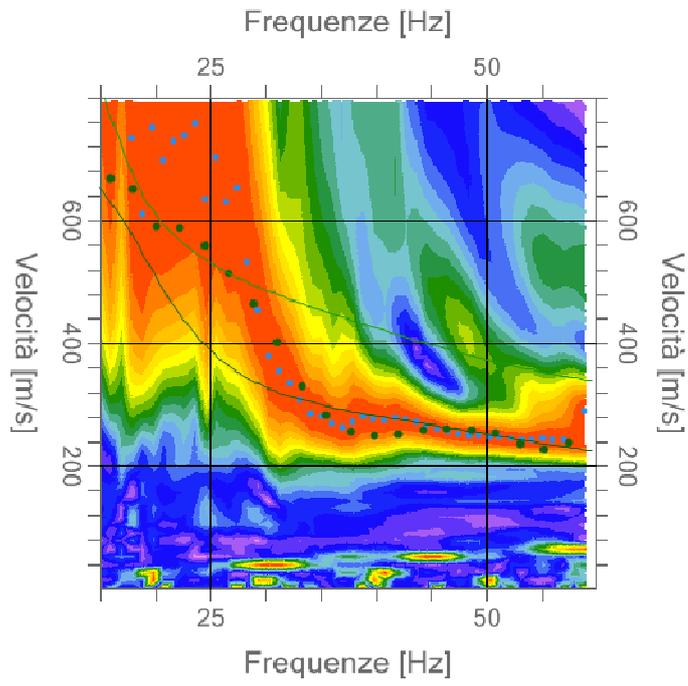
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	15
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.9	668.8	0
2	17.9	649.7	0
3	20.1	589.8	0
4	22.3	588.2	0
5	24.5	557.8	0
6	26.7	512.6	0
7	28.9	463.6	0
8	31.1	401.9	0
9	33.3	330.7	0
10	35.5	282.3	0
11	37.7	256.7	0
12	39.9	249.8	0
13	42.1	252.5	0
14	44.2	257.3	0
15	46.4	260.4	0
16	48.6	259.1	0
17	50.8	252.6	0
18	53.0	236.8	0
19	55.2	226.9	0
20	57.4	238.8	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

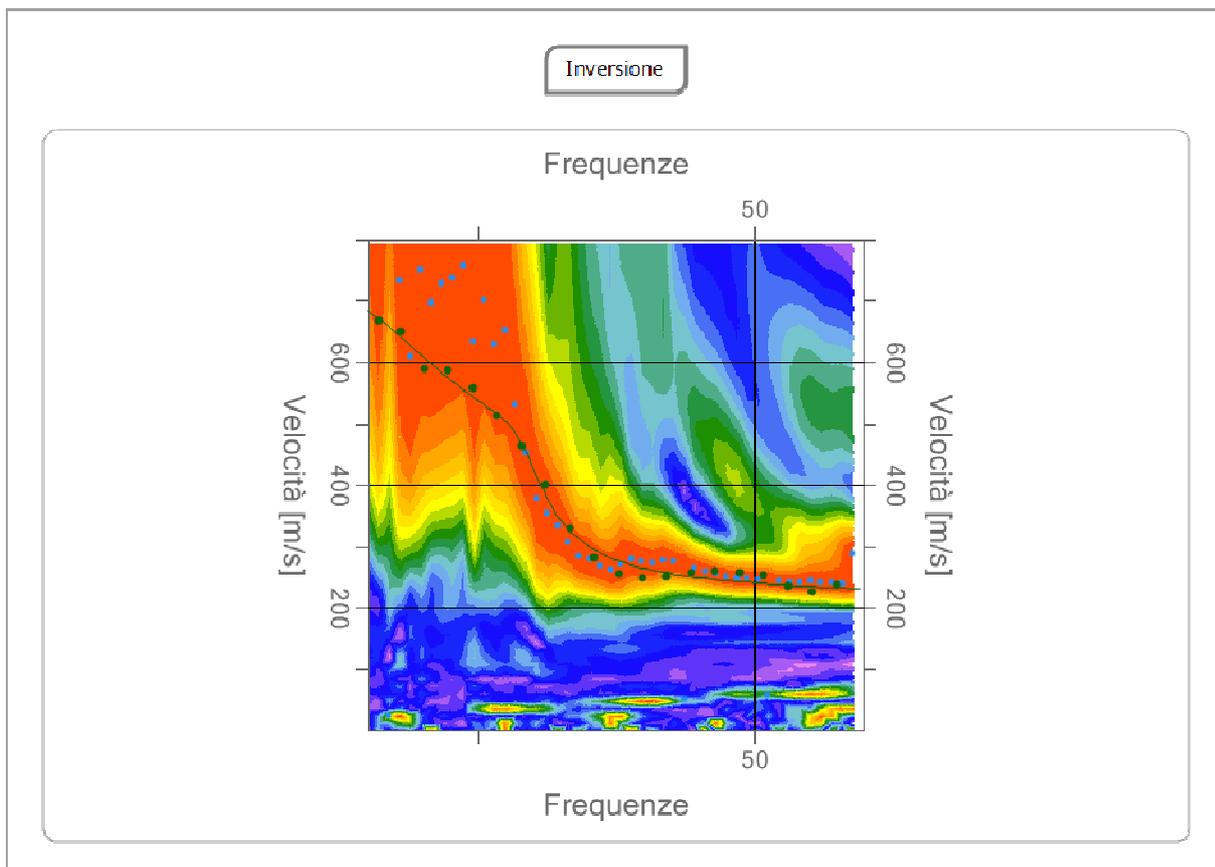
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	Riporto	1.00	1.00	1800.0	0.4	No	511.2	208.7
2	Riporto	3.74	2.74	1800.0	0.4	No	590.6	259.9
3	Calcarenti	7.28	3.54	1800.0	0.4	No	1468.0	705.2
4	Calcarenti	oo	oo	1800.0	0.3	No	1689.8	851.2

Percentuale di errore

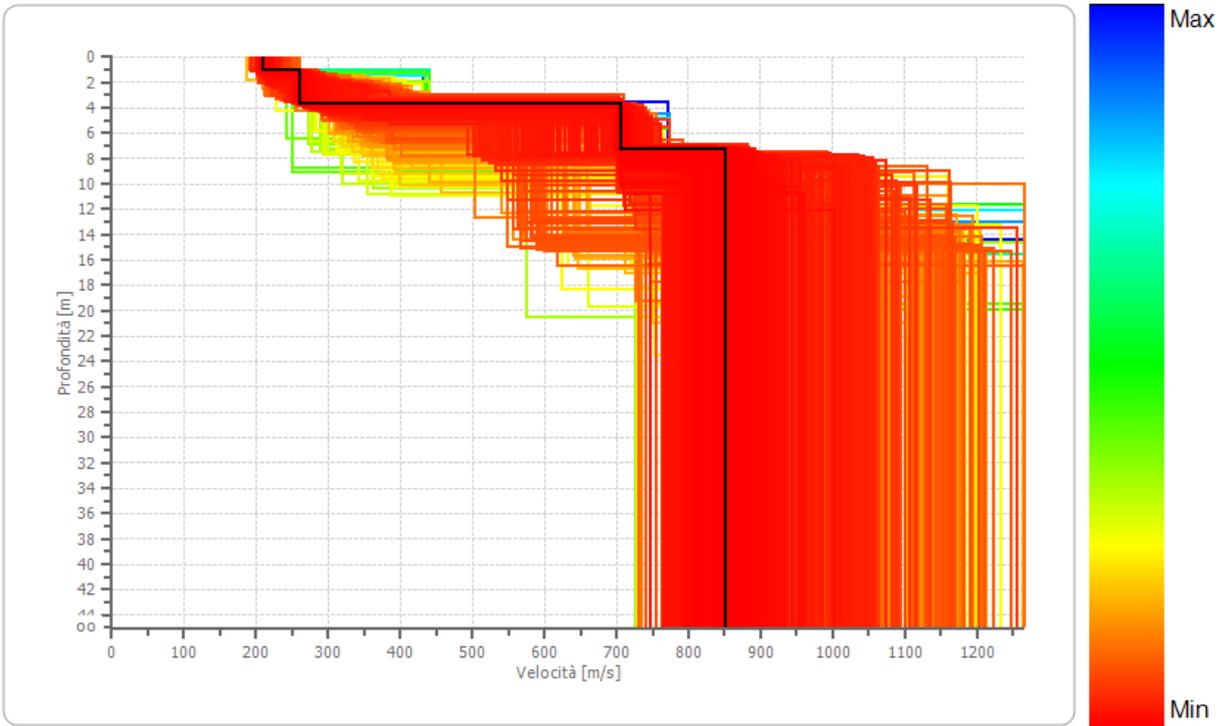
0.083 %

Fattore di disadattamento della soluzione

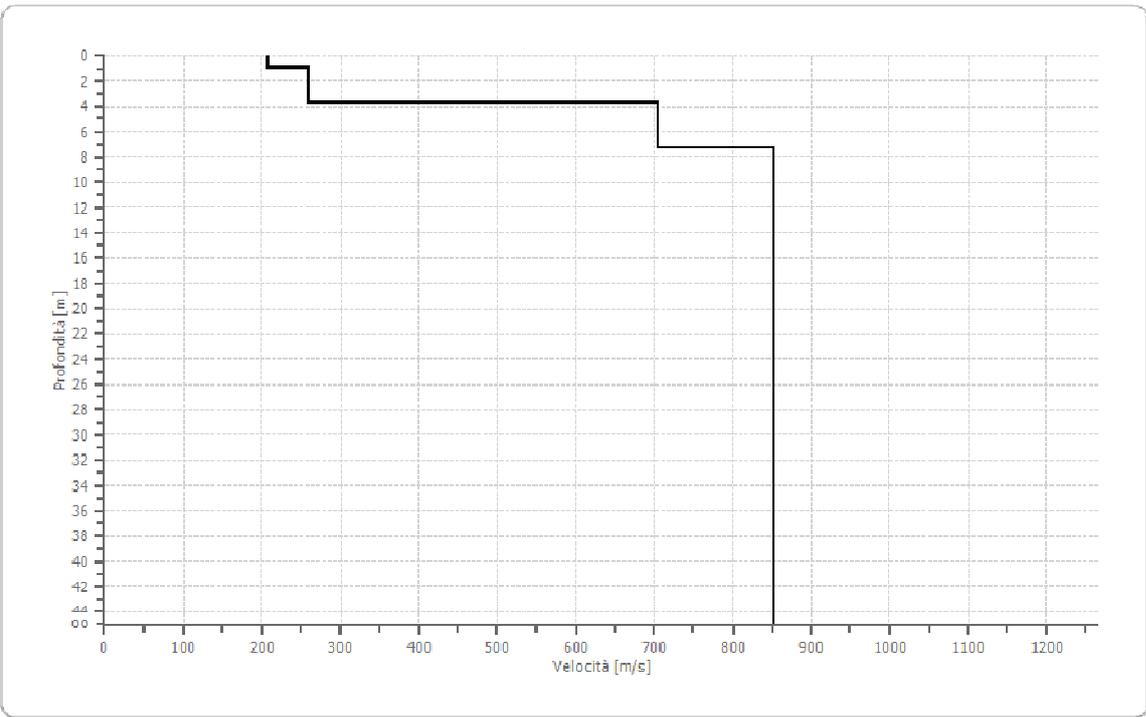
0.038



Profilo di velocità



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	- 1.00
V_{S30} NTC2008 [m/sec]	690.92
V_{Sequiv7} NTC2018 [m/sec]	443.21
Categoria del suolo NTC2018	B

Categoria del suolo secondo le norme NTC2018 : Suolo di tipo “B”

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s,30} 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).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisso n	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.00	1.00	208.71	511.23	1800.00	0.40	78.41	470.45	365.90	219.54
2	3.74	2.74	259.85	590.65	1800.00	0.38	121.54	627.96	465.90	335.45
3	7.28	3.54	705.22	1468.0 3	1800.00	0.35	895.20	3879.1 8	2685.5 9	2417.0 3
4	oo	oo	851.19	1689.8 2	1800.00	0.33	1304.1 4	5139.8 6	3401.0 0	3469.0 2

G₀: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M₀: Modulo di compressibilità volumetrica;

E_y: Modulo di Young;

Indice

Dati generali.....	4
Tracce.....	5
Analisi spettrale.....	6
Curva di dispersione.....	7
Inversione.....	10
Risultati.....	14
Altri parametri geotecnici.....	14
Indice.....	16

CALCOLO DELLA VELOCITA' EQUIVALENTE DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO - NCT 2018

h_i Spessore dell'iesimo strato
 $V_{s,i}$ Velocità delle onde di taglio nell'iesimo strato
 N Numero di strati
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/sec

Profondità substrato con V_s non inferiore a 800 m/sec = **7** metri
 se entro 30 m non viene superata una V_s di 800 m/sec
 si applica la formula delle NCT 2008 con " H " = 30

Calcolazione secondo NCT 2018 =

Vs 7

$$V_{S,eq} = \frac{H}{N \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{443.21 m/sec} \quad \text{Categoria di suolo : } \mathbf{B}$$

(3.2.1)

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Progetto : Variante urbanistica Canonica

Località : Palermo - Viale Francia

Ditta : Parrocchia Maria SS Madre Chiesa

Prof	Vs	hi	hi/Vi
1	209	1	0.00478
2	260	1	0.00385
3	260	1	0.00385
4	260	1	0.00385
5	705	1	0.00142
6	705	1	0.00142
7	705	1	0.00142
8	851	1	0.00118
9	851	1	0.00118
10	851	1	0.00118
11	851	1	0.00118
12	851	1	0.00118
13	851	1	0.00118
14	851	1	0.00118
15	851	1	0.00118
16	851	1	0.00118
17	851	1	0.00118
18	851	1	0.00118
19	851	1	0.00118
20	851	1	0.00118
21	851	1	0.00118
22	851	1	0.00118
23	851	1	0.00118
24	851	1	0.00118
25	851	1	0.00118
26	851	1	0.00118
27	851	1	0.00118
28	851	1	0.00118
29	851	1	0.00118
30	851	1	0.00118
31	851	1	0.00118
32	0	1	#DIV/0!

H 2018	H 2008
7	30

NCT 2018	NCT 2008
443.21	681.88

$\Sigma hi/Vs,i =$	0.016
$\Sigma hi/Vs,j =$	0.044

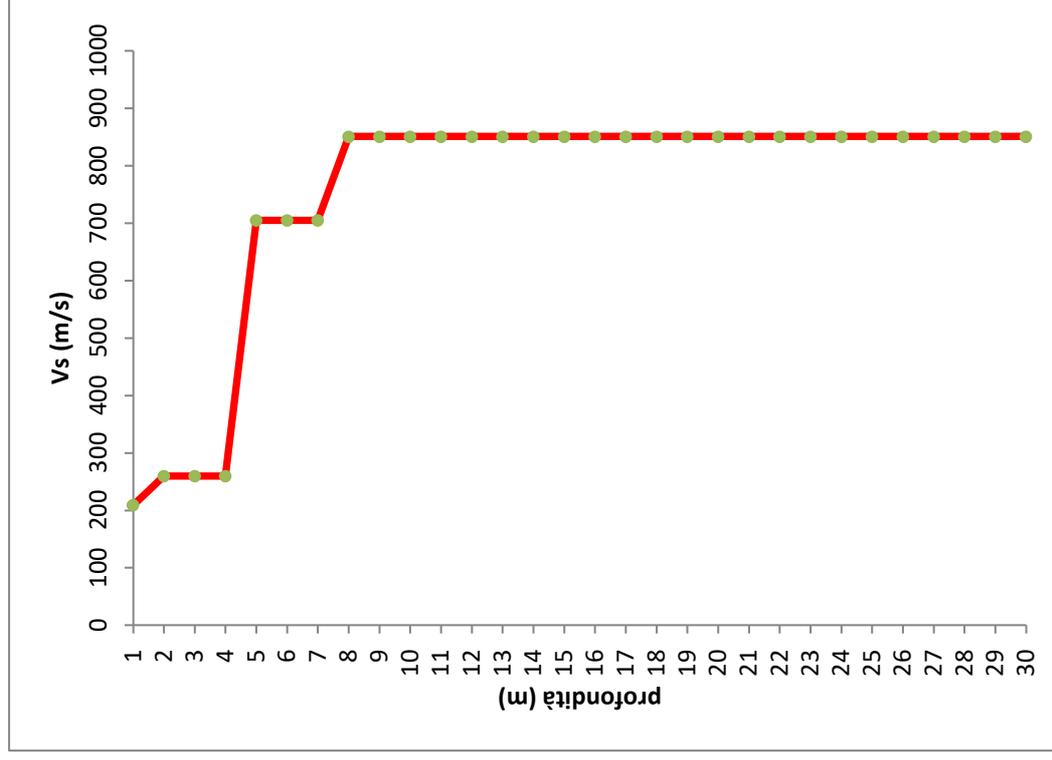


Grafico NCT 2008 con Vs30
Profondità (metri) - Vs (m/sec)

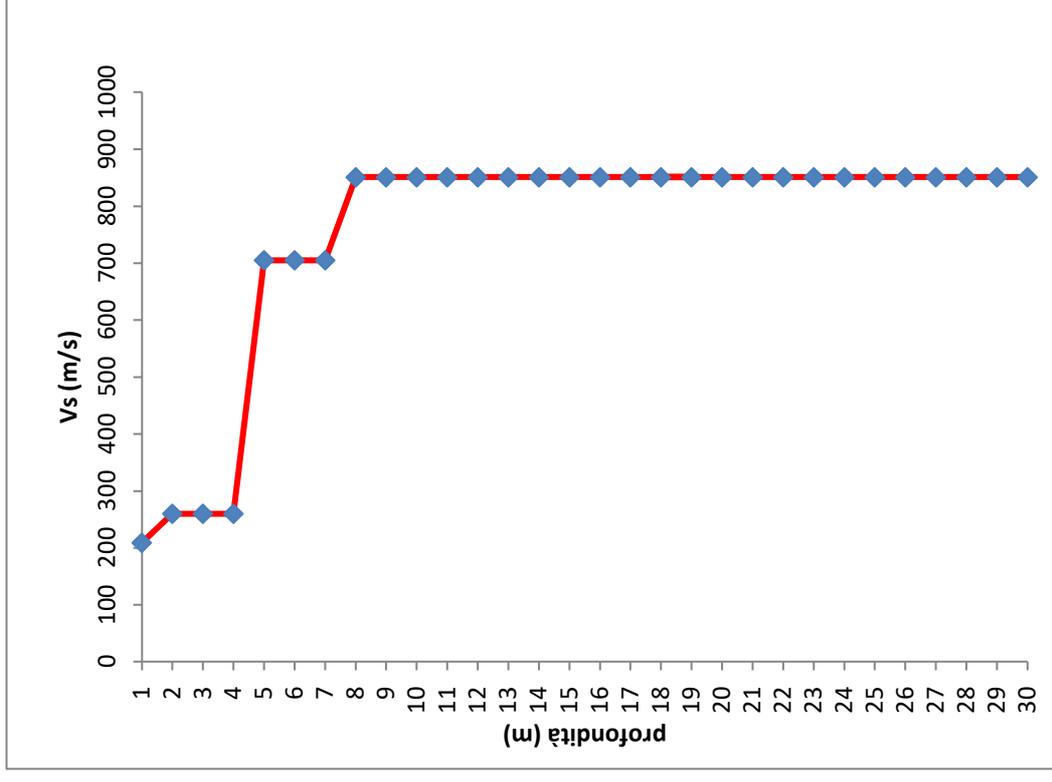


Grafico NCT 2018 con Vs,i
Profondità (metri) - Vs (m/sec)

Calcolo parametri sismici dinamici

Prof	Vp	Vs	Vp/Vs	v	Edin	K _{din}	G _{din}	γ _{din}	δ _{din}	R
1	512	209	2.45	0.4	204067	13604	7437	1.67	0.17	35.6
2	591	260	2.27	0.38	319909	25593	11827	1.71	0.17	45.5
3	591	260	2.27	0.38	319909	25593	11827	1.71	0.17	45.5
4	591	260	2.27	0.38	319909	25593	11827	1.71	0.17	45.5
5	1602	705	2.27	0.38	2842945	227436	105107	2.07	0.21	149.1
6	1602	705	2.27	0.38	2842945	227436	105107	2.07	0.21	149.1
7	1602	705	2.27	0.38	2842945	227436	105107	2.07	0.21	149.1
8	1934	851	2.27	0.38	4293189	343455	158725	2.15	0.22	186.5
9	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
10	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
11	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
12	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
13	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
14	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
15	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
16	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
17	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
18	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
19	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
20	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
21	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
22	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
23	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
24	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
25	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
26	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
27	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
28	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
29	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4
30	1771	851	2.08	0.35	4130264	413026	156095	2.11	0.22	183.4

LEGENDA

Vp = Vel. onde verticali
 Vs = Vel. onde orizzontali
 Vp/Vs = Rapporto
 v = Coeff. di Poisson
 Edin = Mod. Elasticità din.
 K_{din} = Mod. Compressib.
 G_{din} = Modulo di taglio
 γ_{din} = Peso di volume
 δ_{din} = Densità geofisica
 R = Rapp. di impedenza

Unità di misura

Vp = m/sec
 Vs = m/sec
 Vp/Vs = adimensionale
 v = adimensionale
 Edin = kg/cmq
 K_{din} = kg/cmq
 G_{din} = kg/cmq
 γ_{din} = t/mc
 δ_{din} = T/mc / m/sec
 R = t/(mq*sec)

μ	k	λ	E	ν
$\frac{3(k-\lambda)}{2}$	$\lambda + \frac{2\mu}{3}$	$k - \frac{2\mu}{3}$	$\frac{9k\mu}{3k+\mu}$	$\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$
$\lambda \left(\frac{1-2\nu}{2\nu} \right)$	$\mu \left[\frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \right]$	$\frac{2\mu\nu}{(1-2\nu)}$	$2\mu(1+\nu)$	$\frac{\lambda}{(3k-\lambda)}$
$3k \left(\frac{1-2\nu}{2+2\nu} \right)$	$\lambda \left(\frac{1+\nu}{3\nu} \right)$	$3k \left(\frac{\nu}{1+\nu} \right)$	$\mu \left(\frac{3\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} \right)$	$\frac{3k-2\mu}{2(3k+\mu)}$
$\frac{E}{2(1+\nu)}$	$\frac{E}{3(1-2\nu)}$	$\frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$	$3k(1-2\nu)$	$\frac{3k-E}{6k}$

Relazioni tra le principali costanti elastiche

Materiale	Velocità sismiche in sito (a piccole deformazioni) (m/s)	Coefficiente di Poisson ν	Densità (g/cm ³) ρ	Modulo di elasticità tangenziale (MN/m ²) G
	V_p V_s	ν	ρ	G
Sabbia (in prossimità della superficie)	1450-1550 (180-450) 1500-1750 (320-650)	0.48-0.50 (0.3-0.35) 0.47-0.49 (0.2-0.3)	1.5-1.8 1.7-2.1	15-110 70-250
Argilla	1700-2000 (550-1300)	0.45-0.48 (0.15-0.3)	1.9-2.2	230-1000
Arenaria e scisti non alterati	1450-1550 (80-180) 1500-1700 (180-300) 1600-1900 (300-500)	0.47-0.5 0.47-0.5 0.47-0.5	1.6-2.0 1.7-2.1 1.8-2.3	10-65 55-190 160-450
Calcare	1500-4000 (800-2000)	0.25-0.35	2.0-2.4	1300-9500
Roccia cristallina o metamorfica non alterata	2000-6000 (1200-3000) 3500-7000 (2000-3500)	0.25-0.35 0.25-0.30	1.8-2.5 2.2-2.6	2600-20000 8500-32000

Velocità sismiche e alcuni moduli elastici per tipo di terreno tra parentesi se il materiale è saturo

