



STUDIO TECNICO

Arch. Oscar RAVAZZI

via XXIV Maggio,20
15100 Alessandria
Tel./fax 0131/226164
E.mail ravazzi14@libero.it
P.I.V.A. 02419800061

DENOMINAZIONE DEL PROGETTO:

Piano Esecutivo Convenzionato denominato "2 Emme" compreso nel comparto Unità n° 4 - Norberto Rosa

OGGETTO:

Relazione geologica

COMMITTENTE

Immobiliare 2 Emme s.rl.
Via Vescovado n° 32
Alessandria (AL)

ALLEGATO

8

COMUNE DI:

Alessandria (AL)

LOCALITA'

Quartiere Norberto Rosa

PROGETTISTA:

Arch. Oscar RAVAZZI

AGGIORNAMENTI:

SCALA

Arch. Federica RAVAZZI

DATA

08/01/2018

**REGIONE PIEMONTE
COMUNE DI ALESSANDRIA**

**PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO DENOMINATO
"2 EMME" COMPRESO NEL COMPARTO UNITA' N. 4
NORBERTO ROSA**

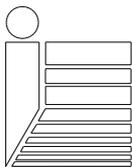
RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: Immobiliare 2Emme s.r.l.

Progetto: Arch. Oscar Ravazzi

Tecnici incaricati: ing. geol. Giuseppe Massone – ing. Rita Di Cosmo

Data: 10 luglio 2018



*Studio Associato ing. geol. Giuseppe Massone ing. Rita Di Cosmo
Via Martiri della Libertà 20 - 15040 Castelletto Monferrato (AL)
tel. 0131 239460 fax 0131 233320 e-mail: geomassone@libero.it*



SOMMARIO

<u>§ 1. PREMESSA</u>	<u>3</u>
<u>§ 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE</u>	<u>4</u>
§ 2.1. Descrizione - ubicazione	4
§ 2.2. Esame degli elaborati geologici (database regionale e PRGC)	6
<u>§ 3. CLASSIFICAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2018</u>	<u>9</u>
<u>§ 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u>	<u>12</u>
§ 4.1. Inquadramento geologico generale	12
§ 4.2. Situazione geologica e stratigrafica locale	13
<u>§ 5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA</u>	<u>14</u>
§ 5.1. Inquadramento idrogeologico generale	14
§ 5.2. Situazione idrogeologica locale	17
<u>§ 6. CONSIDERAZIONI E MODALITA' OPERATIVE</u>	<u>19</u>



§ 1. PREMESSA

Il presente studio intende illustrare le caratteristiche geologiche di un sito, interessato dal progetto di un Piano Esecutivo Convenzionato denominato “2 Emme”, compreso nel comparto “Unità n. 4 – Norberto Rosa” nel Comune di Alessandria, per conto della soc. Immobiliare “2 Emme s.r.l.”

Lo studio si articola nello sviluppo dei seguenti punti:

1. esame dell’area sotto l’aspetto geomorfologico ed idrogeologico;
2. rilievo geomorfologico e geologico - applicato di dettaglio;
3. caratterizzazione sismica del sito mediante stendimento geosismico, con doppia metodologia (a rifrazione e MASW).

La presente relazione è stata redatta ai sensi della seguente normativa:

- D.M. 17/01/2018 "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni*".
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 617 del 02/02/2009 "*Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.*"



§ 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

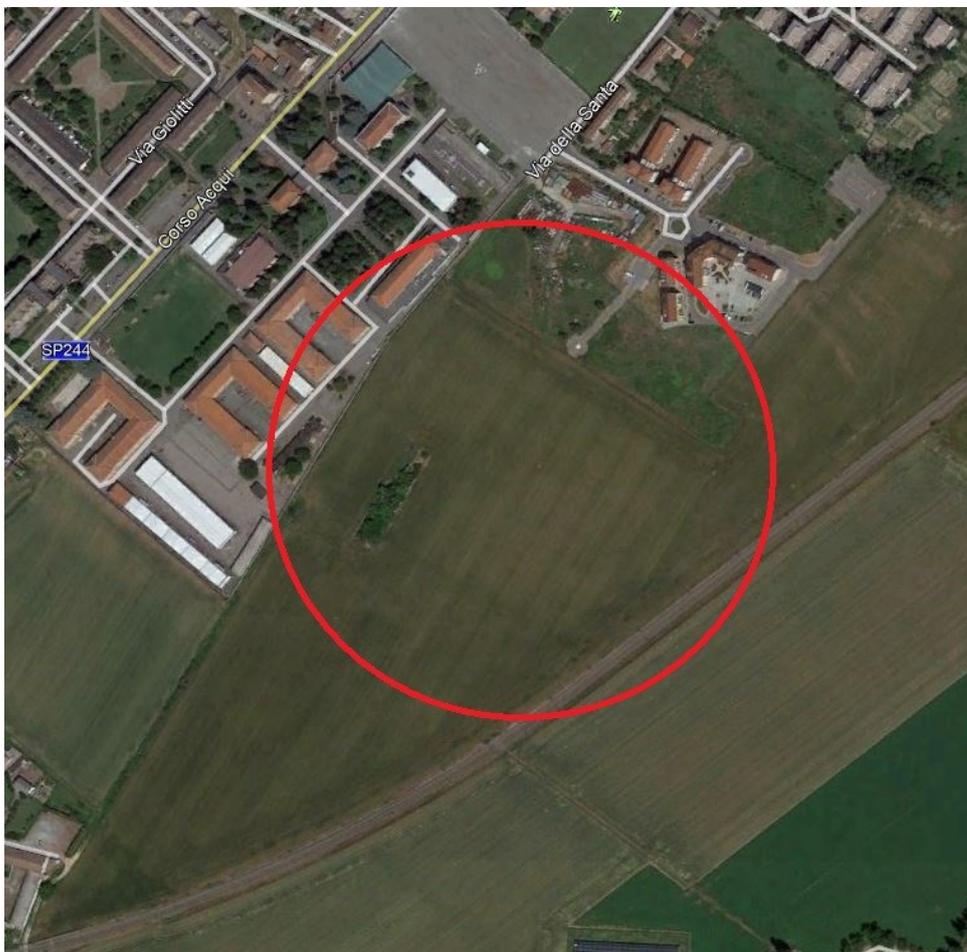
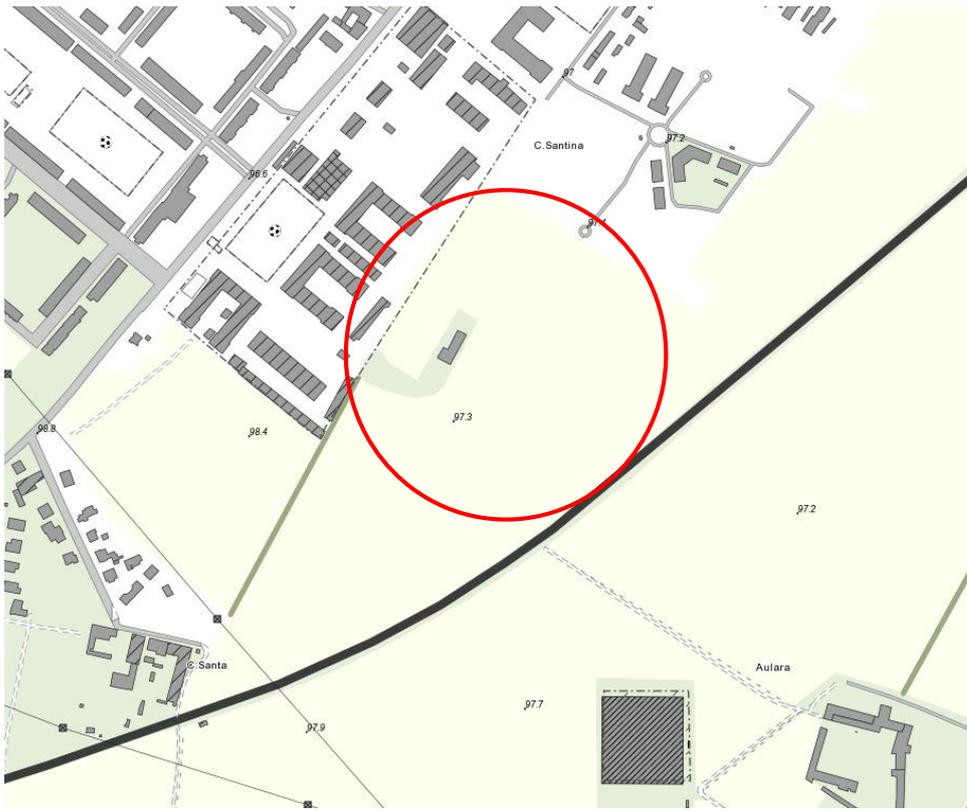
§ 2.1. Descrizione - ubicazione

Citando la relazione tecnica di progetto, *“il Piano Esecutivo Convenzionato riguarda un’area localizzata nel Comune di Alessandria, ricompresa in “Unità Norberto Rosa – ambito 4”, prolungamento via della Santa, ed è individuata dal PRGC vigente come “area residenziali della città di 3^a classe” soggetta a strumento urbanistico esecutivo (Piano Esecutivo Convenzionato). Attualmente si presenta come un’ampia area incolta non edificata ad andamento pianeggiante, l’accesso è assicurato lungo il confine est dalla rotonda esistente realizzata con il PEC denominato “La Fragola”. Il tessuto residenziale esistente è caratterizzato da varie tipologie edilizie, libere e/o popolari, mentre sul fronte ovest è prossimo ai terreni ed alle costruzioni della Scuola di Polizia, caserma Cardile.*

La Società “Immobiliare 2 Emme s.r.l.” intende proporre un nuovo PEC, come sopra descritto, progettato esclusivamente sulle aree di proprietà, nelle more di definizione della richiesta di variante al P.R.G.C. al fine di attivare parte dell’area soggetta a Strumento Urbanistico esecutivo denominato “Unità 4 Norberto Rosa”.

Detta area confina con il PEC “La Fragola”, facente parte anch’esso dell’Unità 4 Norberto Rosa, nel quale le opere di urbanizzazione sono state completamente realizzate e collaudate, per cui la viabilità proposta nel progetto dall’Immobiliare 2 Emme s.r.l., si innesterà a quella già realizzata.

L’area in esame ricade in corrispondenza dell’estremità sud occidentale dell’abitato di Alessandria, tra il Quartiere Cristo e loc. Cabannette. Si tratta di un ampio e regolare appezzamento, di forma pressoché rettangolare, pianeggiante e con quote pari a 97 m s.l.m. circa, come desumibile da un estratto dalla BDTRE della regione Piemonte, sotto riportata.

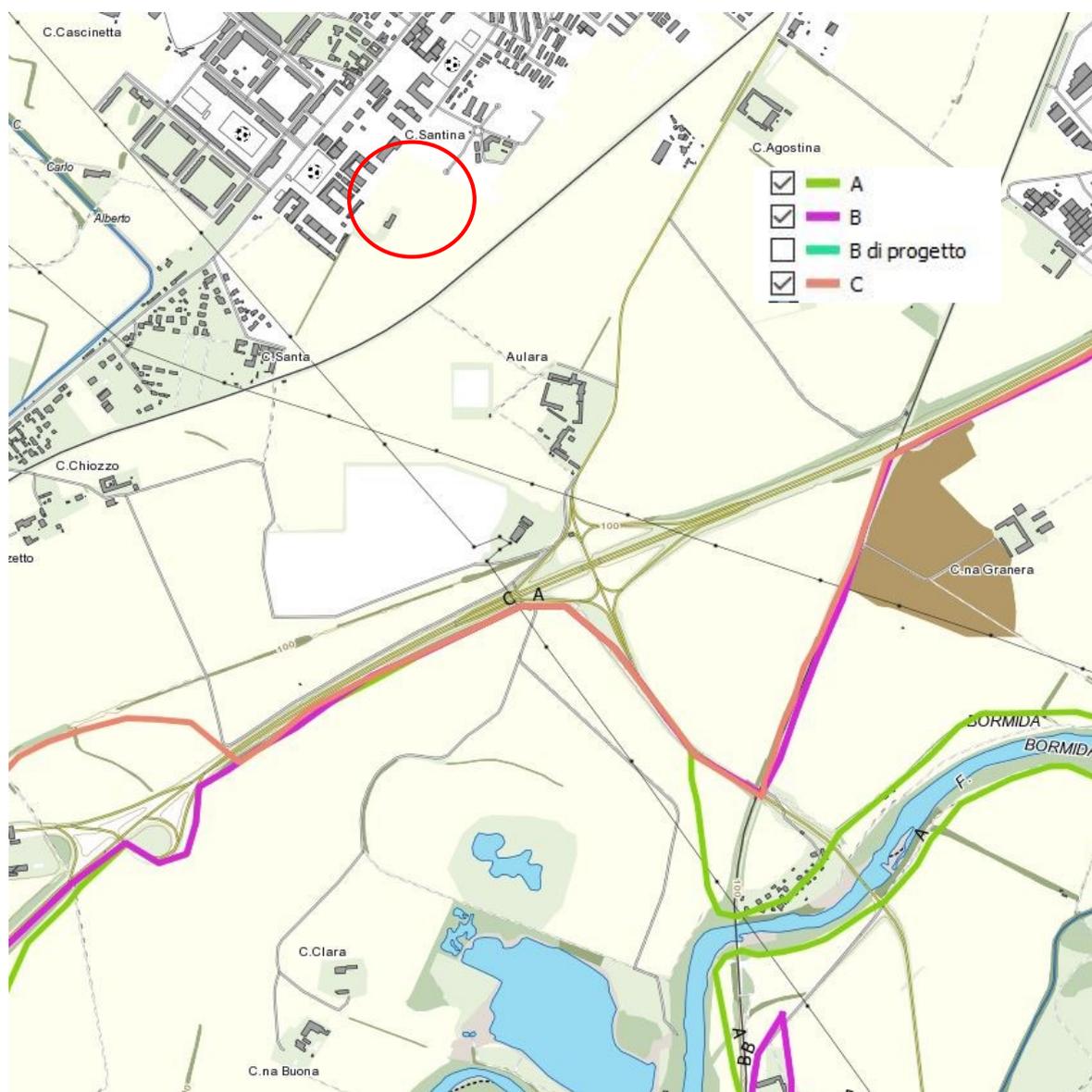




Tutta l'area risulta completamente adibita alle attività agricole, se si eccettua una porzione interclusa su cui insiste un fabbricato rurale in stato di abbandono.

§ 2.2. Esame degli elaborati geologici (database regionale e PRGC)

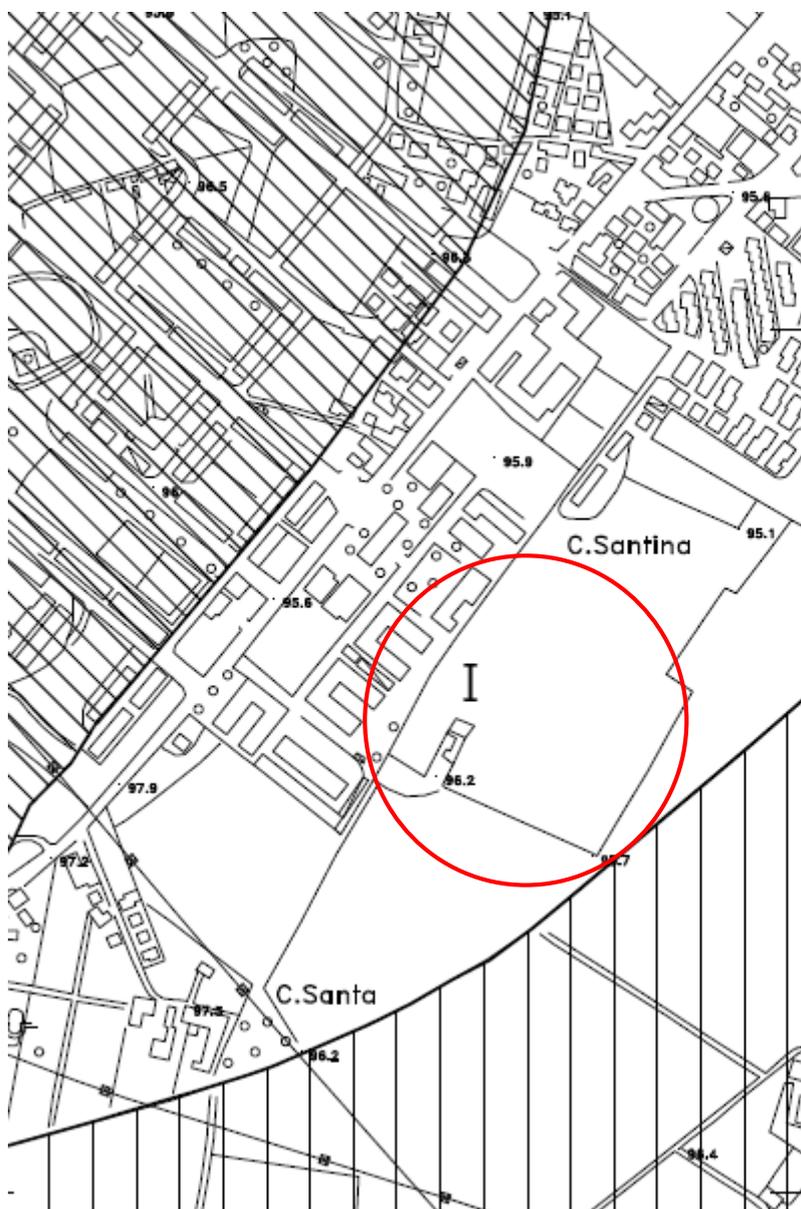
L'area ricade abbondantemente all'esterno della Fascia C del Fiume Bormida, come visibile nell'estratto della tavola di delimitazione delle fasce fluviali del PAI, di cui alla Figura seguente.



Non sono prevedibili, pertanto, fenomeni di esondazione, neanche con modesti tiranti idrici, a carico del sito in esame.



Nella carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell' idoneità all' utilizzazione urbanistica del PRGC vigente, l' area viene classificata in Classe I come mostra la figura seguente:



*Estratto carta di sintesi studio geologico allegato alla III Variante
Strutturale al PRGC - dicembre 2010*

PIANURA

CLASSE I: PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA BASSA O NULLA

Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limiti alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici, sia privati, sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M.L.P. 11/3/1988.



Arete dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche.



Per la Classe I all'art. 51 delle Norme di Attuazione del PRG - testo coordinato Aprile 2017 - si legge quanto segue:

“Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limiti alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici, sia privati, sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 11/03/1988e del D.M. 14/01/2008 e s.m.i.”.

Non sono pertanto prescritte ulteriori norme di zona.



§ 3. CLASSIFICAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 (*delle NTC 2018*). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 (*delle NTC 2018*). I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s).

In base alla prova sismica MASW specificamente realizzata, ai sensi delle NTC 2018, i terreni in esame sono preliminarmente riconducibili alla categoria di suolo C ovvero "*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 e 360 m/s.

A questo proposito si allega specifico report della prova sismica effettuata.



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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Con riferimento alla tabella 2.4.1. delle N.C.T. 2018 le opere in progetto all'interno del PEC, avranno le seguenti caratteristiche:

Vita nominale V_N [anni] ≥ 50

Classe d'uso *II* (presenza occasionale)

Ne consegue che il periodo di riferimento per l'azione sismica è:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per cui essendo dalla tabella 2.4.II delle N.C.T. 2018 (per classe *II*)

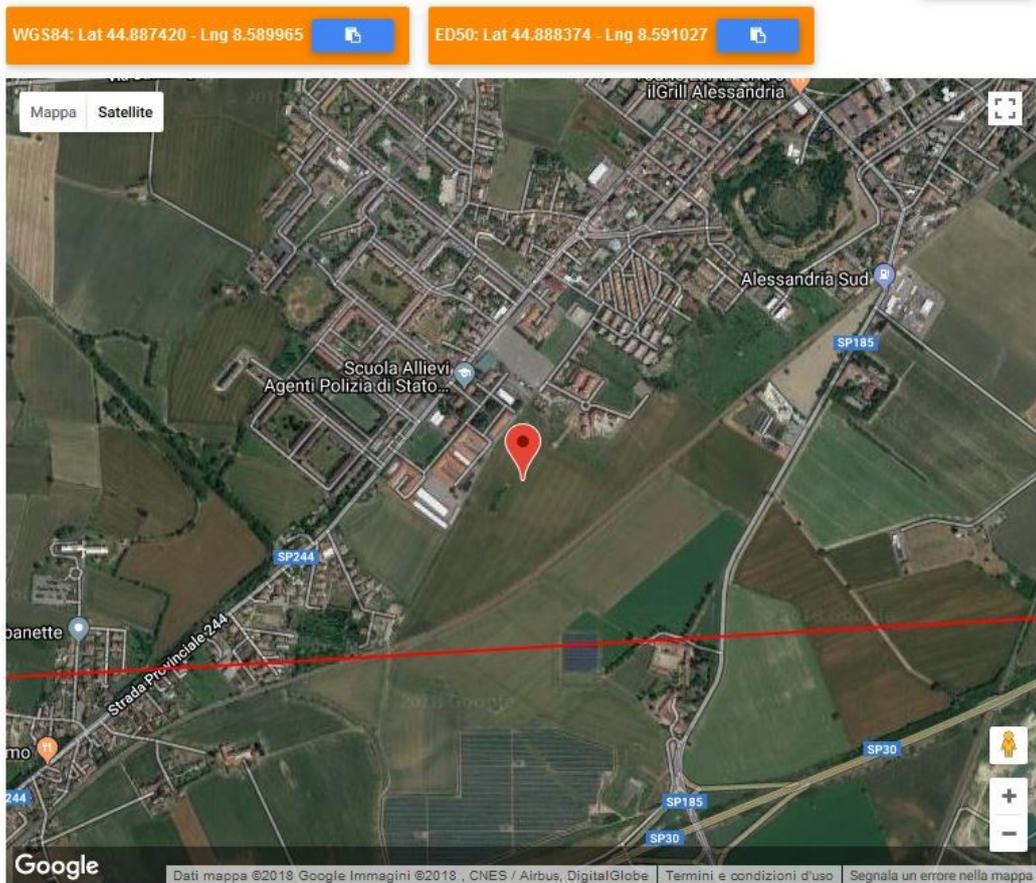
$$C_U = 1 \text{ si ha } V_R \geq 50 \text{ anni.}$$

Le coordinate medie del sito (espresse in WGS84) sono:

latitudine: 44,887420

longitudine: 8,589965

I parametri geografici e sismici sono stati ricavati con l'ausilio del programma Geostru PS - *Parametri sismici 2017*, come di seguito riportato.



Stati limite

Classe Edificio
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...
 Vita Nominale 50
 Interpolazione Media ponderata
CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.018	2.533	0.161
Danno (SLD)	50	0.024	2.521	0.193
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.057	2.563	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.073	2.564	0.286
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.
 H (m) us (m)
 1 0.1
 Cat. Sottosuolo C
 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,92	1,81	1,60	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	0.6			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.007	0.017	0.022
kv	0.003	0.004	0.009	0.011
Amax [m/s ²]	0.267	0.351	0.838	1.078
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200



§ 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

§ 4.1. Inquadramento geologico generale

L'area in esame, da un punto di vista geologico, appartiene alla piana fluviale alessandrina, formatasi a seguito di ripetuti fenomeni di sovralluvionamento ed erosione, succedutisi nel corso del Quaternario.

La sequenza litostratigrafica dell'area alessandrina è caratterizzata dalla presenza, in superficie, della Serie dei Depositi Fluviali costituita da ampie conoidi alluvionali di età pleistocenica inferiore - olocenica che, dallo sbocco delle rispettive valli, si aprono a ventaglio verso Nord, saldandosi lateralmente tra di loro; questi depositi, prevalentemente grossolani (Complesso dei Depositi Grossolani Fluviali), si interdigitano lungo il bordo del Monferrato con i materiali più fini del F. Tanaro.

I depositi più recenti si distinguono nettamente da quelli sottostanti più antichi lungo i corsi d'acqua principali, mentre altrove il passaggio è più sfumato; questi depositi, di natura ghiaiosa, sabbiosa e argillosa con modesto grado di alterazione superficiale, costituiscono la maggior parte della pianura tra Serravalle Scrivia, Tortona, Castelnuovo Scrivia, Sale e Alessandria.

La piana estesa da Novi Ligure a Pozzolo Formigaro - Fresonara è formata da depositi fluviali di età pleistocenica media.

La Serie dei Depositi Fluviali termina con i depositi fluviali più antichi, altimetricamente più elevati; questi formano i terrazzi a Sud di Novi Ligure e di Capriata d'Orba - San Cristoforo. Tali sedimenti corrispondono, nel F. 70 Alessandria della C.G.I. (Servizio Geologico d'Italia, 1969), ai depositi del Fluviale e Fluviale-lacustre Antichi di età pleistocenica inferiore, la cui natura è prevalentemente ghiaioso - sabbioso - argilloso, con un forte grado di alterazione superficiale.

In via generale, la parte occidentale del bacino risulta alluvionata dal Bormida e dall'Orba con deposizione di materiale ghiaioso e ciottoloso, mentre il F. Tanaro, dato il suo lungo percorso, ha un apporto prevalentemente sabbioso.



La parte orientale del bacino, invece, comprendente l'area tra Novi-Alessandria-Sale, è essenzialmente il prodotto dell'alluvionamento dello Scrivia, come testimoniato dalla presenza di ciottoli calcarei provenienti dal bacino imbrifero dello Scrivia. Solo ad Ovest di Spinetta Marengo e di Castelceriolo compaiono oltre ai ciottoli calcarei anche ciottoli di serpentiniti e di gneiss provenienti dall'erosione del *Gruppo di Voltri* da parte di Bormida e Orba.

La confluenza in tale area di grosse correnti fluviali (soprattutto il Bormida e lo Scrivia) può in parte spiegare la grande potenza dei depositi alluvionali, 100 m nell'area poco a Nord di Pozzolo Formigaro, mentre spessori ridotti di alcuni metri si ritrovano nelle aree pedecollinari e in corrispondenza della dorsale sepolta Tortona-Montecastello.

§ 4.2. Situazione geologica e stratigrafica locale

La morfologia pressoché pianeggiante del sito è caratterizzata dalla presenza esclusiva di vasti depositi di sedimenti tardo pleistocenici, in parte attribuibili alle *alluvioni postglaciali* ed in parte al *fluviale recente*.

Tali alluvioni, come appurato durante l'esecuzione di alcune prove penetrometriche eseguite in loc. Cabanette, sono di natura prevalentemente limo-argillosa e con mediocri caratteristiche di resistenza.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni sarà effettuata in sede di specifica relazione geotecnica, a seguito della presente relazione geologica.

Trattandosi di terreni alluvionali sarà possibile riscontrare, lungo diverse verticali di indagine, forti variazioni laterali e verticali sia in termini di granulometria sia in termini di stato di addensamento.



§ 5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

§ 5.1. Inquadramento idrogeologico generale

Nell'area in esame con riferimento alla descrizione geologica di cui al paragrafo 4.2. e allo "*Studio Idrogeologico della Pianura Alessandrina*" a cura di De Luca et al. 2002, si possono individuare due complessi idrogeologici principali:

1. complesso idrogeologico caratterizzato da acquifero multistrato, con comportamento principalmente freatico e depositi alluvionali riconducibili alla successione dell'Olocene e Pleistocene superiore e medio e del Pleistocene inferiore e del Pliocene superiore.
2. complesso idrogeologico caratterizzato da acquiferi localmente discontinui, con comportamenti semi-artesiani e artesiani che si sviluppano negli orizzonti ghiaioso-sabbiosi dei depositi alluvionali riconducibili alla successione del Pliocene medio e inferiore; si hanno in particolare alternanze di materiali limo-argillosi poco permeabili e livelli ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da permeabilità medio elevata.

Nell'area in esame si può individuare una falda idrica a superficie libera con comportamento freatico caratterizzata da terreni a granulometria grossolana in una matrice fine generalmente abbondante. Questo acquifero superficiale si estende dalla superficie fino ad una quota di circa 30-35 m dal piano campagna; il regime della falda è strettamente connesso all'attività del Fiume Tanaro da cui è alimentata.

Al di sotto dell'acquifero superficiale, sopra descritto, si individua l'acquifero villafranchiano, lo strato argilloso di separazione ha spessore e permeabilità molto variabili. Si tratta di acquifero multistrato in pressione, con comportamenti artesiani o semiartesiani in relazione alla presenza, continuità laterale e grado di permeabilità dei livelli limoso-argillosi di separazione. I sistemi acquiferi profondi sono protetti da diversi orizzonti di terreni limo-argillosi, caratterizzati da bassa permeabilità, di origine fluviale ed appartenenti alla formazione del *Fluviale e Fluvio lacustre antichi* (Villafranchiano Auct.) mentre il basamento impermeabile dei terreni



pliocenici è posto ad una profondità di oltre 200 m, come indicato nello Studio “*I depositi alluvionali dello Scrivia*” dell’IRSA – CNR (1976).

La falda superficiale viene ricaricata sia per effetto delle precipitazioni meteoriche che per effetto delle irrigazioni mentre le falde profonde vengono principalmente alimentate in parte dalle ricariche meteoriche ed in parte dalle perdite dei corsi d’acqua nelle zone di affioramento. In merito al rapporto tra precipitazioni e variazioni dei livelli piezometrici, numerosi studi citati in bibliografia, evidenziano come gli innalzamenti locali del livello della falda, mediamente, precedano di qualche giorno gli eventi meteorici veri e propri a causa dell’effetto di ricarica dovuto ai corsi d’acqua ovvero le oscillazioni idrometriche dovute agli effetti di piena si ripercuotono per primi sulla falda e quindi con leggero ritardo si risente anche dell’effetto di ricarica delle precipitazioni dirette ed indirette locali.

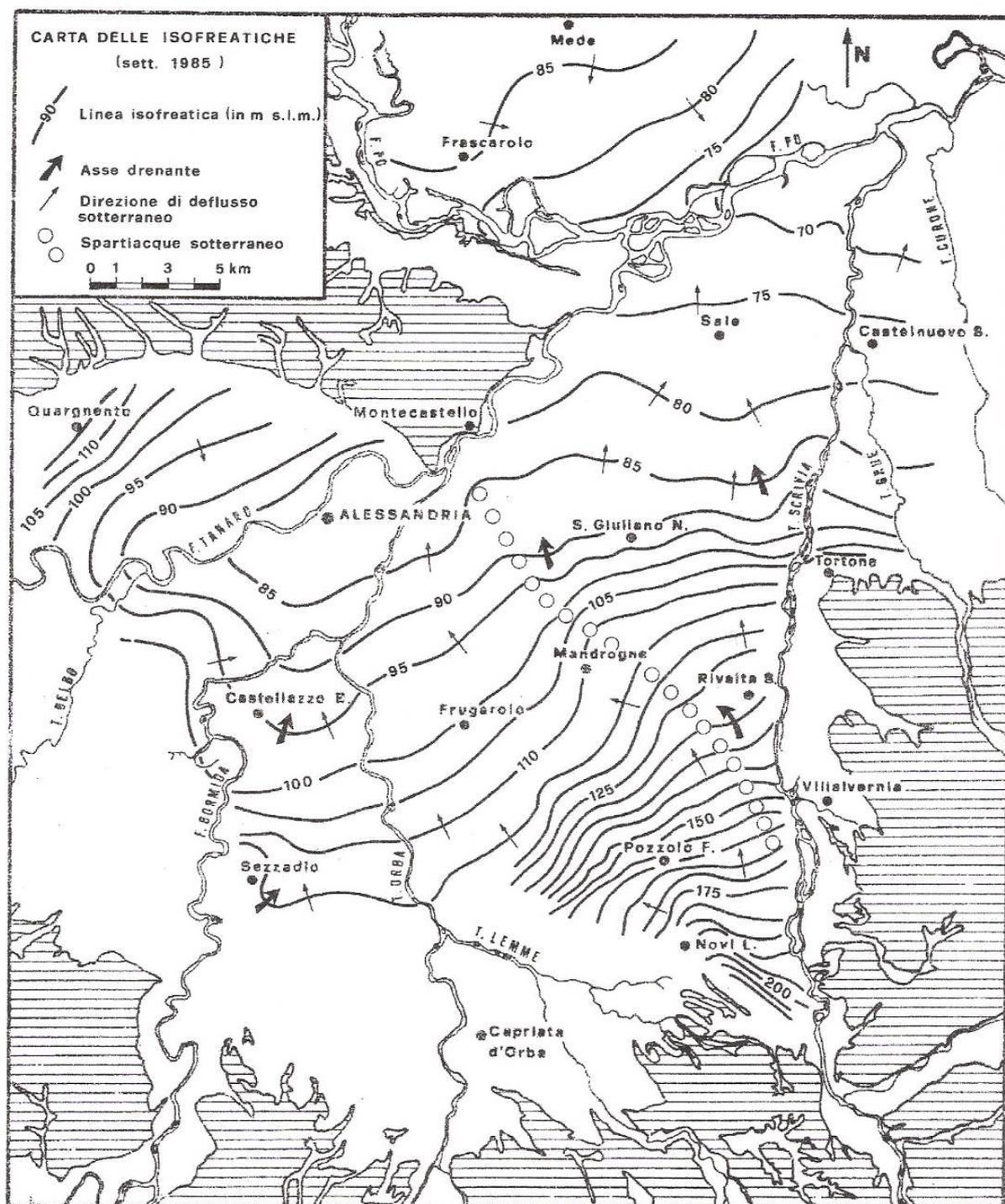


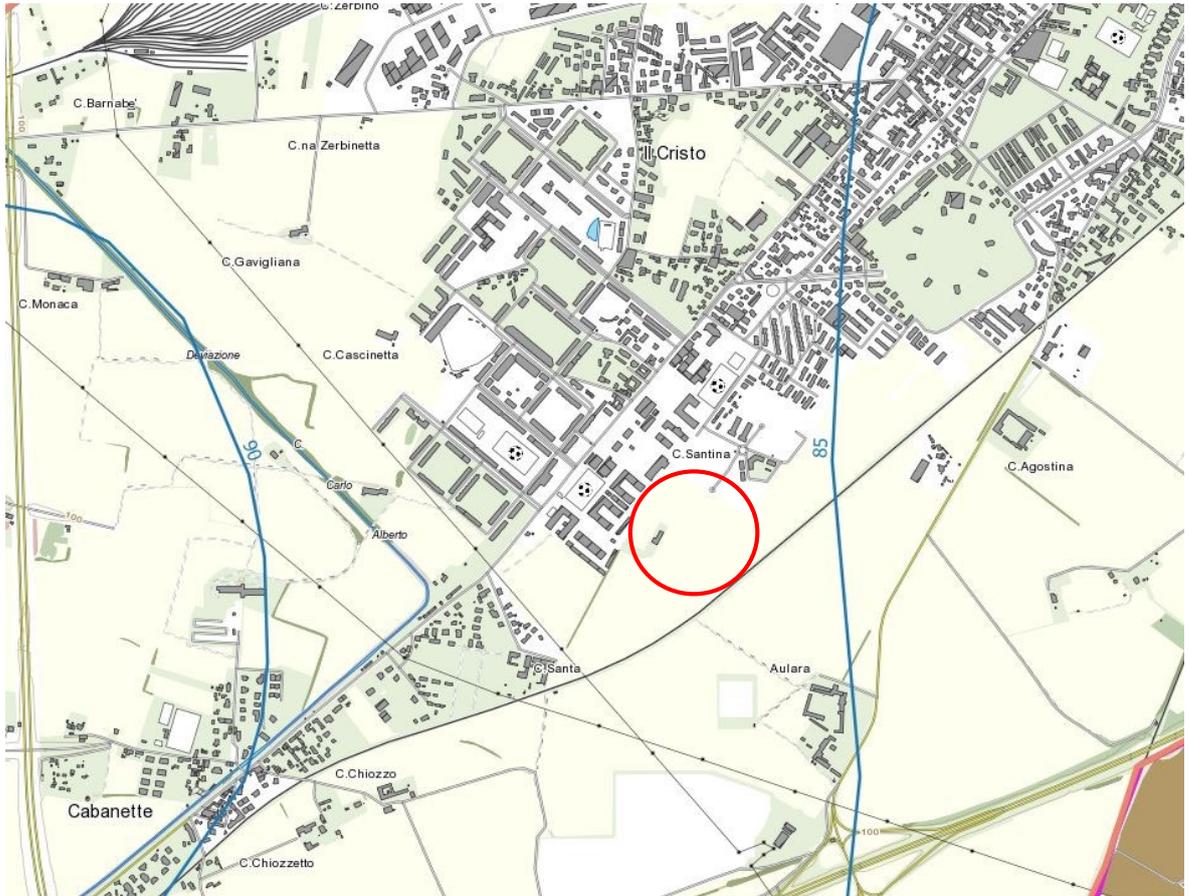
Figura 9: Studio Idrogeologico della pianura alessandrina, De Luca et al. 1988

§ 5.2. Situazione idrogeologica locale

Con riferimento agli shapefiles della Regione Piemonte (piezo100) la quota media locale della superficie dell'acquifero è posta a 86 m s.l.m.

La soggiacenza, essendo la quota di piano campagna di circa 97 m

s.l.m. pertanto, è pari a circa 11 m.



Quota dell'acquifero superficiale

§ 6. CONSIDERAZIONI E MODALITA' OPERATIVE

Il rilievo geologico, unito ad un esame della situazione geologica del sito ha permesso di verificare che il sito, da un punto di vista della compatibilità e del rischio idrogeologico, si trova in una situazione pressoché ottimale.

Il PEC, infatti, ricade infatti all'interno della classe *I* di cui alle N.T.A. del P.R.G.C. del comune di Alessandria, ossia senza vincoli o prescrizioni urbanistiche particolari, ma, come ovvio, le procedure edificatorie saranno sempre soggette ai disposti del D.M. 17.01.2018.

La verifica del PAI ha consentito di osservare che il sito non ricade in zone potenzialmente esondabili, in quanto abbondantemente all'esterno della fascia C, di cui al PAI stesso.

La superficie freatica è posta ad una profondità media di circa 11 m, anche se non si esclude la possibilità di locali falde sospese intrappolate su lenti argillose. Tale eventualità, ovviamente, sarà confutata o confermata in sede di relazione geotecnica, alla luce di specifiche indagini geognostiche e geotecniche.

Le indagini sismiche, infine, hanno evidenziato che i suoli appartengono alla classe C, di cui al D.M. 17.01.2018.

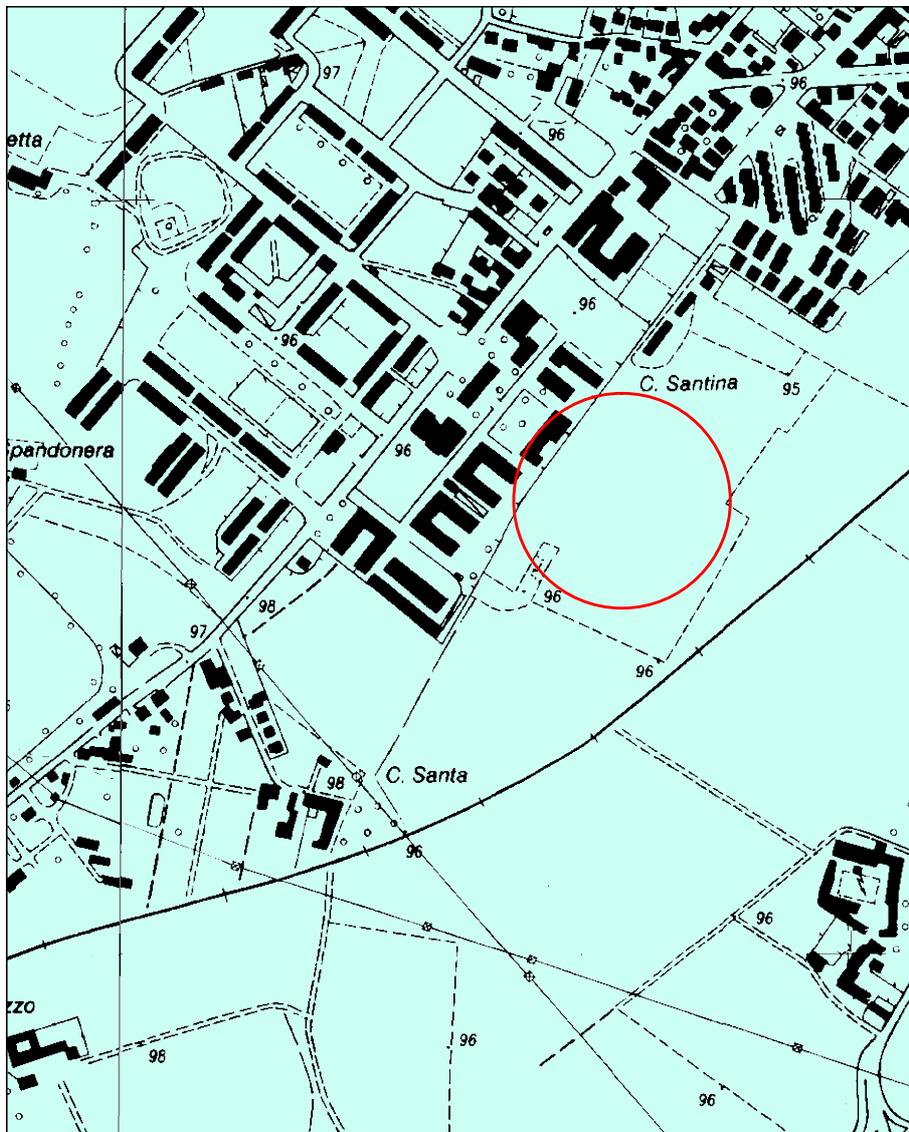
In allegato il report completo di tali indagini.

Lo scrivente rimanda a specifica relazione geotecnica, da effettuarsi in sede di ogni specifica costruzione, per valutare in modo completo l'interazione tra il terreno di fondazione e la struttura in progetto, sulla base di specifiche indagini (in situ e di laboratorio).

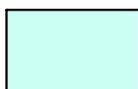
*per Studio Associato
ing. geol. Giuseppe Massone*



ALLEGATO: inquadramento geologico



LEGENDA



Alluvioni prevalentemente argillose della superficie principale della pianura a Sud del Po, attribuibili in parte alle Alluvioni postglaciali e in parte al Fluviale recente.

ALLEGATO: indagine sismica tipo MASW

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI ALESSANDRIA

COMUNE DI ALESSANDRIA

COMMITTENTE: IMMOBILIARE 2 EMME

OGGETTO: INDAGINE SISMICA PEC NORBERTO ROSA COMUNE DI ALESSANDRIA

REPORT INDAGINE

TORINO 27/06/2018

Dott. Geol. **Andrea DANIELE**
Via Vincenzo Lancia 41, 10141 TORINO
N° 421 Ordine Regionale del Piemonte
Cell. +39 348 2715324
CF DNLNDR69S15L219T
P/IVA 07780960014
Mail andrea.daniele2015@gmail.com
PEC andrea.daniele@pec.geologipiemonte.it

Sommario

1.	PREMESSA.....	2
2.	UBICAZIONE INDAGINE	3
3.	SISMICA A RIFRAZIONE	4
3.1.	Principi di base	4
3.2.	Strumentazione utilizzata.....	5
3.3.	Geometria stese	5
3.4.	Metodologia elaborazione metodo tomografico.....	6
3.5.	Velocità delle onde elastiche nei terreni e nelle rocce.....	7
3.6.	Elaborati indagine sismica a rifrazione	8
3.6.1.	Tempi di primo arrivo tomografia onde P	9
3.6.2.	Grafico delle dromocrone tomografia onde P	9
3.6.3.	Tempi di primo arrivo tomografia onde S.....	10
3.6.4.	Grafico delle dromocrone tomografia onde S.....	10
3.6.5.	Elaborato sismica a rifrazione.....	11
4.	PROVA MASW	12
4.1.	Note metodologiche	12
4.2.	Strumentazione utilizzata.....	13
4.3.	Geometria stesa	13
4.4.	Risultato indagine	13
4.4.1.	Elaborato MASW.....	14

1. PREMESSA

Su incarico della Società IMMOBILIARE 2 EMME, è stata realizzata una indagine sismica utile alla progettazione del PEC "Norberto Rosa" in Comune di Alessandria.

L'indagine ha perseguito l'obiettivo di fornire la caratterizzazione sismica dell'area, a tal fine sono state realizzate le seguenti prove:

- Esecuzione di stendimento di sismica a rifrazione in onde P
- Esecuzione di stendimento di sismica a rifrazione in onde S;
- Esecuzione di prova MASW;

La presente relazione illustra e commenta i risultati delle prove eseguite.

2. UBICAZIONE INDAGINE

L'indagine realizzata è ubicata nel Comune di Alessandria.

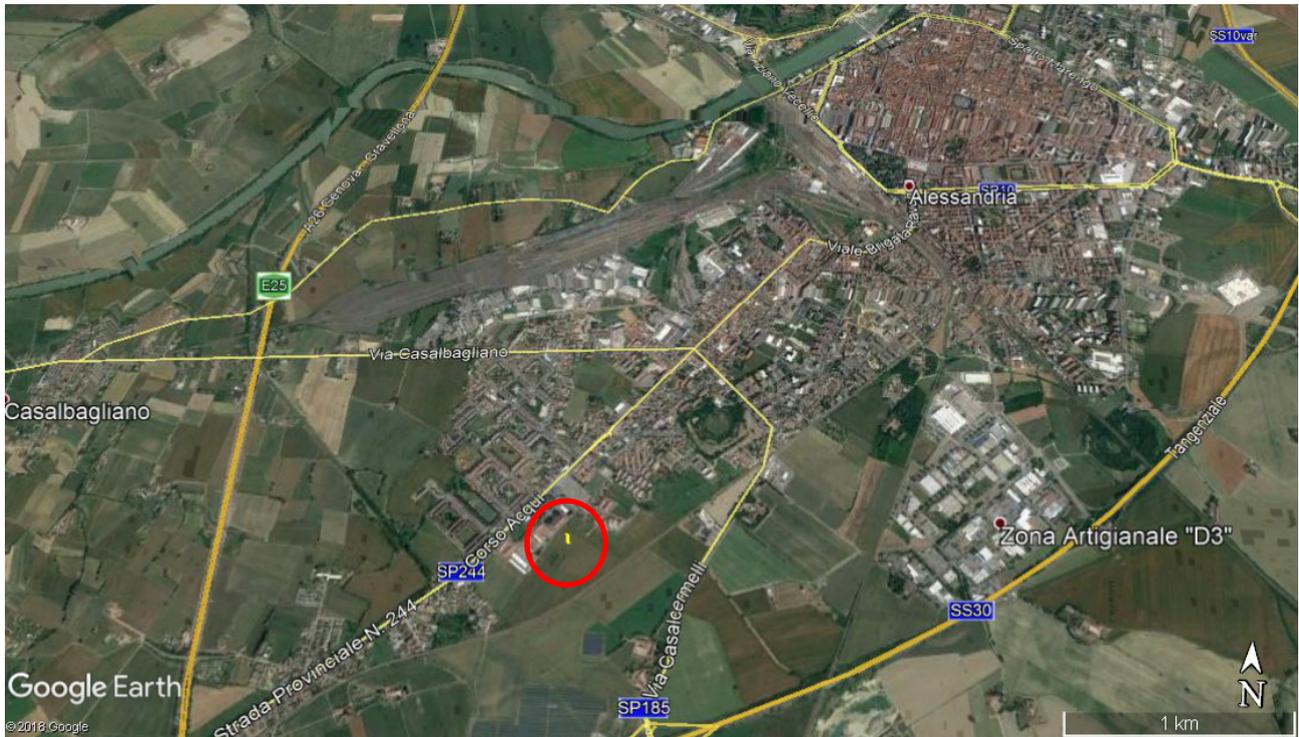


Figura 1 Foto aerea con indicazione area di indagine.

Nella seguente foto aerea è evidenziata l'esatta ubicazione della stesa sismica con indicate le posizioni degli scoppi esterni.



Figura 2 Foto aerea con ubicazione stesa.

3. SISMICA A RIFRAZIONE

3.1. Principi di base

Le indagini sismiche si basano sulla misura della velocità di propagazione delle onde elastiche in rocce e terreni. Le onde elastiche vengono create artificialmente e la loro propagazione viene rilevata in punti diversi in superficie tramite trasduttori veloci metrici (geofoni) che generano un segnale elettrico misurabile corrispondente alla sollecitazione elastica del terreno nel punto di misura.

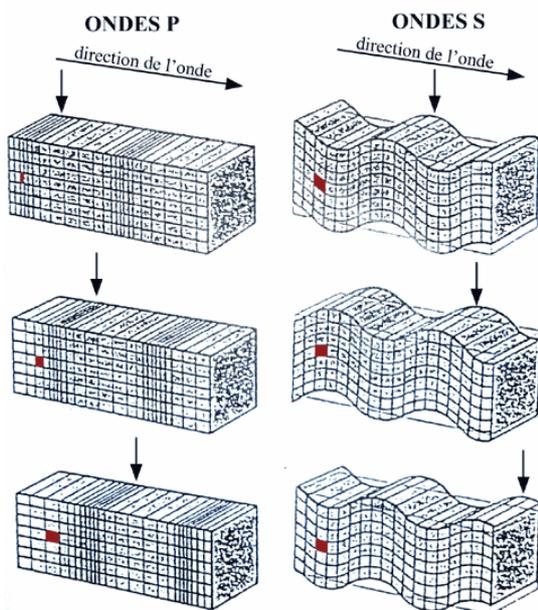


Figura 3 Schema di propagazione onde sismiche

La sismica a rifrazione misura sia la velocità delle onde longitudinali o di compressione dette onde P, sia la velocità delle onde S trasversali.

Le onde longitudinali (che sono le più veloci), la cui vibrazione avviene nella stessa direzione della propagazione dell'onda, sono spesso più facilmente individuabili e sono quindi state tradizionalmente le più utilizzate per le prospezioni.

Le onde trasversali sono generate da forze di taglio e provocano nelle rocce variazioni di forma, ma non di volume; sono dette trasversali perché provocano oscillazioni delle particelle delle rocce dal basso verso l'alto e viceversa, perpendicolarmente alla direzione di propagazione.

Le prospezioni sismiche sono fondate sul fatto che i diversi tipi di onde si propagano con velocità differente all'interno del corpo in oggetto di indagine e che le velocità di propagazione sono correlabili con i moduli elastici del mezzo. Lo studio della propagazione delle onde consente quindi di ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche e sulle loro variazioni nello spazio all'interno del corpo.

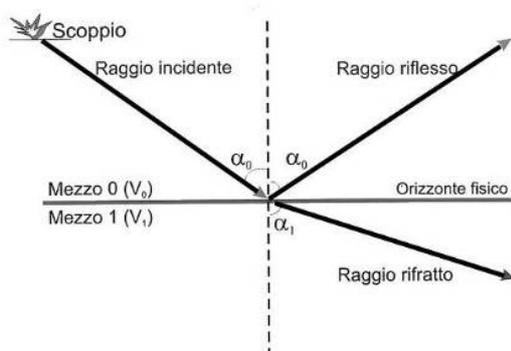


Figura 4 Schema legge di Snell

La sismica a rifrazione rappresenta, nell'ambito delle prospezioni geofisiche, la metodologia più speditiva ed affidabile. La metodologia sfrutta la legge di Snell, per cui le onde rifrangendosi sulle superfici di confine dei mezzi fisici, caratterizzati da una differenza di velocità tra sismostato superiore (V_0) e sismostato ad esso sottostante (V_1), producono dei raggi rifratti, oltre che riflessi, che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato più veloce) rifrangendo continuamente energia elastica verso l'alto.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità delle onde aumenti con la profondità ($V_0 < V_1 < V_2$). La figura mostra l'incidenza di un raggio sismico su una superficie di transizione elastica (orizzonte fisico) e la produzione di riflessione e rifrazione al cambiamento di velocità tra i due mezzi coinvolti.

Operativamente, ciò che viene eseguito in campagna è una disposizione in linea di geofoni posizionati seguendo una ripetitività geometrica (equidistanti) lungo l'allineamento che si desidera ispezionare. I punti di produzione dell'energia elastica saranno piazzati in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate.

Come accennato lo scopo della sismica a rifrazione è di ricostruire un profilo sismo stratigrafico lungo l'allineamento geofonico di investigazione. Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali P e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata sarà possibile dimensionare gli spessori dei sismo strati attraversati dalla radiazione elastica.

3.2. Strumentazione utilizzata

Per la realizzazione di una stesa sismica a rifrazione è necessaria la seguente strumentazione:

1. Sismografo acquirente;
2. Geofoni;
3. Sorgente;
4. Cavi sismici
5. Trigger e cavo del trigger.

Le indagini sono state eseguite mediante sistema di acquisizione a 24 canali, costituito da sismografo digitale AMBROGEO modello ECHO 24/2002, collegato ad una catena di 24 geofoni con una frequenza di 4.5Hz, verticali per lo studio delle onde P, orizzontali per le S. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza battente di 10 kg



Figura 5 Strumentazione utilizzata

3.3. Geometria stese

La geometria utilizzata, sia per le onde P che per quelle S, è caratterizzata da n°24 geofoni e n°9 scoppi, ubicati simmetricamente rispetto al centro, come evidenziato nella tabella sottostante, non sono state apportate modifiche topografiche:

Geofono/scoppio	Ubicazione (m)	Quota (m)	Geofono/scoppio	Ubicazione (m)	Quota (m)
Posizione scoppio 1	0.00	0.00	Posizione scoppio 3	25.00	0.00
Geofono 1	2.00	0.00	Geofono 13	26.00	0.00
Geofono 2	4.00	0.00	Geofono 14	28.00	0.00
Geofono 3	6.00	0.00	Geofono 15	30.00	0.00
Geofono 4	8.00	0.00	Geofono 16	32.00	0.00
Geofono 5	10.00	0.00	Geofono 17	34.00	0.00
Geofono 6	12.00	0.00	Geofono 18	36.00	0.00
Posizione scoppio 2	13.00	0.00	Posizione scoppio 4	37.00	0.00
Geofono 7	14.00	0.00	Geofono 19	38.00	0.00
Geofono 8	16.00	0.00	Geofono 20	40.00	0.00
Geofono 9	18.00	0.00	Geofono 21	42.00	0.00
Geofono 10	20.00	0.00	Geofono 22	44.00	0.00
Geofono 11	22.00	0.00	Geofono 23	46.00	0.00
Geofono 12	24.00	0.00	Geofono 24	48.00	0.00
Posizione scoppio 3	25.00	0.00	Posizione scoppio 5	50.00	0.00

3.4. Metodologia elaborazione metodo tomografico

La procedura esecutiva dello stendimento sismico a rifrazione ha seguito una prassi standardizzata per permettere l'elaborazione dei dati con il metodo tomografico, tale procedura consiste nell'ubicare i punti di energizzazione simmetricamente rispetto al centro dello stendimento, in modo da avere una copertura dei raggi sismici sia in andata che in ritorno. In particolare nella realizzazione dell'indagine sono stati realizzati n°9 scoppi per ogni stesa sismica.

Ad energizzazione avvenuta i tempi di arrivo delle onde generate vengono registrati e visualizzati nel contempo, tramite il software specifico di acquisizione e gestione dei sismogrammi; tale metodologia permette un'analisi immediata della validità delle tracce sismiche ricavate ed una valutazione dell'eventuale "disturbo" del segnale primario, così da offrire, a discrezione dell'operatore, la possibilità di ripetere e/o integrare l'energizzazione per ottenere un segnale più chiaramente interpretabile. Il sistema infatti consente la sommatoria del segnale in seguito a più energizzazioni dallo stesso punto.

Successivamente alla fase di acquisizione è stato effettuato il picking dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche utilizzando il programma WINSISM 2013, i tempi ottenuti sono stati elaborati ed interpretati tramite il metodo delle tomografia sismica, utilizzando la metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated Annealing Optimization) con il programma SeisOpt 2v.

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente l'ottimizzazione non lineare dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

Calcolo dei travel-time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato ($E_0 = \text{least-square error}$), tra il travel - time calcolato e quello osservato. Per ogni iterazione i è possibile definire il "least - square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e t^{obs} e t^{cal} sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least - square error" E_1 .

Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp\left[\frac{(E_{min} - E_1)^q \Delta E}{T}\right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove P_c è la probabilità di accettare la condizione, $\Delta E = E_0 - E_1$, q è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), ed E_{min} è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali. Teoricamente si ha $E_{min} = 0$. L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least - square error) è minore nell'iterazione prevista. Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

Nella elaborazione non sono state effettuate correzioni topografiche.

3.5. Velocità delle onde elastiche nei terreni e nelle rocce

Poiché la velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalle caratteristiche meccaniche dei mezzi, è possibile associare dei range di valori di velocità ai diversi litotipi e ai fluidi che essi possono contenere. Al fine di meglio valutare i risultati ottenuti si riportano i range delle velocità delle onde P dei principali materiali desunti dalla bibliografia scientifica.

Rifiuti di discarica	200-800 m/s
Calcestruzzo	3000-3500 m/s
Basalti	5000-7000 m/s
Marmi	3800-7000 m/s
Gneiss	3500-7500 m/s
Graniti	4000-6000 m/s
Arenarie	2000-4500 m/s
Calcari	1800-6000 m/s
Lave	2500-4000 m/s
Terreni sedimentari profondi	3000-3500 m/s
Terreni alluvionali sciolti (superficiali)	400-2000 m/s
Argilla	1000-2900 m/s
Sabbia umida	1200-1800 m/s

Sabbia asciutta	300-1000 m/s
Terreno superficiale areato	100-500 m/s
Petrolio	1300-1400 m/s
Neve	350-3000 m/s
Acqua	1450-1500 m/s
Aria	330 m/s

Per quanto riguarda le Vs, di seguito è riportata una tabella tratta da Head e Jardine, 1992, riportante velocità sismiche e moduli elastici in terreni e rocce. I valori tra parentesi si riferiscono al materiale non saturo.

Materiale		Velocità sismiche in sito (a piccole deformazioni)		Coefficiente di Poisson ν	Densità ρ (g/cm ³)	Modulo di elasticità tangenziale G (MN/m ²)
		Vp (m/s)	Vs(m/s)			
Sabbia (in prossimità della superficie)	Sciolta	1450-1550 (180-450)	100-250	0.48-0.50 (0.3-0.35)	1.5-1.8	15-110
	Media	1500-1750 (320-650)	200-350	0.47-0.49 (0.2-0.3)	1.7-2.1	70-250
	Addensata	1700-2000 (550-1300)	350-700	0.45-0.48 (0.15-0.3)	1.9-2.2	230-1000
Argilla	Moder. Consist.	1450-1550	80-180	0.47-0.5	1.6-2.0	10-65
	Consistente	1500-1700	180-300	0.47-0.5	1.7-2.1	55-190
	Molto consist.	1600-1900	300-500	0.47-0.5	1.8-2.3	160-450
Arenaria e scisti non alterati		1500-4000	800-2000	0.25-0.35	2.0-2.4	1300-9500
Calcare		2000-6000	1200-3000	0.25-0.35	1.8-2.5	2600-20000
Roccia cristallina o metamorfica non alterata		3500-7000	2000-3500	0.25-0.30	2.2-2.6	8500-32000

Nei dati riportati è importante notare che i valori di velocità per ogni materiale possono variare in intervalli abbastanza ampi, al variare delle condizioni del materiale stesso (fatturazione, compattazione, presenza di fluidi, saturazione, stato tensionale, ecc...) e che i valori di velocità non identificano univocamente un particolare litotipo, ma che materiali diversi possono presentare analoghi valori di velocità di propagazione delle onde sismiche.

3.6. Elaborati indagine sismica a rifrazione

Per le stese realizzate vengono forniti i seguenti elaborati:

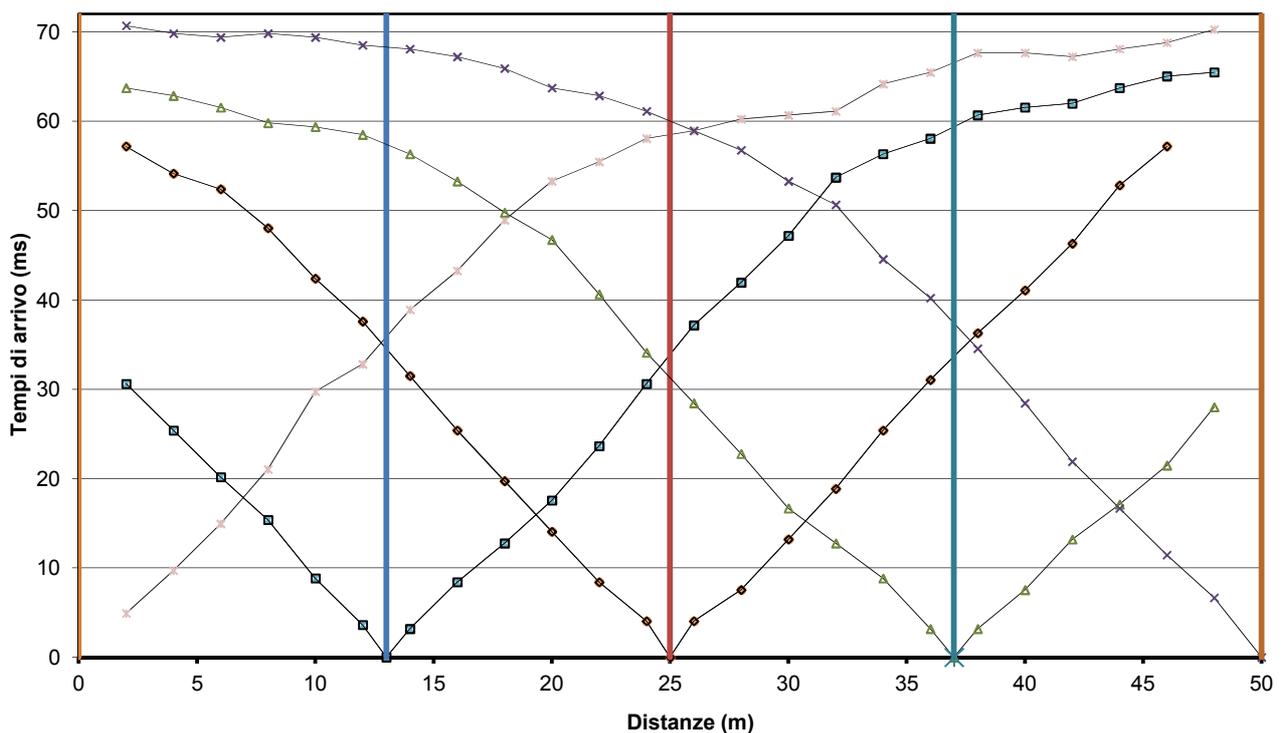
1. Tabella con tempi di primo arrivo;
2. Grafico delle dromocrone;
3. Profilo tomografico velocità sismiche;
4. Profilo interpretativo.

Gli ultimi due grafici sono riportati nell'elaborato A3.

3.6.1. Tempi di primo arrivo tomografia onde P

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Geo. 1	4.92	30.62	57.20	63.73	70.70
Geo. 2	9.71	25.40	54.15	62.86	69.83
Geo. 3	14.94	20.17	52.41	61.55	69.4
Geo. 4	21.04	15.38	48.05	59.81	69.83
Geo. 5	29.75	8.84	42.39	59.38	69.40
Geo. 6	32.80	3.62	37.59	58.50	68.52
Geo. 7	38.90	3.18	31.5	56.33	68.09
Geo. 8	43.26	8.41	25.40	53.28	67.22
Geo. 9	48.92	12.76	19.73	49.79	65.91
Geo. 10	53.28	17.56	14.07	46.74	63.73
Geo. 11	55.46	23.65	8.41	40.64	62.86
Geo. 12	58.07	30.62	4.05	34.11	61.12
Geo. 13	58.94	37.16	4.05	28.45	58.94
Geo. 14	60.25	41.95	7.54	22.78	56.76
Geo. 15	60.68	47.18	13.20	16.68	53.28
Geo. 16	61.12	53.71	18.86	12.76	50.66
Geo. 17	64.17	56.33	25.40	8.84	44.56
Geo. 18	65.47	58.07	31.06	3.18	40.21
Geo. 19	67.65	60.68	36.29	3.18	34.55
Geo. 20	67.65	61.55	41.08	7.54	28.45
Geo. 21	67.22	61.99	46.31	13.20	21.91
Geo. 22	68.09	63.73	52.84	17.12	16.68
Geo. 23	68.80	65.04	57.20	21.48	11.46
Geo. 24	70.27	65.47	58.94	28.01	6.67

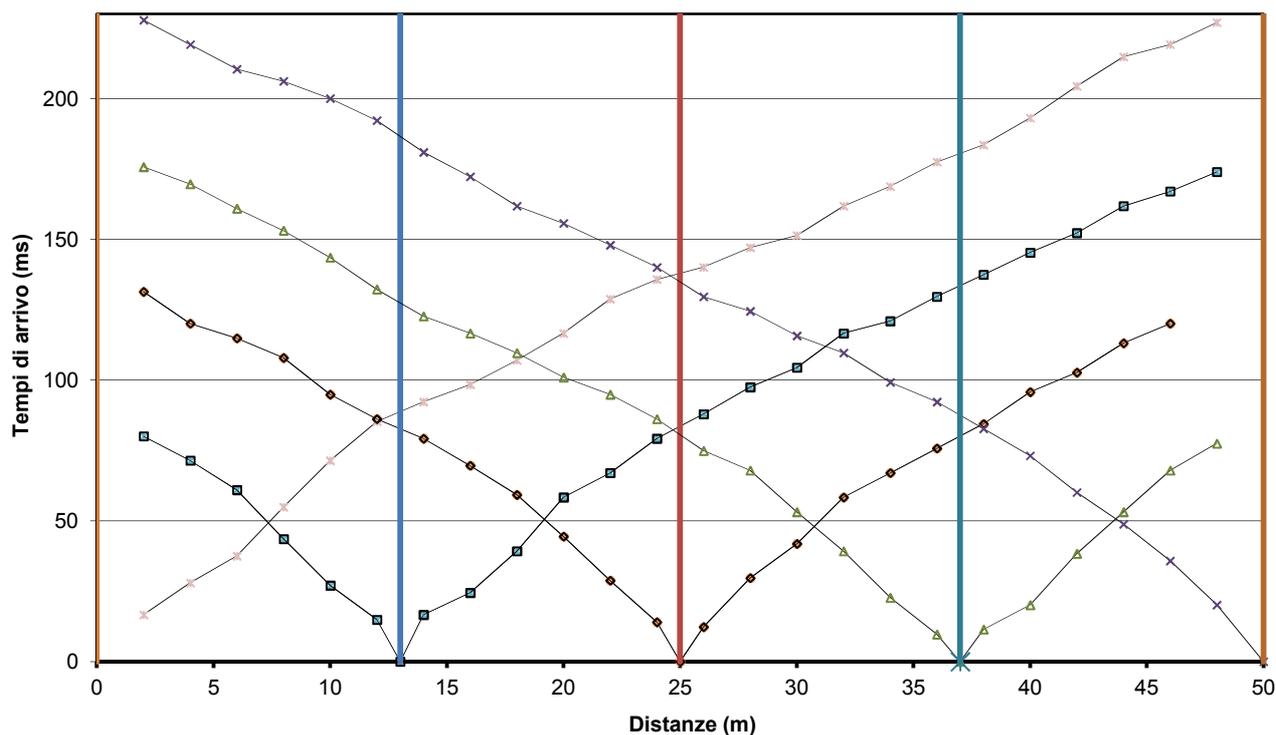
3.6.2. Grafico delle dromocrone tomografia onde P



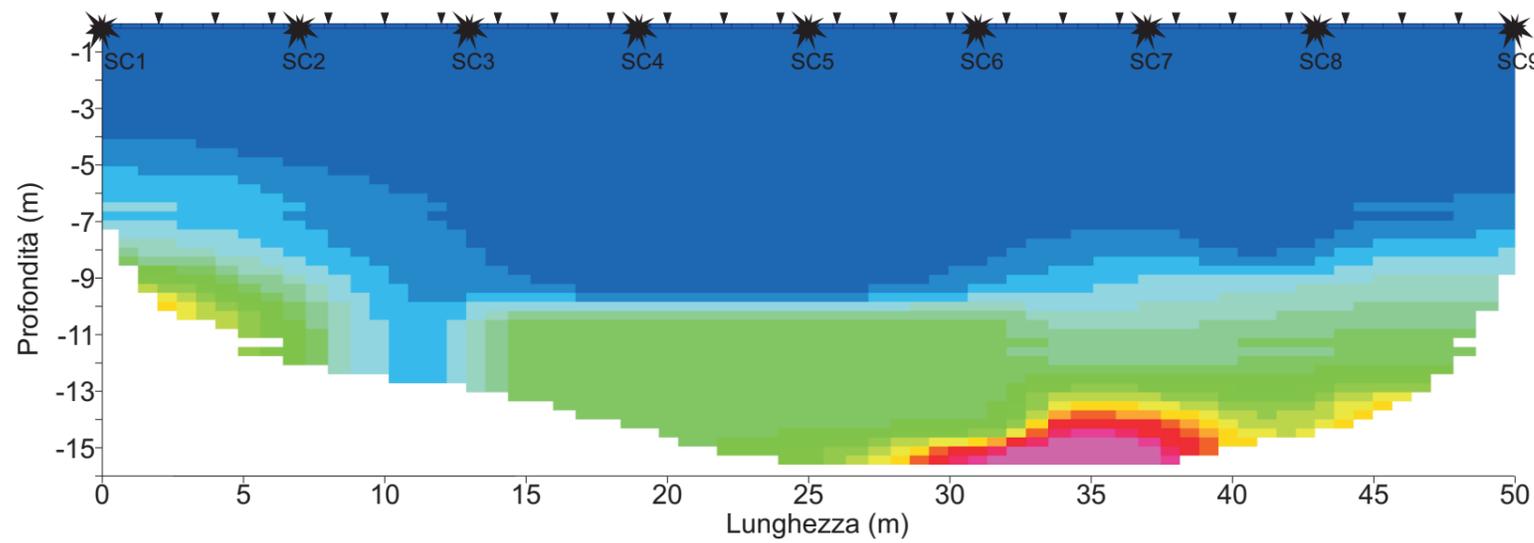
3.6.3. Tempi di primo arrivo tomografia onde S

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Geo. 1	16.64	80.09	131.38	175.72	227.88
Geo. 2	27.95	71.41	120.08	169.63	219.17
Geo. 3	37.50	60.97	114.87	160.94	210.49
Geo. 4	54.88	43.59	107.91	153.11	206.14
Geo. 5	71.41	27.07	94.87	143.55	200.05
Geo. 6	85.31	14.90	86.19	132.25	192.24
Geo. 7	92.26	16.64	79.23	122.69	180.94
Geo. 8	98.36	24.46	69.66	116.61	172.24
Geo. 9	107.05	39.25	59.24	109.66	161.80
Geo. 10	116.61	58.36	44.45	100.97	155.72
Geo. 11	128.77	67.05	28.81	94.87	147.91
Geo. 12	135.74	79.23	14.03	86.19	140.08
Geo. 13	140.08	87.93	12.30	74.88	129.64
Geo. 14	147.03	97.48	29.69	67.93	124.44
Geo. 15	151.38	104.44	41.86	53.15	115.73
Geo. 16	161.80	116.61	58.36	39.25	109.66
Geo. 17	168.77	120.95	67.05	22.72	99.23
Geo. 18	177.46	129.65	75.76	9.68	92.27
Geo. 19	183.53	137.47	84.44	11.43	82.71
Geo. 20	193.11	145.30	95.75	20.12	73.15
Geo. 21	204.41	152.25	102.69	38.38	60.11
Geo. 22	214.83	161.80	113.12	53.15	48.81
Geo. 23	219.17	167.02	120.09	67.93	35.77
Geo. 24	227.00	173.98	125.30	77.50	20.12

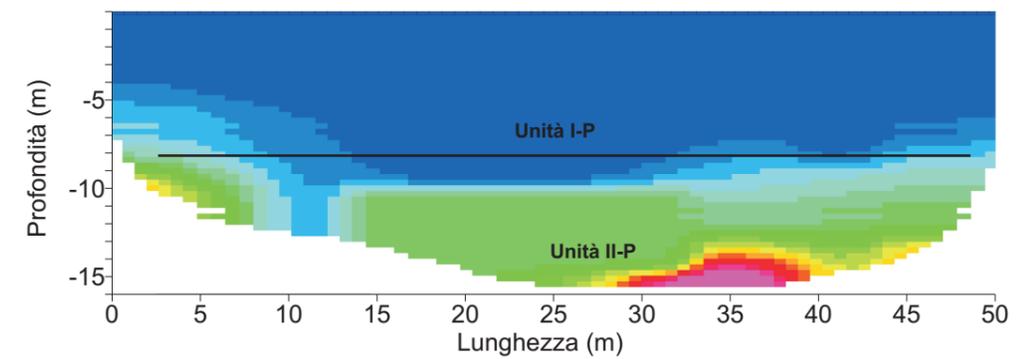
3.6.4. Grafico delle dromocrone tomografia onde S



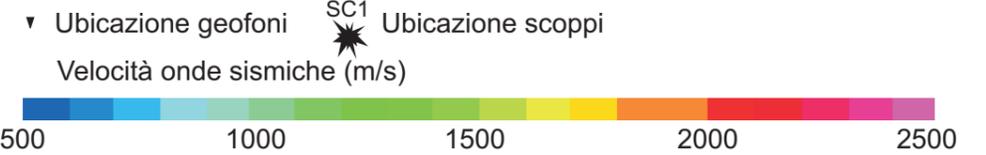
Tomografia sismica onde P



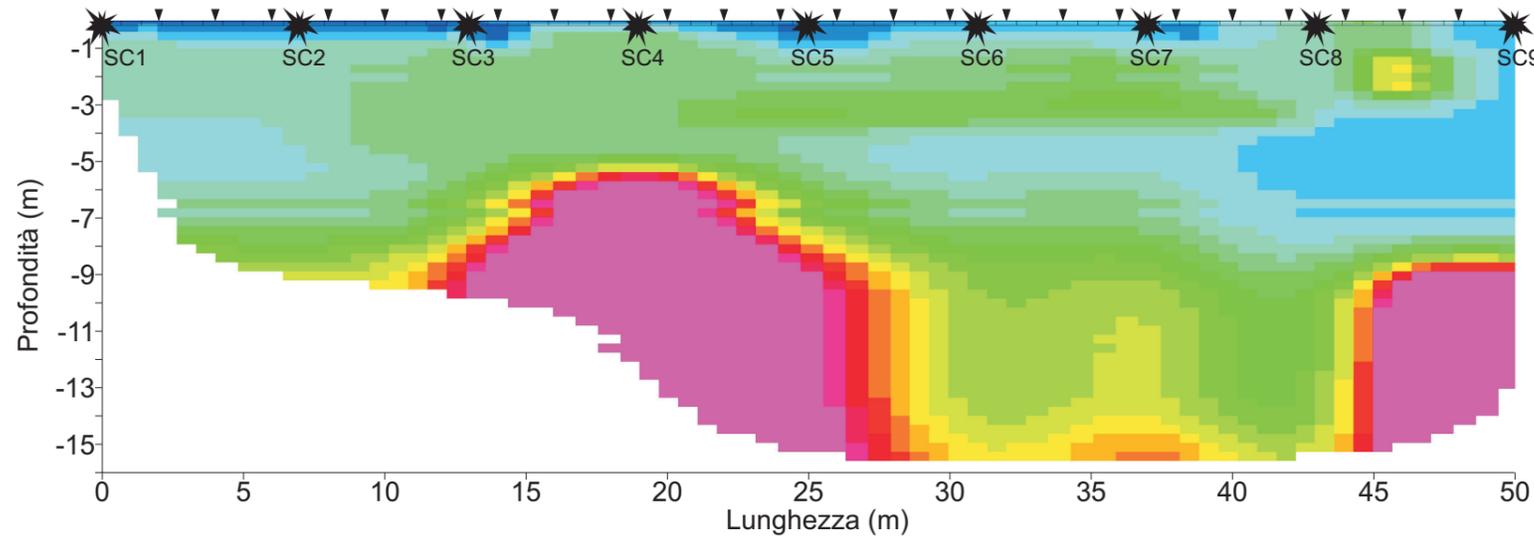
Unità sismostratigrafiche onde P



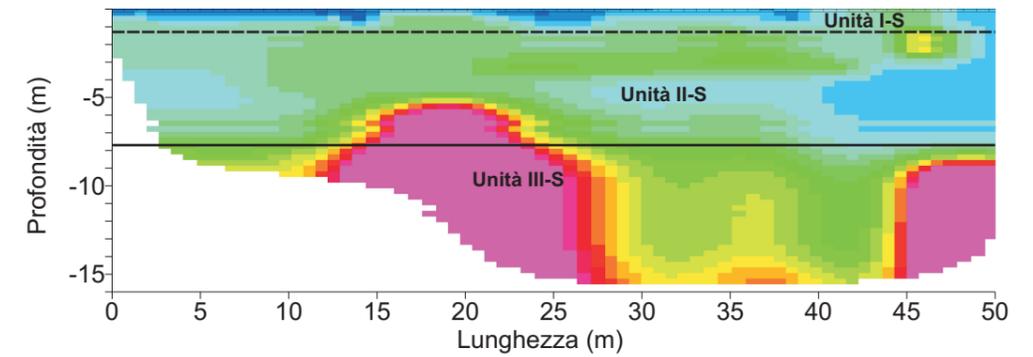
LEGENDA SISMICA ONDE P



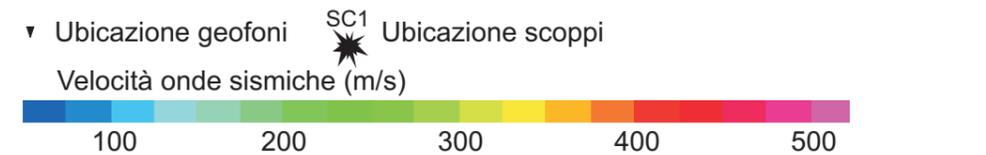
Tomografia onde S



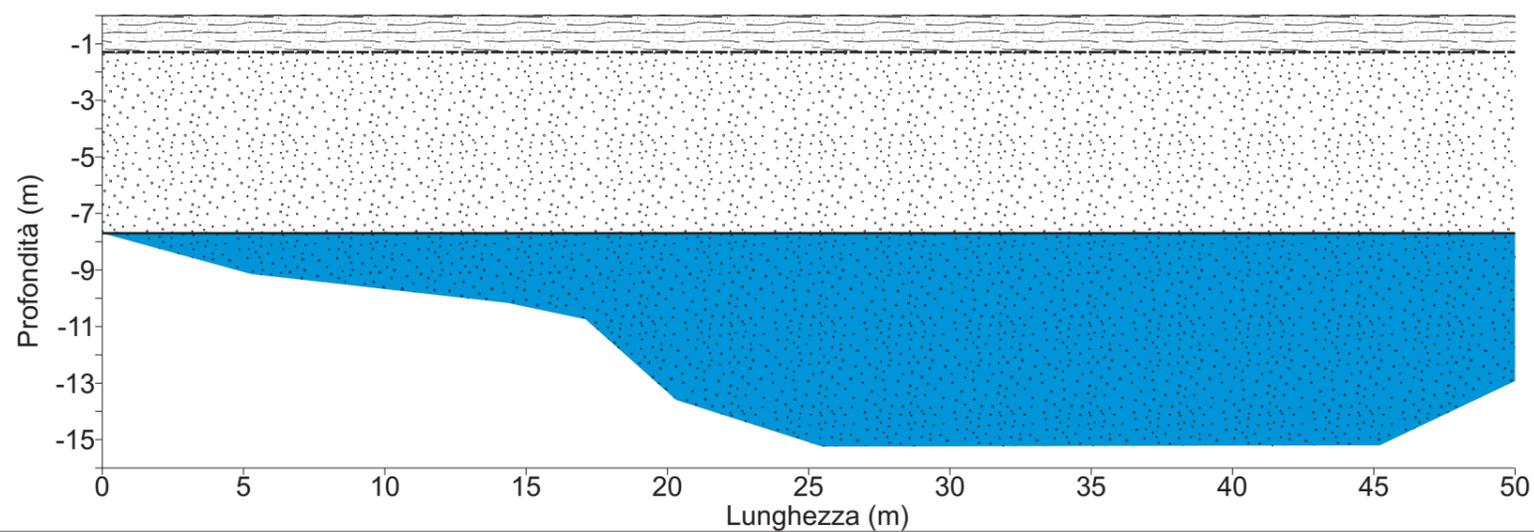
Unità sismostratigrafiche onde S



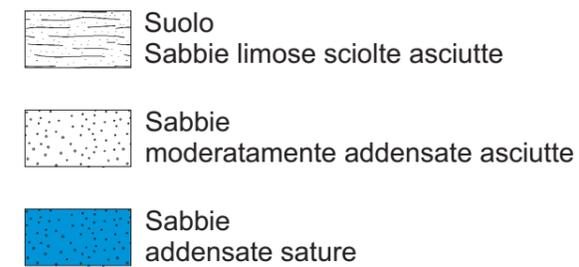
LEGENDA SISMICA ONDE S



Interpretazione tomografia sismica



LEGENDA LITOLOGICA

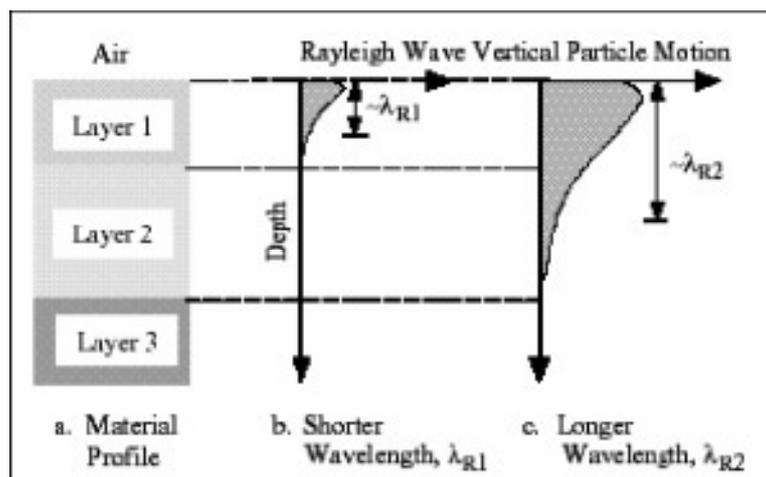


4. PROVA MASW

4.1. Note metodologiche

La prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagini non invasiva utile al calcolo del parametro Vs30 basata sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo



Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

4.2. Strumentazione utilizzata

Per la realizzazione di una stesa sismica MASW è stata utilizzata la stessa strumentazione della sismica a rifrazione.

In fase di elaborazione è stato utilizzato il Programma MASW2007.

4.3. Geometria stesa

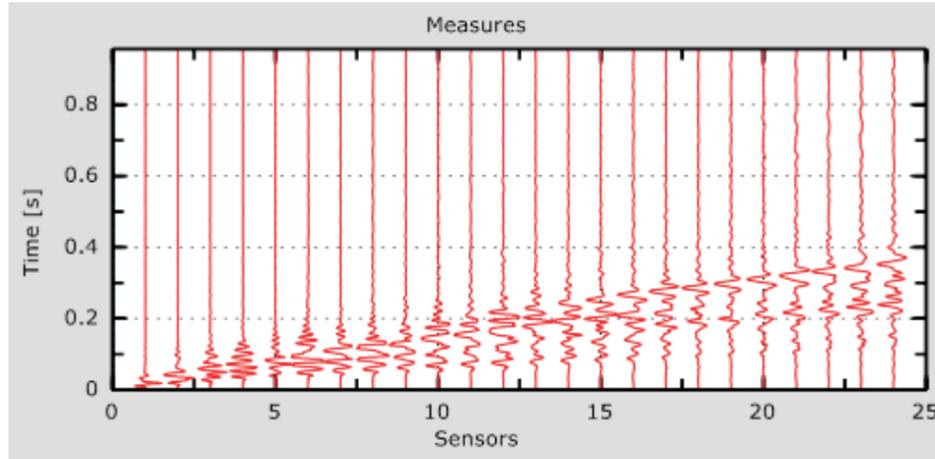
Nello stendimento di sismica MASW sono state utilizzate le posizioni degli scoppi 1 e 9 della sismica a rifrazione. Per ogni postazione sono stati effettuati e registrati 3 scoppi.

4.4. Risultato indagine

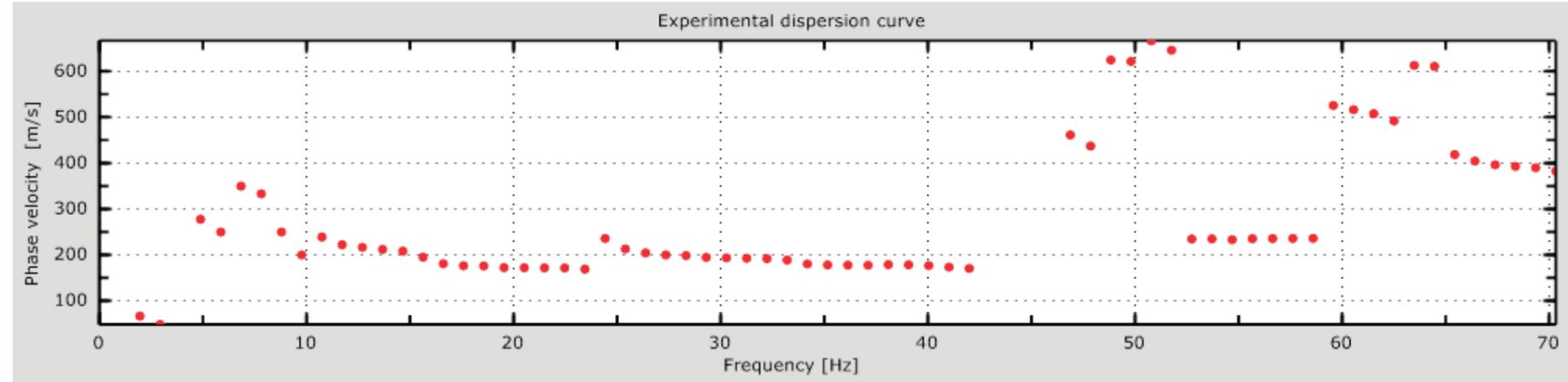
Nella Tavola A3 relativa alla prova MASW sono riportati i seguenti elaborati

- Tracce acquisizione;
- Curva di dispersione sperimentale;
- Curva di dispersione non elaborata;
- Curva di dispersione elaborata;
- Spettro;
- Calcolo V_{s30} e $V_{s,eq}$.

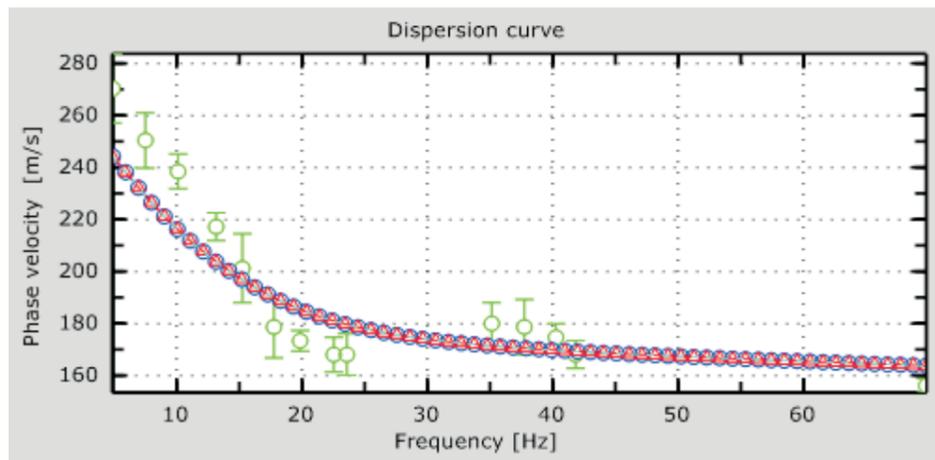
Tracce acquisizioni



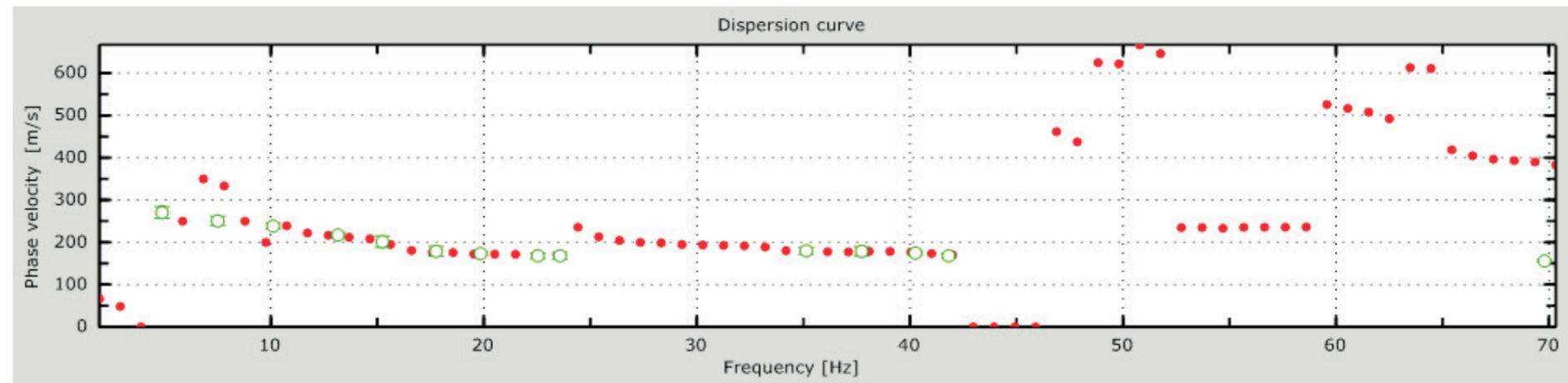
Curva di dispersione sperimentale



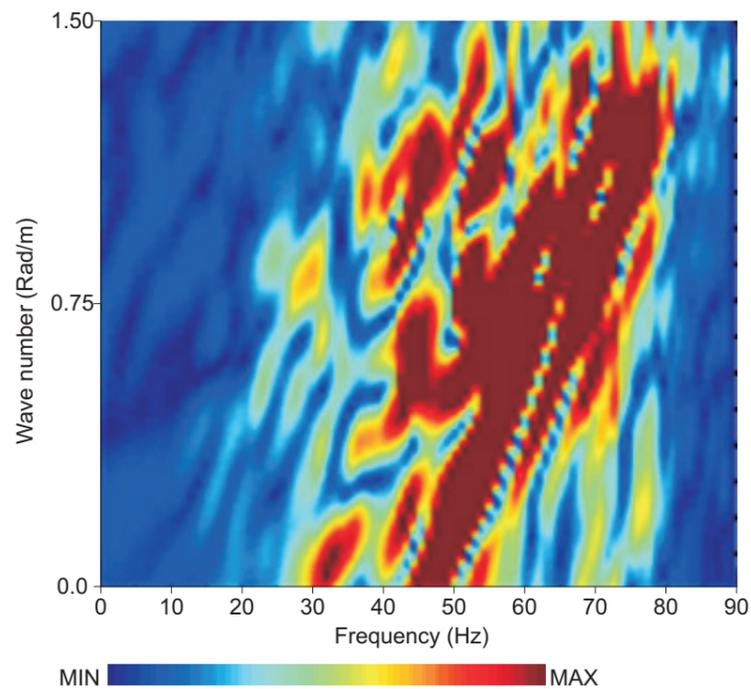
Curve di dispersione elaborate



Curva di dispersione

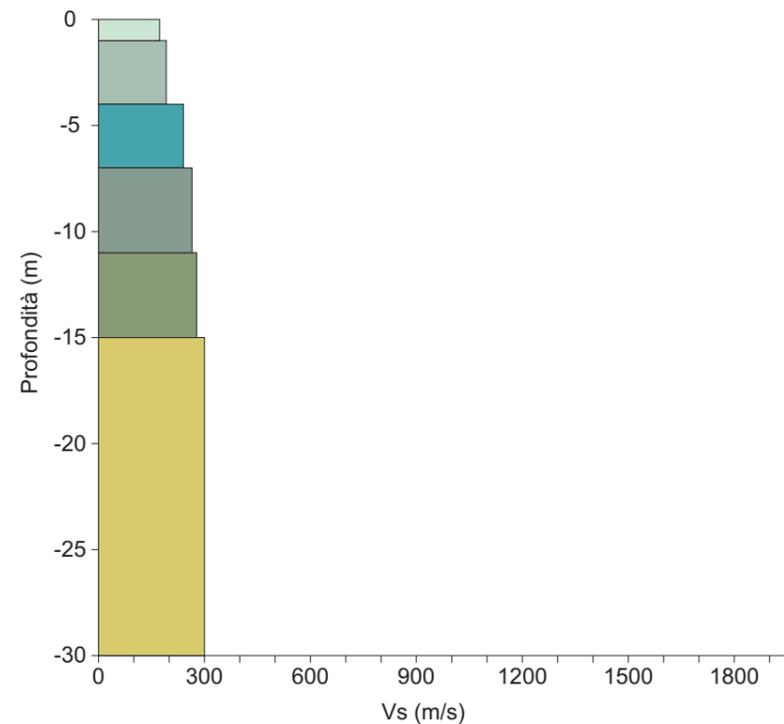


Spettro f/k



CLASSIFICAZIONE SISMICA

Strato	Profondità (m)		Vs (m/s)
	da	a	
1	0.0	-1.0	173
2	-1.0	-4.0	192
3	-4.0	-7.0	241
4	-7.0	-11.0	265
5	-11.0	-15.0	278
6	-15.0	-30.0	300



Vs30 = 265 m/s
Vs,eq = 265 m/s
Classe di suolo C
 D.M. 17/01/2018

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.