

FONDAZIONE OPERE LAICHE PALATINE

Fondazione di diritto privato - DPR 29.10.2010 n. 263

Presidente Dott. Michele Virgilio

ACQUAVIVA DELLE FONTI (BARI) EX RICOVERO DI MENDICITÀ UMBERTO 1°

Edificio tutelato ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs 42/2004

Proprietà FONDAZIONE OPERE LAICHE PALATINE

PROGETTO DI POLO PLURIFUNZIONALE INTERGENERAZIONALE

Progetto architettonico

Dott. Ing. A. Bruno
Dott. Arch. G. Fraccascia

Consulenza impiantistica

Per. Ind. Biagio Montesano

Consulenza geologica

Dott. Geol. Vincenzo Casucci

Consulenza archeologica

Dott. Archeologo Lorella Lamanna

Consulenza conservazione
apparati decorativi

Restauri del Sole

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. G. Didonna

RELAZIONE GEOLOGICA

A.11

COMUNE DI ACQUAVIVA DELLE FONTI

PROGETTO DI POLO PLURIFUNZIONALE
INTERGENERAZIONALE SU IMMOBILE DENOMINATO EX
RICOVERO DI MENDICITA' UMBERTO I

RELAZIONE GEOLOGICA

Progettista: ING. ANTONIO BRUNO

Committenti: FONDAZIONE OPERE LAICHE PALATINE

Il Geologo: Dott. Vincenzo Casucci



INDICE

1	PREMESSE.....	3
1.1	INCARICO.....	3
1.2	UBICAZIONE.....	3
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO.....	7
4	CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	8
5	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO E RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	10
6	MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO.....	12
7	PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW.....	13
8	PROSPEZIONE GEOELETTRICA.....	19
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E CONCLUSIONI.....	24

PREMESSE

1.1 INCARICO

Con Mandato di incarico conferitomi dalla Fondazione Opere Laiche Palatine, in qualità di proprietaria unica dell'immobile, da ristrutturare, il sottoscritto dott. Geol. Vincenzo Casucci, il quale si qualifica e firma nel presente atto, quale iscritto al N°359 dell'Ordine dei Geologi della Regione Puglia, redige la presente relazione geologica relativa al progetto di POLO PLURIFUNZIONALE INTERGENERAZIONALE su immobile denominato Ricovero di Mendicità Umberto I esistente in via delle Vittime di Via Fani ad Acquaviva delle Fonti.

1.2 UBICAZIONE

L' area oggetto di studio è sita nel Comune di Acquaviva, in un lotto di suoli meglio individuato attraverso l'U.T.E. di Bari secondo le coordinate catastali che seguono:

Fg.46, particella 3284 sub. 1 e 2, ai fini del calcolo dell'accelerazione sismica invece le coordinate da cercare nella Tabella 1 allegata al D.M 17/01/2018 ai fini dell'individuazione dei parametri spettrali sono:

Lat: **40.893462°** Long: **16.841210°**

A norma del D.M. 11/03/88, oltre che per Decreto del Presidente del Consiglio 20/03/2003 ricadendo l'area in oggetto in zona sismica, si rende necessario lo studio geologico dei terreni di fondazione di cui si riferisce nella presente relazione.



1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la suddetta relazione avanzata tramite il presente progetto si fa riferimento al combinato dei seguenti disposti normativi e regolamentari:

- L. n°1086 del 5 novembre 1971 “Norme tecniche per le Costruzioni”;
- L. n° 64 del 2 febbraio 1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M.LL.PP. 11/03/88 “ Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Cir.Min.LL.PP.n°30483 del 24/09/88 “ Istruzioni relative alle norme tecniche di cui al D.M.LL.PP.11/03/88”;
- D.M. 16/01/1996 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;

- D.P.R. n°380 del 6 giugno 2001 “ Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia”;
- O.P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003 ” Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Delibera di Giunta Regionale Puglia del 2 marzo 2004 “ Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale....”
- D.M. n°222 del 14/09/05 ”Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 “ Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- D.M. 14/01/2008 Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni.
- Circolare 2/2/2009, n.617 Istruzioni per l’applicazione delle nuove N.T.C. di cui al D.M. 14/01/2008
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 13 giugno 2017, n. 120
- MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI DECRETO 17 gennaio 2018; (le cui norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2008).

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio delle murge Baresi è costituito da un esteso altopiano calcareo di forma pressoché rettangolare orientato in direzione NW-SE. Risulta delimitato a nord est dal fiume Ofanto, a sud dalla Soglia messapica, a sud ovest dalla estesa scarpata che delimita la Fossa Bradanica e a nord ovest, verso l'Adriatico, da una serie di ripiani collegati da evidenti gradini di abrasione marina.

L'aspetto pianeggiante predominante del territorio risulta interrotto da elementi morfologici quali incisioni e depressioni, collegati alla presenza di faglie secondarie, allineamenti di fratturazione e pieghe di modesta rilevanza, ai quali si associano gli aspetti tipici di una sviluppata morfologia carsica (vore, inghiottitoi e doline).

Da un punto di vista strutturale i depositi carbonatici murgiani formano un'estesa monoclinale con immersione degli strati a S-SW, complicata da blande pieghe e da sistemi di faglie dirette. Con questo assetto risulta che la parte più antica della successione cretacea affiora lungo il litorale adriatico e la parte più recente lungo il margine ionico.

Le principali strutture disgiuntive sono rappresentate da direttrici di faglie orientate NW-SE che scompongono in blocchi il rigido substrato carbonatico mesozoico determinando un esteso horst asimmetrico culminante a SW.

Inoltre, tale struttura risulta interessata da antiche ed attenuate deformazioni plicative con direzioni prevalentemente WNW-ESE e serie di più recenti pieghe ad ampio raggio con direzione all'incirca E-W.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO

Il quadro geologico-stratigrafico dell'area in esame è stato desunto oltre che dal rilevamento diretto sul campo, dalla cartografia geologica ufficiale d'Italia, nonché dalle esperienze dirette dello scrivente e nel particolare da un sondaggio sismico eseguito nelle adiacenze del sito nel giardino di pertinenza (vedi allegati).

In accordo a quanto riportato dalla Carta Geologica (F°189 "Altamura"), la successione litostratigrafica affiorante nel sito di Acquaviva delle fonti è costituita partendo dall'unità formazionale più giovane da:

- 1) Alluvioni recenti ed attuali (assenti)
- 2) Depositi Marini Terrazzati (Tufi delle Murge)
- 3) Depositi terrigeni costituiti da terre rosse su superfici di discontinuità
- 4) Calcarei delle Murge (Calcare di Bari, Calcare di Altamura)

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA STRALCIO F°189





af

Depositi alluvionali terrosi e ciottolosi sul fondo dei solchi erosivi nelle Murge (lame) e nei depositi pleistocenici

Q^cca

TUFI DELLE MURGE - Depositi calcareo-arenacei e calcareo-arenaceo-argillosi giallastri più o meno cementati, a stratificazione poco evidente. con frequenti livelli fossiliferi (*Ostrea sp.*, *Pecten sp.*, ecc.). Nell'area occidentale del foglio prevalgono orizzonti di marne-argillose. Costituiscono lembi residuali di depositi su piattaforme di abrasione.

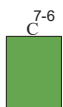
C¹⁰⁻⁸

CALCARE DI ALTAMURA - Calcari ceroidi e detritici, a grana varia, stratificati, con abbondanti Rudiste tra cui *Biradiolites angulosus* (d'ORBIGNY), *Medeella acuticostata* TORRE, *Durania martellii* (PARONA), con alcuni livelli marnosi. Le Rudiste si trovano sia in posizione primaria, sia in banchi a frammenti rimaneggiati, legati, questi ultimi, a livelli brecciati con abbondante "terra rossa", indicanti episodi di emersione.

Microfauna: *Textulariidae*, *Miliolidae*, *Aeolisoccus kotari* RADOICIC, *Accordiella conica* FARINACCI.

SENONIANO

(C^{c 10-8}) intercalazioni lentiformi di calcareniti bianche (Calcare di Caranna e Lamie di Olimpe)

C⁷⁻⁶

CALCARE DI BARI - Calcari compatti o finemente detritici. bianchi o grigiastri, ben stratificati, con qualche Rudista (*Apricardia cf. laevigata d.*, *Biradiolites angulosus* d'ORB., *Durania martellii* (PARONA). Spesso la parte superiore dei calcari detritici diventa lastriforme ("chiancarelle"). Microfaune rappresentate da rari esemplari; di *Cuneolina pavonia parva* HENSON, *Miliolidae*, *Ophthalmidiidae*. *Nummuloculina heimi* BONET, "Rotalinine", resti di alghe. alcuni ostracodi.

TURONIANO-CENOMANIANO.

In molti luoghi, al tetto, brecce calcaree a spigoli leggermente arrotondati, con cemento rossastro. Gli elementi sono costituiti di regola da (Calcare di Bari e sporadicamente da Calcare di Altamura. Probabilmente segnano il limite tra queste due formazioni.

Il Calcarea di Bari costituisce la parte inferiore della successione calcarea murgiana; essa è separata dalla formazione del Calcarea di Altamura da una lacuna datata al Turoniano (Crescenti, Vighi, 1964), marcata a scala regionale da una discordanza angolare. Questa formazione affiora quasi dovunque nel territorio. Si tratta di calcari micritici e microfossiliferi e di calcari a rudiste in sequenze di norma cicliche, regolarmente stratificate. In sito sono presenti oltre i 30m dal p.c. ad una profondità non accertata dall'indagine. I Depositi Marini Terrazzati (detti anche "Tufi delle Murge") presenti in affioramento, sono costituiti litologicamente da depositi calcareo-arenacei e calcareo-arenaceo-marnosi giallastri di solito sciolti ma che a luoghi possono presentarsi in banconi anche fortemente cementati, a stratificazione poco o per nulla evidente, e con frequenti livelli fossiliferi ad ostrea, pecten, gasteropodi. Tali rocce costituiscono lembi residui scampati all'erosione di depositi marini su terrazzi di abrasione. Nel territorio di Acquaviva essi affiorano dentro il centro abitato e si estendono nelle campagne intorno al paese verso sud-ovest con spessori anche rilevanti che vanno da pochi metri nelle campagne e zone periferiche fino agli oltre 30m e più (vedi anche carta geologica in allegato) presenti in sito e nelle aree centrali del abitato. Laddove presente un substrato impermeabile, costituito generalmente da terre rosse (depositi terrigeni residuali), tali litotipi costituiscono il serbatoio di una falda idrica sotterranea superficiale.

Le Alluvioni recenti ed attuali non sono presenti nell'area in esame ma si rinvencono generalmente sul fondo delle lame e sono costituiti generalmente da ciottolame di natura calcarea e terra rossa.

4 CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nel territorio di Acquaviva delle fonti e nello specifico, nel sito in esame, da un punto di vista idrogeologico, sono presenti due tipologie di falde acquifere nettamente separate e distinte. La prima, più superficiale, con caratteristiche assimilabili a quelle di una falda sospesa a pelo libero, si sviluppa principalmente nei sedimenti sabbiosi Plio-Pleistocenici, come già accennato, laddove esiste alla base, un substrato impermeabile generalmente costituito da terra rossa. Tale tipo di circolazione idrica sotterranea, viene

rinvenuta spesso (e non per caso) al di sotto dei centri storici di molti comuni dell'entroterra murgiano, compreso Acquaviva che deve il suo nome proprio alla ricchezza della sua falda idrica sospesa. Essa ha costituito per molti secoli, una vera fonte di ricchezza, nonché l'unica risorsa idrica a cui approvvigionarsi, e spiega il perché la maggior parte dei comuni murgiani hanno il proprio centro storico proprio in corrispondenza di tali falde acquifere facilmente raggiungibili. Le profondità di rinvenimento che sono anche quelle piezometriche, si attestano intorno a 7-9 metri dal piano campagna a seconda delle zone. Nel sito in esame, in considerazione della presenza di pozzi a brevi distanze, si prevede la presenza della suddetta falda superficiale ad una quota di rinvenimento che dovrebbe attestarsi intorno agli 8m dal p.c.. Su questi terreni plio-pleistocenici, e quindi giovani da un punto di vista geologico, particolare attenzione andrebbe posta nel monitorare ed evitare repentini abbassamenti nel livello della falda superficiale. Tali abbassamenti, causati dagli eccessivi emungimenti, e per giunta, concentrati soprattutto nel periodo estivo quando vi sono pochi apporti meteorici, nelle adiacenze dei pozzi, possono provocare dei locali cedimenti nei terreni di fondazione.

Oltre alle falde sospese che si sviluppano nei sedimenti plio-pleistocenici a modeste profondità e di cui si è detto sopra, è presente in profondità, una seconda circolazione idrica sotterranea molto più importante nel Calcere di Bari di età Cretacica e fa parte della più ampia circolazione idrica sotterranea dell'acquifero carbonatico murgiano.

Il territorio di murgiano come la maggior parte del territorio pugliese, non presenta un vero e proprio reticolo idrografico superficiale sviluppato.

Fatta eccezione per alcune lame quasi sempre secche, l'idrografia superficiale è quasi completamente assente a causa dell'elevata permeabilità delle rocce calcaree affioranti dovuta ad un'intensa fratturazione ed ai fenomeni carsici che tendono ad allargare le fratture preesistenti. Infiltrandosi nel reticolo di fratture, le acque di precipitazione vanno ad alimentare una circolazione idrica sotterranea che si sviluppa a profondità che aumentano spostandosi verso l'entroterra murgiano e le zone di alimentazione ed è normalmente in pressione.

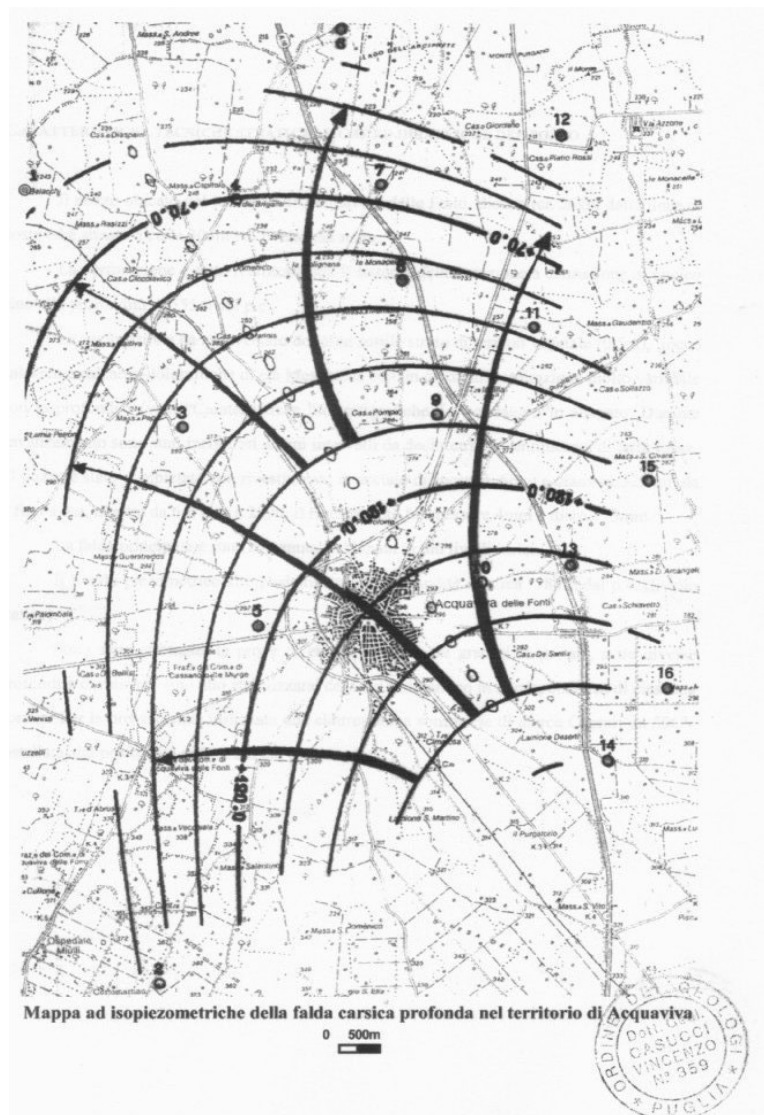
L'acquifero è costituito dai Calcari delle Murge che dove meno permeabili si comportano da acquicludo mandando la falda in pressione.

La profondità della piezometrica si attesta fino ad oltre circa 180-200m dal p.c. a seconda

delle zone ma le quote di rinvenimento di questa falda possono arrivare oltre i 500m e sono quindi influenti per gli scopi della presente relazione.

Il grado di permeabilità è molto variabile in funzione dello stato di fratturazione e della distribuzione delle facies calcaree e dolomitiche, la cui litologia può favorire o inibire il verificarsi del fenomeno carsico. Rilevante è l'esistenza di livelli di calcari poco fratturati e carsificati, praticamente impermeabili, che hanno un ruolo importante nel condizionare la circolazione idrica sotterranea.

Per la presenza di questi livelli impermeabili, infatti, la falda circola in pressione, spesso a notevole profondità al di sotto del livello del mare, frazionata in più livelli idrici sovrapposti.



La zona di alimentazione della falda si situa principalmente in corrispondenza delle parti più interne ed elevate delle Murge, dove sono presenti ampie aree caratterizzate dalla esistenza di forme carsiche superficiali (inghiottitoi, doline, ecc..) che favoriscono una rapida infiltrazione delle acque di pioggia. L'infiltrazione delle acque meteoriche avviene tanto in forma diffusa che concentrata; il prevalere dell'una o dell'altra forma dipende dalla frequenza delle fessure e dall'intensità dei fenomeni di dissoluzione carsica.

5 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il riferimento normativo vigente per la costruzione in zona sismica era fino al 30 giugno 2009 il D.M. 16/01/1996 nonché l'O.P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003 “ Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”; che con la Delibera di Giunta Regionale Puglia del 2 marzo 2004 riqualificano dal punto vista sismico il territorio nazionale/regionale. **Dal 1 luglio 2009** sono entrate in vigore le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del **D.M. 14/01/2008**. Tali norme, meglio spiegate nella circolare esplicativa del 2/2/2009, n.617, costituiscono il quadro normativo di riferimento per la progettazione antisismica nei comuni classificati a rischio.

Il 17 gennaio 2018 il MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI ha approvato con DECRETO entrato in vigore il 22 marzo 2018, le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni le cui norme sostituiscono integralmente quelle approvate il 14 gennaio 2008. La classificazione sismica del suolo si effettua ora in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, il parametro V_{s30} viene sostituito dal V_{seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con: h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. la precedente tabella viene sostituita con la nuova riportata sotto. Inoltre il nuovo metodo di classificazione dei suoli ai fini della individuazione dell'azione sismica locale, non può più essere basato su più parametri quali:

N_{SPT} ottenuto dalle prove penetrometriche e

c_u valore della resistenza non drenata equivalente.

A tal fine, quindi la misurazione in sito del V_{seq} è **indispensabile**.

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

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Sono state inoltre eliminate le due categorie S1 e S2.

6 INDAGINE SISMICA TIPO M.A.S.W.

Al fine di calcolare il V_{seq} (in m/s) del sottosuolo dell'area di studio come specificato nella nuova normativa antisismica (N.T.C. 2018) e definire la "Categoria di suolo", è stata utilizzata la metodologia di indagine sismica del tipo "M.A.S.W."

La prospezione sismica consente la ricostruzione di un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo investigato sulla base dei tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti. Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato.

Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico.

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Nelle nuove metodologie sismiche d'indagine del sottosuolo si considerano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga predominante rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di tali onde dipende da \sqrt{r} anziché da r (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione anzitutto della V_s , che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc. Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia M.A.S.W. risulta particolarmente indicata in ambienti rumorosi, in contesti urbani con spazature limitate ed, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità.

Tuttavia, un limite di tale metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 10 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio inferiore a 4.5Hz per raggiungere

maggiori profondità di investigazione. Infatti, nella prospezione MASW, la lunghezza dello stendimento non rappresenta un parametro direttamente correlabile alla profondità d'investigazione in quanto viene eseguita un'analisi spettrale del segnale sismico acquisito.

La profondità d'investigazione dipende principalmente dal contenuto in frequenza del segnale prodotto dalla sorgente sismica e dalle caratteristiche sismiche di sito, quali numero di strati, velocità di propagazione delle onde P ed S e dalla densità.

Il profilo sismico di tipo MASW, eseguito sui terreni di fondazione, è consistito in uno stendimento di lunghezza totale 24 metri, con spaziatura geofonica pari a 2 metri, offset di scoppio pari a 1m, durata dell'acquisizione di circa 1 secondo e tempo di campionamento pari a 1 millisecondo.

Lo stendimento è stato condotto sul marciapiede davanti al prospetto della struttura oggetto di ricostruzione, fissando i geofoni in fori precedentemente eseguiti mediante trapano, per mancanza di spazio utile all'interno.

Nell'indagine sismica è stata utilizzata una sorgente del tipo "mazza battente" di peso pari a 10 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde longitudinali P. Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale non troncato nelle ultime tracce.

Per quanto concerne il tempo di campionamento, mentre nella sismica a rifrazione si utilizza un tempo di campionamento più basso per ricostruire con dettaglio i primi arrivi dell'onda sismica, nell'indagine sismica MASW è sufficiente un campionamento più ampio per ricostruire tutto il segnale sismico. Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

La fase di elaborazione si sviluppa in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;
- 2) inversione della curva di dispersione interpretata, mediante picking di un modo dell'onda di Rayleigh e successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione delle curve teoriche e sperimentali fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

In allegato è riportato il sismogramma sperimentale, la curva di dispersione sperimentale e il relativo profilo sismico verticale.

L'andamento della curva di dispersione evidenzia un trend crescente della velocità al diminuire della frequenza, indice dell'aumento della velocità con l'aumentare della profondità d'investigazione.

La $V_{s_{eq}}$ stimata per il profilo M1 è pari a **498 m/s**, che permette di classificare il terreno di fondazione in categoria ***“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. Per quanto concerne la correlazione sismo-lito-stratigrafica, il sismostrato più superficiale 1 è associato a terreni limo-sabbiosi molto aerati e/o smossi fino a circa 2 metri di profondità. Il sismostrato 2 è riferibile agli stessi terreni sempre sciolti ma con un grado di compattezza superiore fino a 5m di profondità. Scendendo oltre i 5m abbiamo un ulteriore miglioramento delle qualità tecniche, ma comunque date le velocità ci troviamo di fronte a sedimenti sciolti o una calcarenite molto tenera poco cementata. I valori delle Vs sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW; ciò ha consentito la determinazione per via indiretta dei principali parametri elastici, con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm², mentre il modulo di Poisson rappresenta un numero adimensionale.

Il peso di volume (g/cm³) è stato ricavato da una relazione empirica che lega tale parametro alla velocità di propagazione delle onde P longitudinali.

$$\gamma = 0.23V^{0.25}$$

dove γ è la densità espressa in g/cm³ e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in ft/s.

Tab. 1 sismostratigrafia

PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO DI SINTESI										
	PROFONDITA' m (da - a)	V _p m/sec da formula	V _p m/sec rilevata	V _s m/sec	a	P Mod. Poisson	g Peso di Vol.(g /cmc)	E Mod Young (Kg/cm q)	G Mod Tagli o (Kg/c mq)	K Mod incompr essibilità (Kg/cmq)
STRATO A	0 – 2,0	277,13	261,28	160		0,200	1,244	780	325	433
STRATO B	2,0 - 4,0	453,80	427,80	262		0,200	1,408	2366	986	1314
STRATO C	4,0 -inf	1125,83	1061,45	650		0,200	1,767	18280	7617	10156

7 CONCLUSIONI

L'indagine geofisica condotta ha permesso di definire le caratteristiche elasto-dinamiche del litotipo interessato alle opere fondali e di fornire un modello geologico del sottosuolo. Inoltre, come richiede la normativa vigente, è stato determinato il parametro V_{seq} , che risulta pari a **498 m/s**. Di sotto inoltre si riporta un grafico ottenuto da studi statistici condotti sugli effetti provocati da vari terremoti accaduti in varie parti del mondo.

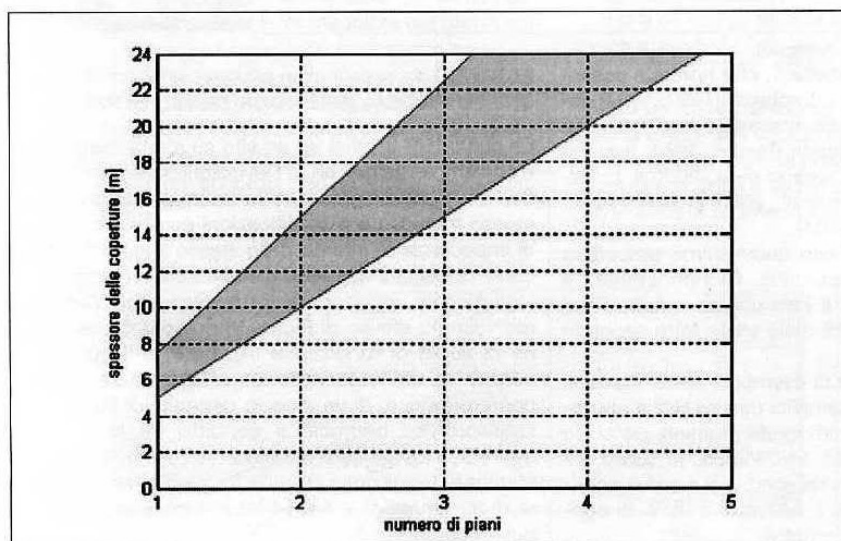
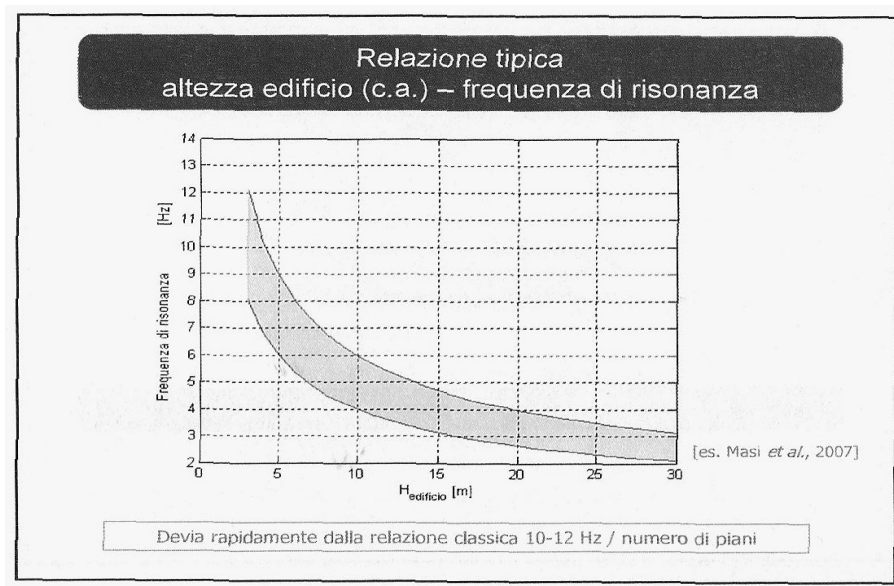


Figura 8 - La fascia azzurra del grafico illustra la relazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso per cui, per una zona con V_s caratteristiche delle coperture di 200-300 m/s, sarebbero possibili fenomeni di doppia risonanza.

Se si mettono in correlazione, il numero dei piani degli edifici (e quindi l'altezza) e lo spessore della copertura sedimentaria dal substrato (bedrock), si evidenzia che gli edifici maggiormente danneggiati a parità di magnitudo, ricadono nella fascia colorata in grigio. In questa fascia gli effetti del sisma vengono amplificati dal generarsi di effetti di risonanza sito-edificio. Ad esempio se consideriamo un edificio di tre piani, avrebbe effetti di risonanza se costruito su un sito con stratigrafia composta da copertura sedimentaria di spessore dai 15 ai 22m, mentre paradossalmente un edificio più alto nelle stesse condizioni non verrebbe danneggiato. Tale fenomeno ha avuto conferma anche in occasione del terremoto de L'Aquila mostrando che a parità di intensità del sisma, gli effetti sono stati molto diversi a seconda dello spessore del substrato di copertura (che determina la frequenza di risonanza del sito) e della frequenza di risonanza dell'edificio determinata quasi esclusivamente dal numero dei piani dell'edificio (o altezza). Se le due frequenze di risonanza vengono a coincidere gli effetti che possono generarsi sono disastrosi, anche per intensità relativamente basse. Lo stesso se la frequenza di risonanza dell'edificio fosse poco più alta di quella del sito, lo shock sismico, danneggerebbe l'edificio e contemporaneamente si abbasserebbe la frequenza di risonanza fino a coincidere con quella del sito con gli effetti di cui sopra. L'optimum sarebbe quello di dare alla struttura una frequenza di risonanza più basso in modo che giammai le due frequenze possano interferire. Risulta quindi di fondamentale importanza la conoscenza della stratigrafia dettagliata del sito che individui con precisione il substrato. A tal fine si consigliano indagini dirette o quantomeno un indagine tomografica HVSr per stimare la frequenza di risonanza di sito e prendere gli opportuni accorgimenti del caso.

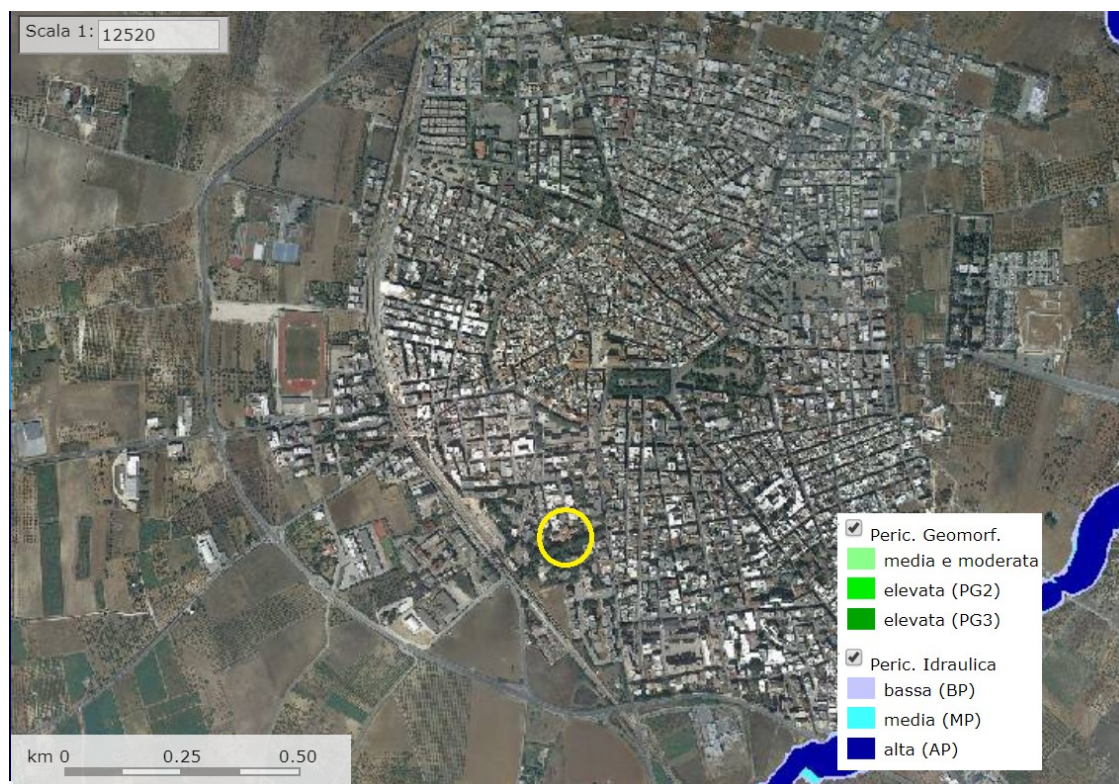


Per quanto concerne la caratterizzazione geo-tecnica del sito e la stima della capacità portante bisogna ricordare che secondo la legislazione vigente (**N.T.C.-6.2.1 6.2.2**) **esse sono competenza del progettista** a cui compete anche il piano di indagini necessarie alla caratterizzazione geotecnica dei terreni che costituiranno oggetto della relazione geotecnica. Di seguito comunque si daranno alcune indicazioni **di massima** per meglio indirizzare il progettista/calcolatore incaricato. La profondità consigliata per il piano di posa delle fondazioni è di almeno 2m dal piano campagna, laddove dalla indagine sismica emerge la maggiore alterazione ed il minor addensamento dei terreni di fondazione. Sebbene, i pesi caricati in fondazione da una struttura come quella di progetto non diano grossi problemi di carattere geotecnico, particolare cura andrà posta durante la fase di scavo onde evitare che i fronti possano cedere e provocare danno agli operatori. Al rilascio delle tensioni accumulate, o al semplice essiccamento, tali terreni spesso costituiti da lenti di sabbie sciolte potrebbero dare adito a fenomeni micro franosi con cedimenti nelle pareti di scavo soprattutto nel caso in cui si scavi sotto fondazioni di costruzioni adiacenti. Lo scalzamento alla base di tali fondazioni sarebbe deleterio, per cui si consiglia di procedere per gradi con lo scavo puntellando e costruendo contemporaneamente un muretto di contenimento in calcestruzzo armato. Inoltre le evidenze che emergeranno durante lo scavo potranno indirizzare ancora meglio il direttore lavori. In assenza di valori geotecnici provenienti da analisi di laboratorio su

campioni provenienti da sondaggi in sito, dei parametri medi di riferimento riscontrati in simili litologie potrebbero essere quelli riportati nella sottostante tabella:

ANGO LO DI ATTRI TO ϕ	PESO DELL'UNITÀ DI VOLUME γ (g/cm ³)	MODULO DI REAZIONE VERTICALE DEL TERRENO WINKLER KS (kg/cm ³)	COESION E EFFICAC E C (kN/m ²)	COESIONE NON DRENATA C _v (kN/m ²)
25°	1.6-1.7	1.5 -10	20	//

E' necessario comunque sottolineare che le caratteristiche meccaniche e le misure indicate non proveniendo da indagini dirette sono quindi suscettibili di un **ampio margine di indeterminatezza**, inoltre questi tipi di terreni variano in modo anche sensibile da punto a punto. Valori più attendibili, si possono calcolare solamente prelevando campioni in sito ed avendo a disposizione dati (spessore degli strati, R.Q.D., analisi di laboratorio su vari campioni ecc.) che solo con i sondaggi diretti (carotaggio continuo) e prove di laboratorio (o in sito) su un numero statisticamente sufficiente di campioni si possono ottenere. Per quanto riguarda il modulo di sottofondazione o k di Winkler può con notevole approssimazione assumere valori di $K=1,5 - 10\text{Kg/cm}^3$ anche se ricordiamo che il modulo K di reazione del terreno è per definizione il rapporto fra carico e cedimento. In un terreno reale il cedimento dipende, oltre che dal carico applicato e dalle proprietà del terreno, dalla forma e dimensioni della fondazione e dalla stratigrafia del terreno **non è quindi una proprietà del terreno e non può essere definito con solo riferimento al terreno, ma deve anche essere riferito alla dimensione e forma della fondazione**, ma ciò esula dagli obbiettivi di questa relazione in quanto di specifica pertinenza di quella geotecnica. Ai fini di progetto, **l'area in esame non è interessata da dissesti idrogeologici nè in atto né potenziali, e non ricade in alcuna delle perimetrazioni di pericolosità del P.A.I.** (Piano Assetto Idrogeologico) come da immagine sotto.



Stralcio P.A.I.

Rimane comunque da verificarne la rispondenza ad altra vincolistica. Nei riguardi della sismicità il territorio in esame non si presenta sismogeneticamente attivo ma tuttavia risente della sismicità delle aree appenniniche e subappenniniche limitrofe. A tal riguardo, va verificata la risposta dinamica dell'opera in progetto in relazione alla classificazione sismica dell'area e alla categoria del suolo di fondazione. Nella recente zonazione sismica, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 e come riconfermato dalla Deliberazione della Giunta Regionale del 2/3/2004, N.153 l'area in oggetto ricade in **Zona Sismica 3** a "bassa sismicità". Con l'approvazione delle Nuove Norme tecniche contenute nel Decreto del 14/01/2008, le zone sismiche rimangono ancora valide ma i valori dei parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche a_g , F_0 e T_C andranno ricavati dalla Tabella S (Parametri Spettrali) allegata al Decreto ricercando i valori appropriati in base alle coordinate del sito ed interpolando i valori dei punti più vicini. Come fattore di amplificazione Topografica il sito in esame può essere classificato in base alla Tabella 3.2.4 del D.M. summenzionato come "T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

”. In funzione di ciò si dovranno scegliere gli opportuni fattori e parametri delle Tabelle contenute nel cap. 3.2.2 del D.M.14/09/2005 e s.m.i. ai fini del calcolo dell’azione sismica sulle strutture e di quello dello spostamento e della velocità del terreno, si invitano pertanto i progettisti all’ottemperanza delle varie disposizioni e vincoli di legge.

Data

Il Geologo

Acquaviva delle Fonti 28/04/2020

ALLEGATI:

1 M.A.S.W. REPORT

MASW Report

Autore: VINCENZO CASUCCI
Sito: ACQUAVIVA/ RICOVERO UMBERTO I
Data: 18.03.2020

Redatto da MASW
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

MODELLAZIONE SISMICA

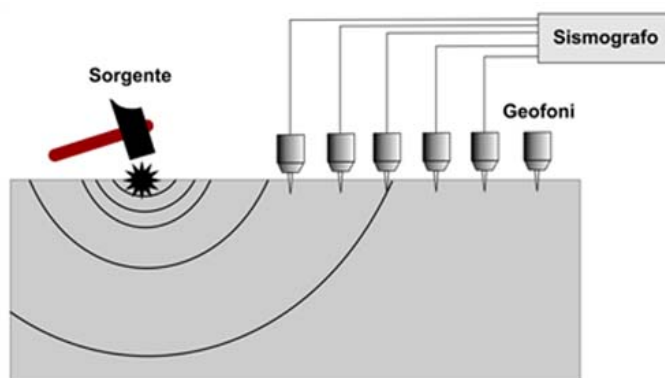
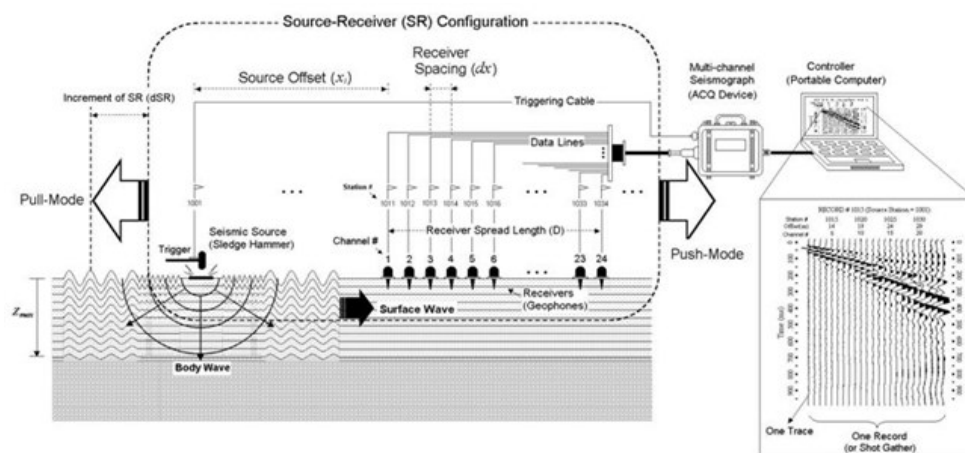


Figura 1: Esempio di come avviene un sondaggio a sismica a rifrazione mediante mazza battente.



Dati sperimentali

SISMOGRAFO 24 CANALI 24 BIT	DAQ LINK III SEISMIC SOURCE
Lunghezza totale linea sismica	24 m (a partire dallo 0)
ΔX (distanza intergeofonica)	2 m
Fonte di energizzazione	massa battente 10 Kg azionata a mano
Shot	2 shot eterni linea sismica (scoppi coniugati)
GEOFONI	4.5 Hz verticali
Suolo infissione geofoni	Terreno di riporto
Condizioni meteo ed ambientali	Assenza di traffico, assenza di vento
Software di acquisizione in campo	Vibrascope
Computer portatile da campo	Panasonic 11"

UBICAZIONE INDAGINE MASW



1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 13
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 13
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 3000ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

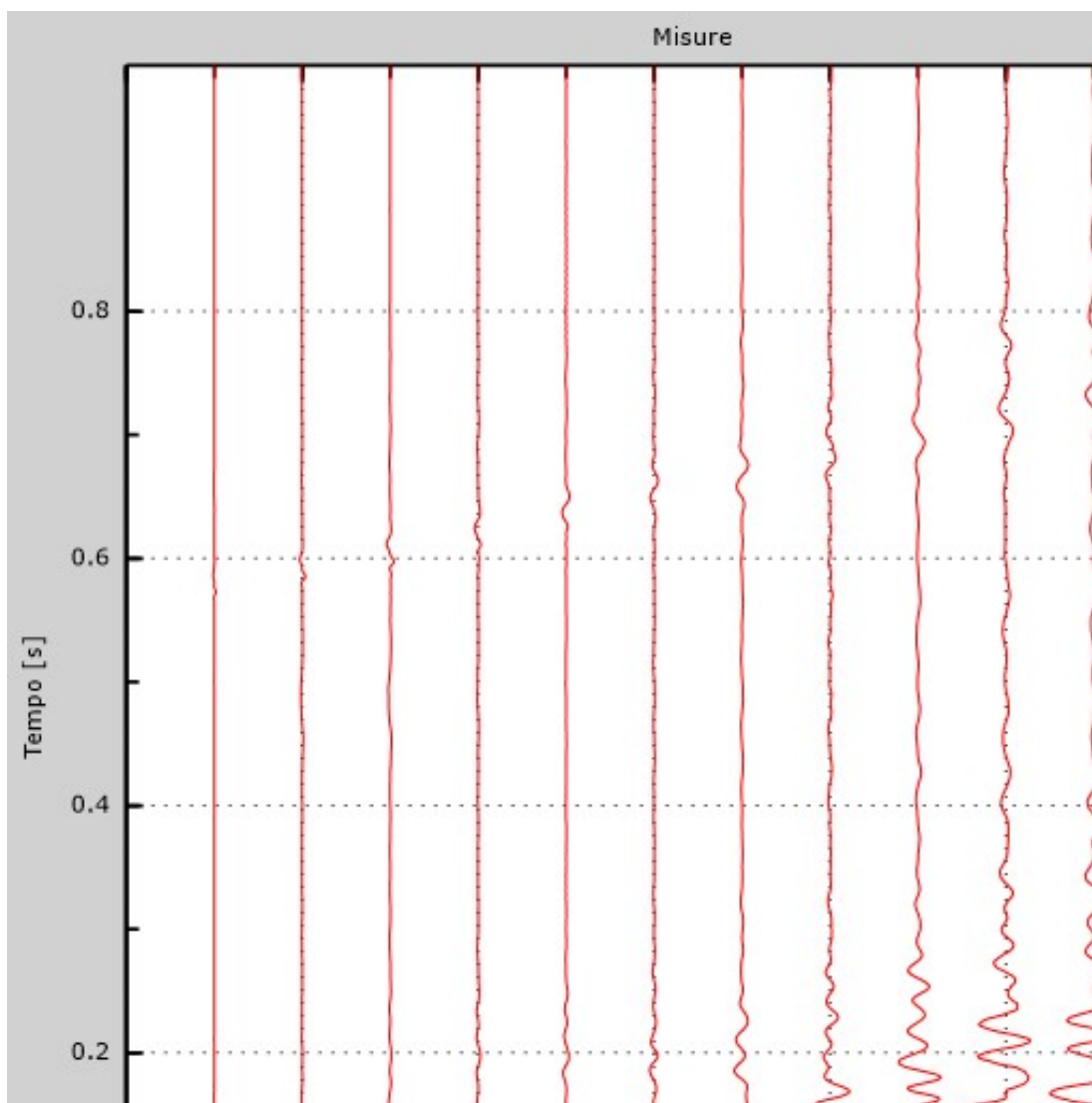


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale 10Hz

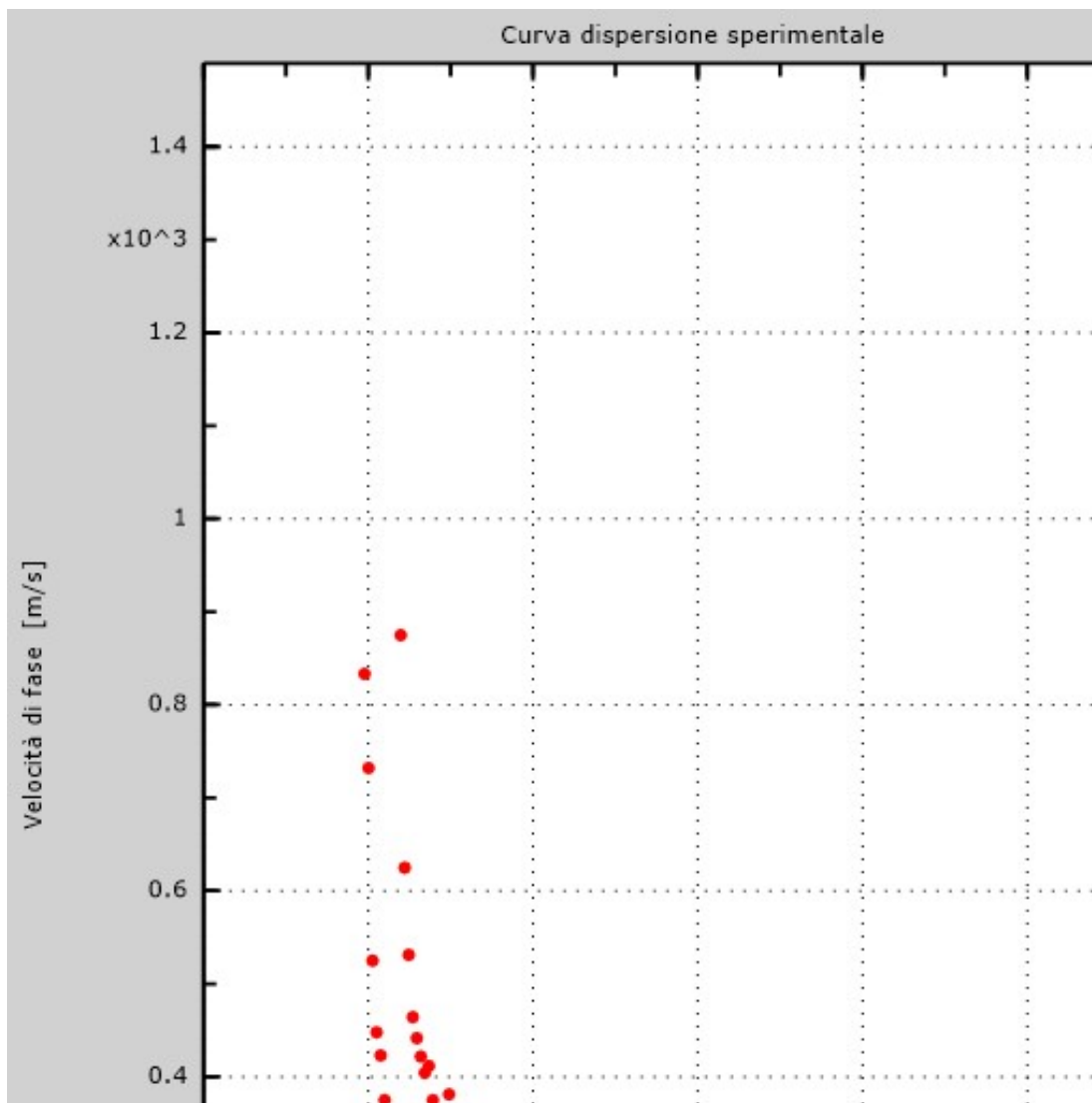


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
12.1222	632.156	500.028	764.284
13.5932	415.612	375.24	455.985
20.0025	215.585	182.553	248.617
25.5713	235.771	224.761	246.782
40.4388	164.202	155.027	173.378

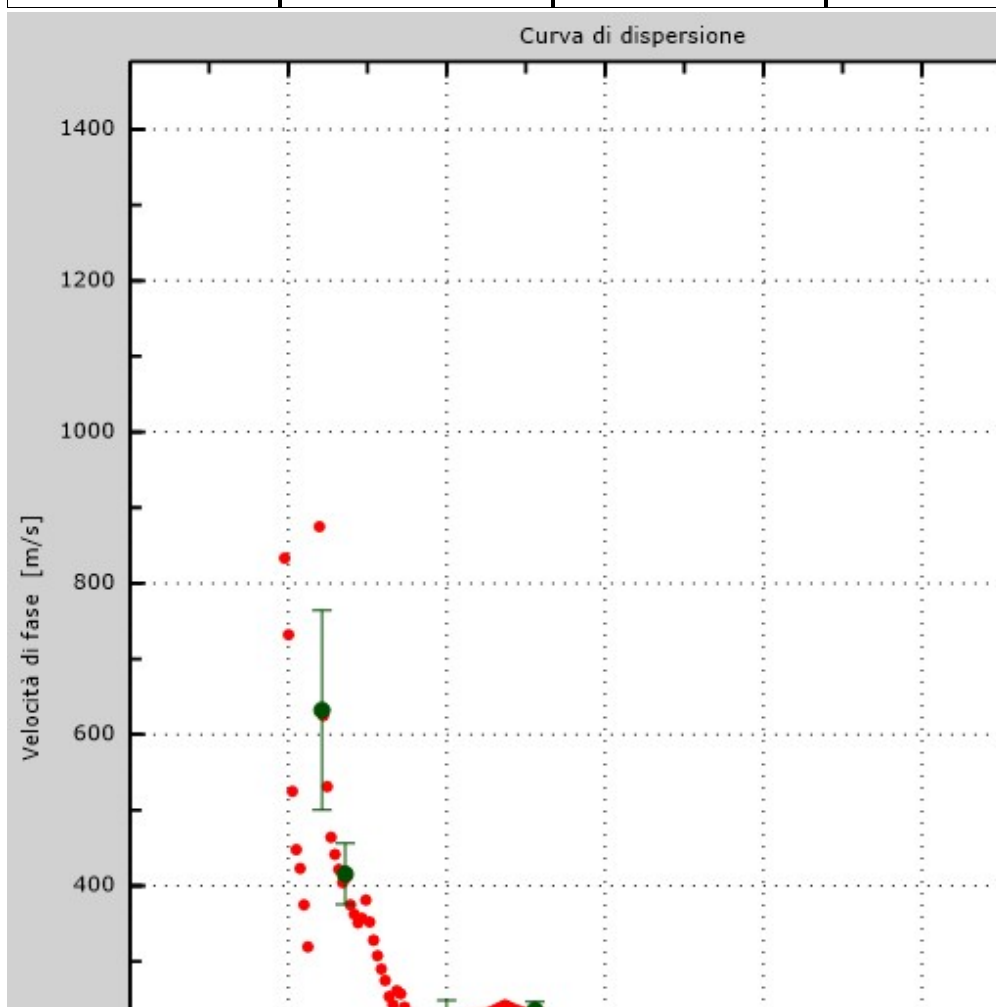


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	3
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori	13
Numero modi	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Densità [kg/m ³]	1600
Poisson	0.2
Vs [m/s]	160
Vp [m/s]	261.28
Vs min [m/s]	91.22
Vs max [m/s]	240.000000
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s]	160.000

Strato 2

h [m]	2
z [m]	-4
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	261.97
Vp [m/s]	427.80
Vs min [m/s]	130.98
Vs max [m/s]	523.94
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s]	261.970

Strato 3

h [m]	0
z [m]	-∞
Densità [kg/m ³]	2000
Poisson	0.2
Vs [m/s]	650
Vp [m/s]	1061.45
Vs min [m/s]	351.20
Vs max [m/s]	975.000000

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s]650.000

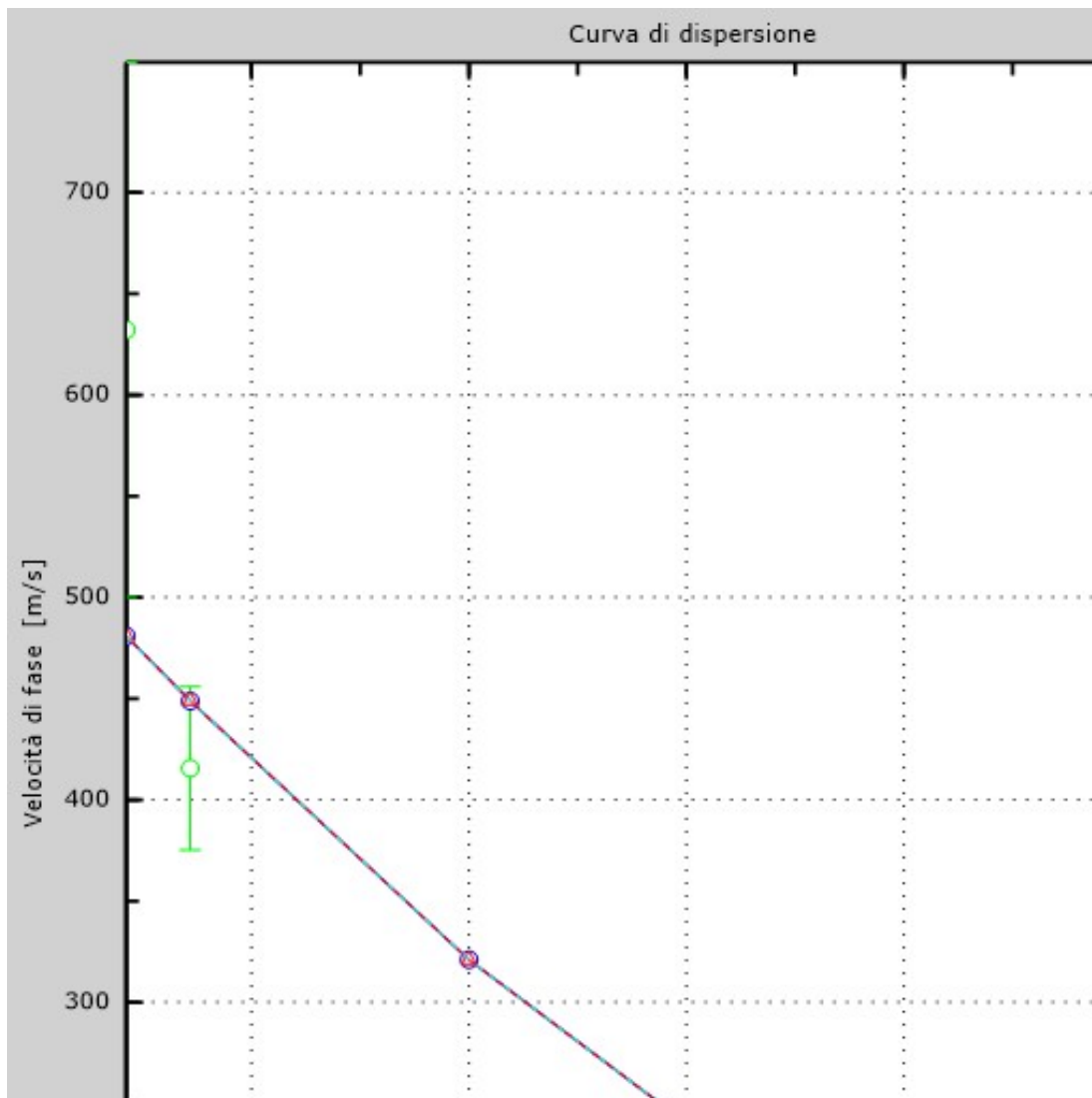


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

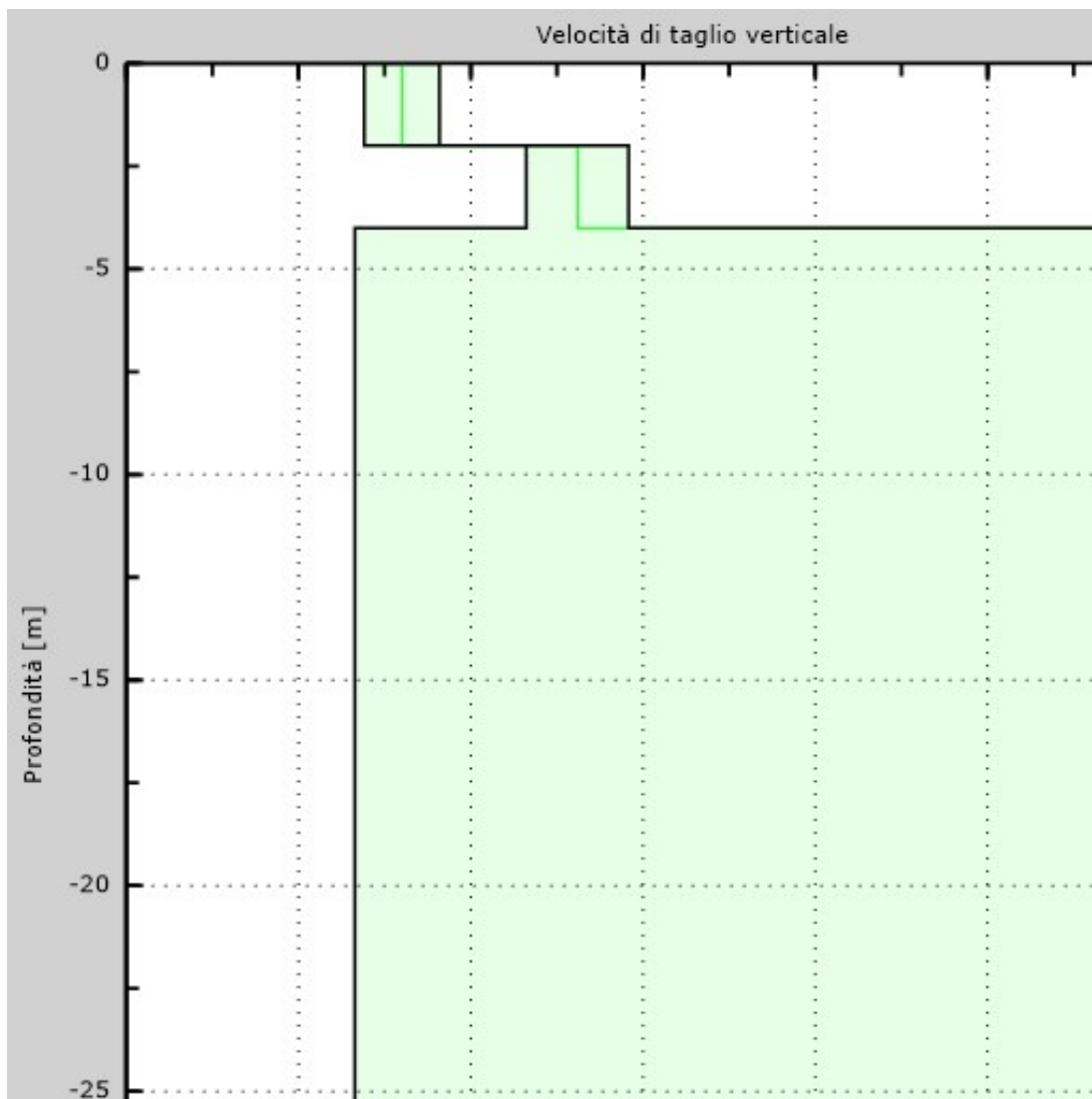


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Offset [m] 0

Vs30 [m/s] 498

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

Tipo di suolo B