REGIONE LIGURIA

COMUNE DI AMEGLIA

(Provincia di La Spezia)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

SISTEMAZIONE RIO FANCELLA IN COMUNE DI AMEGLIA - LOTTO 2

OGGETTO:

RELAZIONI
Relazione geologica

IL PROGETTISTA:

ethos engineering S.r.l.

Engineering and TecHnology for develOpment and Sustainability

Via San Giacomo della Vittoria, 64
15121 Alessandria - ITALY
Tel - fax +39 0131 235460
e-mail:info@ethosengineering.it
http://www.ethosengineering.it

ORDINE INGEGNERI PROV. ALESSANDRIA
SETTORI CIVILE AMB. INDUSTR. - INFORM.
FABRIZIO FOLTRAN
INGEGNERE
N° A-1506
SEZIONE A

DIRETTORE TECNICO
Ing. Fabrizio FOLTRAN

Firmato digitalmente da:
FOLTRAN FABRIZIO
Firmato il 26/05/2025 16:09
Seriale Certificato: 3438324
Valido dal 29/03/2024 al 29/03/2027
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

ORDINE INGEGNERI PROV. ALESSANDRIA
SETTORI CIVILE AMB. INDUSTR. - INFORM.
ANDREA PANIZZA
INGEGNERE
N° A-1217
SEZIONE A

DIRETTORE TECNICO
Ing. Andrea PANIZZA

Firmato digitalmente da:
Panizza Andrea
Firmato il 26/05/2025 17:15
Seriale Certificato: 3181121
Valido dal 11/01/2024 al 11/01/2027
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

IL COMMITTENTE:
COMUNE DI AMEGLIA

COMMESSA	LOTTO	DETT.	TIPO	ARG.	PROGR.	REV.	FILE	SCALA	DATA CONSEGNA
ETH_19_22	06	PF	R	01	03	00	ETH_19_22_06PFR01_03_00.pdf		Aprile 2025

00	Aprile 2025	Emissione	D.Caputo	D.Caputo	D.Caputo
Rev	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato

paper size:		plot style:	plot scale:
UNI A4		ETHOS.ctb	1:1

Dott. Geol. CAPUTO DORIANO
Via Ratti 64/A, 19030 Ameglia (SP)
C.F.: CPTDRN79H14E463H
P.IVA: 01280970110
Tel: 348.9226718
e-mail: doriano@near-surface.com – pec: dorianocaputo@pec.epap.it

COMUNE DI AMEGLIA
PROVINCIA DELLA SPEZIA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

RELATIVA AL PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO SISTEMAZIONE IDRAULICA DI VIA MAESTA' E VIA PISANELLO.

Committente:

Comune di Ameglia

Il Tecnico: Dott. Geol. Doriano Caputo

Ameglia, Ottobre 2022



SOMMARIO

1 PREMESSA 2
1.1 Normativa di riferimento 2
2 CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME 3
2.1 Dinamica strutturale 3
2.2 Dinamica geomorfologica 4
2.3 Geomorfologia fluviale 4
2.4 Idrogeologia e permeabilità delle rocce 5
2.5 Analisi geologica e stratigrafica 6
3 UBICAZIONE CATASTALE E VINCOLI 7
4 INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO 8
4.1 Criteri di indagine 8
5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA 8
5.1 Zonazione Sismogenetica 8
5.2 Classificazione sismica 9
5.3 Azione sismica 10
5.4 Parametri sismici: 12
5.4.1 Potenziale di liquefazione 16
6 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO 18
7 UNITÀ LITOTECNICHE E MODELLO GEOLOGICO 19
7.1 Definizione dei valori medi del terreno 19
8 NOTE CONCLUSIVE 20

I diritti di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compreso fotografie analogiche, digitali, copie fotostatiche, realizzate con qualsiasi apparecchiatura) sono riservati in tutti i paesi. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza l'autorizzazione scritta dell'Autore.

1 PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Doriano Caputo, Geologo libero professionista iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria al n. 606, con studio in Via Ratti 64/A, 19030 Ameglia (SP), riceve incarico dal responsabile dell'Area 3 - area lavori pubblici ambiente difesa del suolo, per conto dell'amministrazione comunale di Ameglia, per eseguire uno studio geologico e sismico dei terreni sul quale si andrà a realizzare il progetto di interventi di sistemazione idraulica di Via Maesta' e Via Pisanello nel Comune di Ameglia.

Le indagini e le successive verifiche sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti, ed in particolare:

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in conformità alla vigente normativa di seguito riportata.

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n 36 del 27/07/2007.
- **Decreto Ministeriale 14/01/2008 (Norme tecniche per le costruzioni).**
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 Febbraio 2009.
- **D.G.R. n. 1308 del 24/10/2008:** Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria; recepimento dell'**O.P.C.M. n. 3519 del 2006**
- **D.G.R. 1362 del 19/11/2010 Aggiornamento della classificazione sismica del territorio** della Regione Liguria.
- **Delibera di Giunta Regionale 17/03/2018 N.216 : OPCM 3519/2006 Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Giunta Regionale**
- **Decreto del Ministero 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»".**

Alla presente relazione sono allegati i seguenti Allegati:

- Allegati cartografici
- Allegati fotografici
- Elaborazione indagini

2 CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

2.1 DINAMICA STRUTTURALE

La Val di Magra, analogamente alla valle sul quale si sviluppa la città di La Spezia sono costituite, nelle sue linee essenziali, da aree morfologicamente depresse, originatasi come strutture a sinclinale durante le fasi compressive dell'orogenesi appenninica. Tali strutture sono state interessate da deposizione di sedimenti in prevalenza ghiaioso-sabbioso-argillosi, a natura sia fluviale che marina e che, successivamente, si sono evolute in strutture a graben in seguito a movimenti di distensione crostale. Tutta la struttura morfologica in elevazione, invece rappresenta il culmine delle varie anticlinali e dei sovrascorrimenti che hanno caratterizzato il territori della provincia spezzina.

La struttura e l'assetto attuale delle varie unità tettoniche sono il risultato quindi di una complessa storia deformativa iniziata nel Cretaceo superiore in seguito all'inizio della convergenza dei margini dell'Oceano Ligure –piemontese.

In linea generale si possono distinguere due fasi tettoniche principali che hanno guidato poi i vari assetti strutturali locali:

- fase oceanica iniziata al limite tra Cretaceo inf. e Cretaceo sup. e terminata nell'Eocene medio con la chiusura dell'Oceano Ligure –piemontese; durante questa fase si ha la formazione di un prisma d'accrezione costituito dall'impilamento per sottoscorrimento verso ovest delle coperture oceaniche e di parte del loro basamento (Unità Liguri);
- fase intracontinentale (iniziata nell'Eocene medio –-superiore) durante la quale si ha lo sviluppo di una tettonica a thrust e falde con sottoscorrimento verso ovest delle Unità Toscane sotto le unità precedentemente impilate. Durante questa fase il fronte compressivo migra verso est, seguito a partire dal Miocene medio da un fronte distensivo legato alla distensione crostale che ha portato alla formazione dei bacini intermontani (depressioni tettoniche a semi–graben) di età via via più giovani proseguendo da ovest verso est.

Alla fase compressiva segue una importante fase distensiva che ha consentito l'attuale conformazione geologica e geomorfologica. Di seguito sono descritte alcune delle più importanti evidenze geologiche e geomorfologiche, tuttavia i meccanismi genetici di queste hanno caratterizzato poi l'evoluzione di tutto il bacino del Magra e il Bacino di La Spezia, in quanto si sono originati in maniera analoga.

Durante il Pliocene si sono formate strutture a Horst e Graben segnate da importanti faglie con direzione del piano di scivolamento nord ovest–sud est. La più evidente corre sul lato occidentale della bassa Val di Magra, dalla foce sino a Bottagna per proseguire con andamento rettilineo in direzione appenninica. Questa faglia è segnata dall'abbassamento del macigno a nord ovest e dall'innalzamento degli scisti metamorfici nell'Unità Toscana Inferiore nel promontorio di Punta Bianca; il rigetto è stato valutato in circa 800 metri.

Un'altra faglia è rilevabile nella Bassa Val di Magra dall'andamento rettilineo dei depositi alluvionali e fluvio–lacustri antichi al contatto con i complessi liguri.

Una sezione trasversale della Val di Magra mette in evidenza una struttura anticlinale sul lato occidentale del bacino e una sul lato orientale; a queste sono sovrimposte le strutture a Horst e Graben determinate da faglie dirette che riducono progressivamente il loro rigetto andando verso nord ovest. Le faglie principali sono quelle ad occidente, come evidenziato dall'asimmetria delle vallate del Magra e del Vara.

Un altro sistema di faglie trasversali delimita il basso bacino del Magra, la più importante collega il Golfo di la Spezia con Aulla e coincide con il tratto di fiume orientato sud ovest–nord

est. Le faglie trascorrenti sono dovute alla sovrapposizione delle unità ligure su quelle toscane. La fase di collasso del graben è databile mediante l'età dei depositi fluvio-lacustri più antichi, nel caso specifico Pliocene medio-superiore, in quanto un'area depressa di origine tettonica richiama sempre ed immediatamente materiale eroso dai rilievi che la fiancheggiano.

2.2 DINAMICA GEOMORFOLOGICA

I meccanismi tettonici che hanno dato origine al graben che ha generato la valle del Magra, sono alla base del carattere morfologico più evidente della valle, ovvero la forte dissimmetria del suo profilo trasversale. Sulla destra orografica i rilievi si staccano bruscamente dalla pianura, mentre sulla sinistra esiste una fascia di raccordo tra il fondovalle e le colline, costituita da lembi residui del complesso di terrazzi alluvionali; si osserva inoltre che la pianura ha uno sviluppo molto maggiore sul lato sinistro del corso d'acqua e che l'alveo attuale è sensibilmente spostato verso i rilievi di destra, di cui talvolta lambisce il piede.

Come sopra detto, queste forme devono essere attribuite al meccanismo di formazione e di movimento della depressione tettonica che costituisce la bassa valle; il lato occidentale del graben, infatti, è limitato da una faglia principale contro la quale terminano le faglie antitetiche, a minor rigetto e con superfici di scorrimento più inclinate, presenti sul lato opposto.

La pianura della bassa Val di Magra, estremità settentrionale dell'ampia zona pianeggiante situata ai piedi delle Alpi Apuane, ha avuto origine durante il Quaternario per l'accumulo dei materiali alluvionali trasportati dal Magra e dai suoi affluenti. Le alluvioni più antiche presentano un doppio terrazzamento, al quale si è già accennato nei paragrafi precedenti. Il terrazzo più alto ha una quota di 30-40 metri s.l.m., ed è costituito prevalentemente da ciottoli di arenaria Macigno misti a sabbie, deposti durante il Quaternario inferiore-medio; la sua scarpata è stata incisa nell'interglaciale Riss-Wurm in seguito al ringiovanimento della valle provocato dai movimenti epirogenetica. Il secondo terrazzo, che ha una quota di pochi metri superiore a quella dell'alveo attuale del Magra, è costituito da sabbie limose bruno-rossastre ed è di origine climatica; l'erosione della sua scarpata è dovuta alla migrazione del punto neutro verso valle avvenuta in seguito alla diminuzione delle precipitazioni nella fase cataglaciale wurmiana. Il fondovalle è occupato dalle alluvioni recenti ed attuali del Magra, caratterizzate da una costante diminuzione della granulometria da monte verso valle.

Tuttavia quanto sopra detto ha valenza a scala generale di bacino del Magra i caratteri morfologici locali sono generati principalmente dalla deposizione alluvionale in concomitanza con l'erosione dei corsi d'acqua minori presenti e dall'interazione tra essi e gli eventi tettonici che hanno caratterizzato tale promontorio.

2.3 GEOMORFOLOGIA FLUVIALE

L'alveo di piena del fiume Magra è largo circa 200 metri nella parte più interna della pianura alluvionale e oltre 300 metri in prossimità della foce. La pendenza dell'alveo, che ha un valore medio del 20% nelle zone montuose del bacino, si riduce rapidamente fino all'uno per mille a valle della confluenza con il fiume Vara.

Procedendo da monte verso valle si osservano importanti cambiamenti nelle caratteristiche morfologiche dell'alveo.

Dalla confluenza con il Vara alla trasversale Romito-Sarzana il fiume presenta un alveo ad isole fluviali (alveo di tipo D di Trevisan, 1968). Questo tipo d'alveo, in cui il deposito prevale sensibilmente sull'erosione, può svilupparsi esclusivamente a valle del punto neutro ed è caratteristico delle parti più interne delle pianure alluvionali. L'andamento generale dell'alveo è pressoché rettilineo, mentre i singoli canali situati tra isole adiacenti e tra isole e sponde formano spesso dei meandri.

A valle della trasversale Romito-Sarzana il fiume mostra l'alveo a meandri tipico delle pianure alluvionali soggette a esondazioni durante le piene maggiori (alveo di tipo E di Trevisan, 1968). I meandri, dovuti all'erosione laterale, sono soggetti ad un'evoluzione relativamente rapida a causa della facile erodibilità delle sponde, costituite in prevalenza da materiali sottili; a tal proposito, si può osservare un meandro morto sulla sinistra del fiume a valle del torrente Isolone. Anche in questo tipo di alveo l'alluvionamento prevale sull'erosione. La pianura s'innalza lentamente per l'accumulo dei materiali deposti dal fiume durante le fasi di decrescita delle piene. Ciò tenderebbe a far aumentare il dislivello tra il fondo dell'alveo e il piano d'esondazione; tuttavia, l'aumento dell'altezza delle sponde limita le esondazione e favorisce la deposizione dei materiali alluvionali all'interno dell'alveo. L'innalzamento del fondo dell'alveo compensa l'accrescimento della pianura alluvionale, mantenendo costante l'altezza delle sponde. Questo processo autolimitante provoca, in definitiva, un innalzamento parallelo e uniforme dell'alveo e della pianura alluvionale, conservando invariate nel tempo le caratteristiche morfologiche dell'alveo stesso. Quando il fiume è arginato si verifica un'accelerazione del processo di innalzamento dell'alveo che può portare alla formazione di alvei pensili sulla pianura. Attualmente, nel tratto di fiume con alveo a meandri si depositano solo sabbie e limi.

Il tratto terminale del fiume presentava fino all'inizio del secolo un alveo con isole fluviali costituite da materiali sottili (alveo di tipo F di Trevisan, 1968). Nei documenti cartografici dell'epoca, inoltre, la foce appare ingombra di banchi e pennelli sabbiosi, dovuti all'azione combinata della corrente fluviale e del moto ondoso. Queste forme erano già parzialmente scomparse negli anni '30 a causa dell'arretramento della linea di riva.

La parte terminale della pianura della bassa Val di Magra, la pianura lunense e l'intera fascia costiera della Versilia sono interessate da un lento movimento di subsidenza, legato evidentemente al regime di distensione crostale. Per un lunghissimo periodo, tuttavia, la velocità di abbassamento del territorio è stata inferiore alla velocità di accumulo dei sedimenti trasportati dai corsi d'acqua; dall'inizio del Quaternario alla metà del diciannovesimo secolo, infatti, si è verificato un accrescimento pressoché continuo della pianura costiera. Intorno al 1850 ha avuto inizio una fase di arretramento della linea di riva, dovuta alla riduzione dell'apporto terrigeno da parte del Magra.

2.4 IDROGEOLOGIA E PERMEABILITÀ DELLE ROCCE

La *permeabilità* è la proprietà che hanno le rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua quando questa è sottoposta ad un certo carico idraulico. Essa, quindi, esprime l'attitudine che ha la roccia a fare defluire l'acqua sotterranea.

Anche se in natura non esistono litotipi completamente impermeabili, nello studio delle acque sotterranee si fa distinzione tra *rocce permeabili* e *rocce impermeabili,* a seconda della facilità con cui le acque penetrano, circolano e si distribuiscono nel sottosuolo.

Nelle cosiddette *rocce impermeabili*, in condizioni naturali di pressione, le acque non hanno movimenti percettibili o rilevabili con i mezzi normalmente utilizzati in idrogeologia, per mancanza di meati intercomunicanti e/o sufficientemente ampi (con diametro superiore a 1 micron).

Le *rocce permeabili* sono quelle in cui, nelle condizioni naturali di pressione, le acque si muovono a velocità tale da poter essere utilmente captate.

Si possono distinguere due tipi di permeabilità fondamentali: per *porosità* e per *fessurazione.*

La *permeabilità per porosità* è tipica delle rocce porose, le quali contengono numerosi piccoli vuoti intergranulari tra loro comunicanti. È generalmente una proprietà intrinseca perché gli interstizi che consentono il movimento delle acque si sono formati quasi sempre

contemporaneamente alla roccia. Solo in pochi casi (come nell'alterazione superficiale dei graniti, delle arenarie, ecc.) può essere di origine secondaria.

La *permeabilità per fessurazione* è tipica delle rocce fessurate, le quali contengono generalmente pochi vuoti costituiti da fessure. Di norma è una proprietà acquisita perché gli anzidetti meati vengono prevalentemente generati da sforzi tettonici o da decompressione, anche se possono essere successivamente allargati da fenomeni chimico-fisici. Si può parlare di proprietà intrinseca solo quando la permeabilità è dovuta a fessure da raffreddamento, a giunti di stratificazione ed a piani di scistosità.

A differenza di quanto avviene nelle rocce permeabili per porosità, dove c'è una circolazione idrica diffusa, quelle permeabili per fessurazione possono risultare totalmente secche tra una frattura e l'altra.

In natura si trovano molte rocce caratterizzate esclusivamente da permeabilità per porosità, mentre sono più rare quelle permeabili solo per fessurazione. Spesso, quindi, si indicano come permeabili per fessurazione quelle in cui questo tipo di permeabilità è di gran lunga predominante rispetto all'altro. Quando i due tipi coesistono in proporzioni tra loro paragonabili, si parla di *permeabilità mista*. In particolare, la roccia si dice permeabile *per fessurazione e porosità* o *per porosità e fessurazione* a seconda che prevalga l'una o l'altra.

Oltre al tipo di permeabilità è possibile distinguere anche il *grado di permeabilità.* Può essere espresso sia in termini relativi che assoluti. Nel primo caso si introduce il concetto di *permeabilità relativa*, con il quale viene indicata la permeabilità apparente di un singolo litotipo o di un insieme di termini litologici simili, nei confronti di quelli adiacenti.

Essa viene espressa esclusivamente in modo qualitativo (p. alta, media, scarsa) sulla base delle osservazioni di campagna. È un parametro utile per confrontare tra loro, in prima approssimazione, più rocce o gruppi di rocce.

2.5 ANALISI GEOLOGICA E STRATIGRAFICA

Alla luce di quanto emerso dallo studio della bibliografia, oltre che dall'osservazione delle carte, dalla fotointerpretazione delle immagini satellitari e dagli elementi conoscitivi ricavati dalle indagini sui terreni oggetto di studio, si può ricostruire un modello geologico e stratigrafico dell'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto.

Essa va a costituire una porzione di pianura alluvionale secondaria, generata principalmente dalla deposione del Canal grande e del Fiume Magra. La stratigrafia della zona in esame è costituita, quindi, da depositi accumulati dalle piene del fiume Magra e del Canal Grande rimodellati ed organizzati dalle oscillazioni e modificazione del corso del fiume. A questi si intercalano e alternano depositi di versante anch'essi riorganizzati dal fiume magra e dalla deposizione fluviale. Nella fattispecie, l'area d'interesse è caratterizzata da una stratigrafia che riflette un ambiente fluviale di medio-alta energia nella porzione più superficiale, dove la sedimentazione dei materiali ha interessato solamente i sedimenti a granulometria grossolana.

Nel caso in esame, ci troviamo in presenza di un substrato tipicamente alluvionale a granulometria prevalentemente sabbiosa limosa con lenti argillose anche importanti, talvolta con livelli ghiaiosi medio fini. Che sormontano un substrato litoide piuttosto fratturato. In un tale ambiente deposizionale si rinvengono terreni permeabili per porosità nella parte superficiale, essendo presente una percentuale di materiale fine coesivo di natura argillosa, i depositi rocciosi presentano una permeabilità secondaria per fratturazione in tutta l'areala permeabilità piuttosto eterogenea nello spazio.

Il livello della falda è molto variabile, nelle stagioni piovose invernali, e la natura limo-sabbiosa consente un innalzamento della falda piuttosto elevato. Talvolta nei periodi molto piovosi e umidi la falda può arrivare a lambire il piano campagna.

3 UBICAZIONE CATASTALE E VINCOLI

I terreni oggetto di studio sono sito nel Comune di Ameglia (SP), in località Cafaggio.

Per ciò che concerne il vincolo di P.A.I. le 2 aree oggetto sono classificate come segue:

- Via Maestà rientra in aree a **pericolosità idraulica media** per quanto riguarda il tratto a monte, mentre a valle si riscontra una pericolosità. Per quanto riguarda gli **ambiti normativi** previsti rientra nell'area **PI3A – Aree inondabili per T=200 anni, e Area PI4A – Aree inondabili per T=30 anni**. I battenti previsti in questi zona tuttavia sono nulli. Il tratto di monte, esclusa la confluenza con il canal grande, rientra anche in area a pericolosità geomorfologica, classificata come **pericolosità geomorfologica media**
- Via Pisanello. L'intervento rientra marginalmente in aree a **pericolosità idraulica bassa,** per quanto riguarda la porzione terminale della tombatura . Per quanto riguarda gli **ambiti normativi** previsti non rientra in nessuna area soggetta ad ambito normativo. I battenti previsti in questi zona tuttavia sono nulli. Il tratto interessato dall'intervento non ricade in area a pericolosità geomorfologica.

4 INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

4.1 CRITERI DI INDAGINE

Per la comprensione delle problematiche legate alla realizzazione del progetto in essere. Lo scopo principale è caratterizzare i terreni si fondazione delle opere idrauliche in progetto, Scatolare e briglie. Per poter meglio comprendere questa problematica sono stati realizzati 4 sondaggi a carotaggio continuo a profondità variabile e n.2 indagini sismiche tipo MASW

L'analisi MASW eseguita è necessaria al fine della caratterizzazione e parametrizzazione sismica del sito.

Le specifiche delle indagini eseguite cono riportate nella relazione tecnica allegata.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

5.1 ZONAZIONE SISMOGENETICA

Sino al 2002, era comunemente utilizzata come zonazione sismica di riferimento per tutto il territorio italiano la "*Zonazione Sismogenetica ZS4*" (Meletti *et al*., 2000a). Tale studio collocava l'area oggetto del presente elaborato nella zona 27 classificata come "*tipo c*": zone legate allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale con Meccanismi attesi tipo dip-slip con assi T SW-NE nella fascia tirrenica.

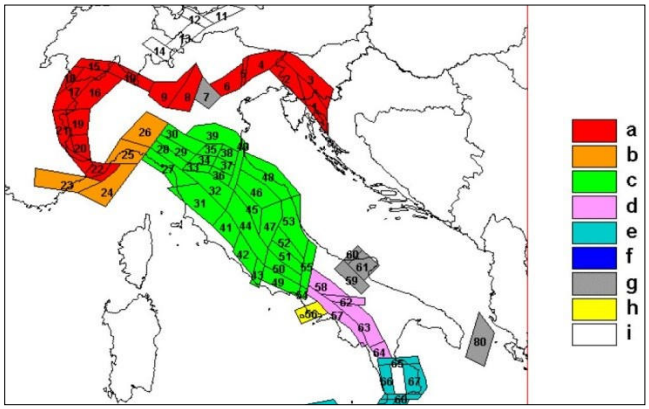


Figura 6.1: Carta della zonazione sismogenetica ZS4.

Recentemente una revisione di detta zonazione ha portato ad un nuovo modello sismogenetico usato in Italia, introdotto appositamente per la redazione della mappa di pericolosità 2004, tale modello è la cosiddetta "*Zonazione sismogenetica ZS9*" per la quale il territorio italiano è stato suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale. Tale modello mantiene le linee guida principali utilizzate nella ZS4, ma effettua una differente zonazione in base di nuove conoscenze sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche.

Tale zonazione inserisce l'area in esame nella **zona 916**; appartenente al un settore dell'arco appenninico centro-settentrionale, che coincide con un settore di distensione tirrenico, come da Meletti *et al*., 2000, e risulta caratterizzato da una bassa sismicità.

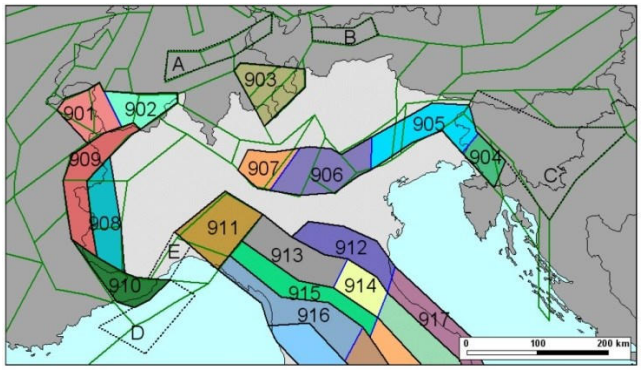
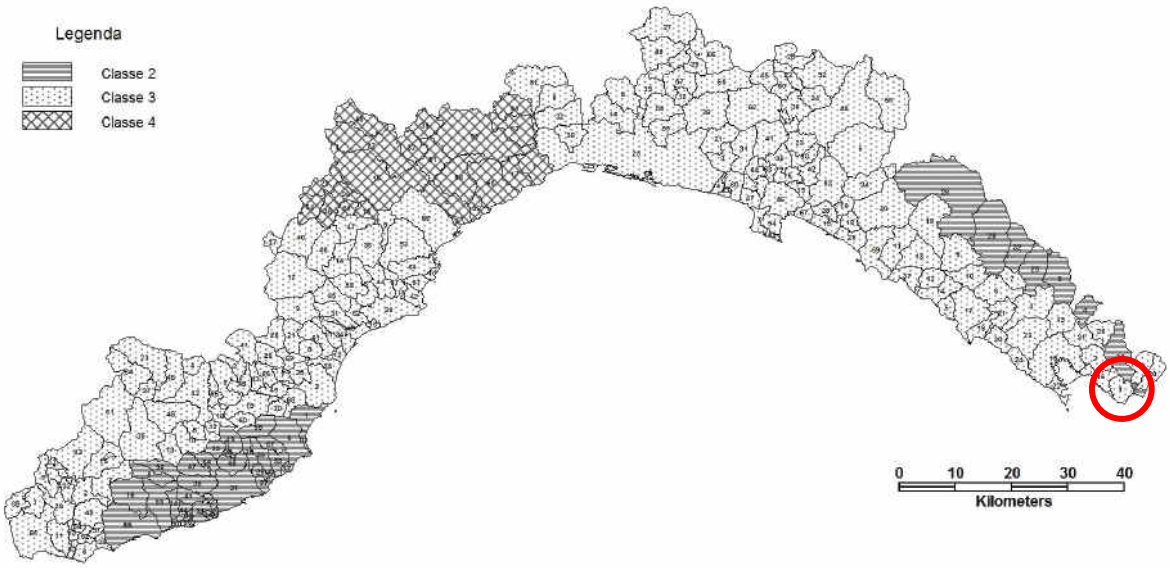


Figura 6.2:Carta della zonazione sismogenetica ZS9.

5.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

In base alla vigente normativa sismica della Regione Liguria



Nuova zonazione sismica della Provincia della Spezia

Il Comune di Ameglia e l'area in esame, ricade in **Classe 3**, contraddistinta da un valore di a_g=0,15g.

5.3 AZIONE SISMICA

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. 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, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di VS 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, VS,eq (in m/s), Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

In relazione alle caratteristiche del terreno interessato dal progetto, alle indagini geognostiche realizzate, ai dati bibliografici a disposizione ed alle prove sismiche tipo MASW eseguite, si possono indicare che le zone in questione si caratterizzano per una **categoria di suolo di tipo B per l'intervento di Via Maestà , e un categoria di Suolo di tipo E per l'intervento in via Pisanello**

5.4 PARAMETRI SISMICI:

Utilizzando il software free di Geostru, www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx, si ricavano i seguenti valori

Sito in esame.: Via Pisanello

latitudine: 44,063517
longitudine: 9,969647
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18486 Lat: 44,0815 Lon: 9,9408 Distanza: 3052,166
Sito 2 ID: 18487 Lat: 44,0836 Lon: 10,0103 Distanza: 3938,834
Sito 3 ID: 18709 Lat: 44,0336 Lon: 10,0132 Distanza: 4811,932
Sito 4 ID: 18708 Lat: 44,0315 Lon: 9,9437 Distanza: 4118,074

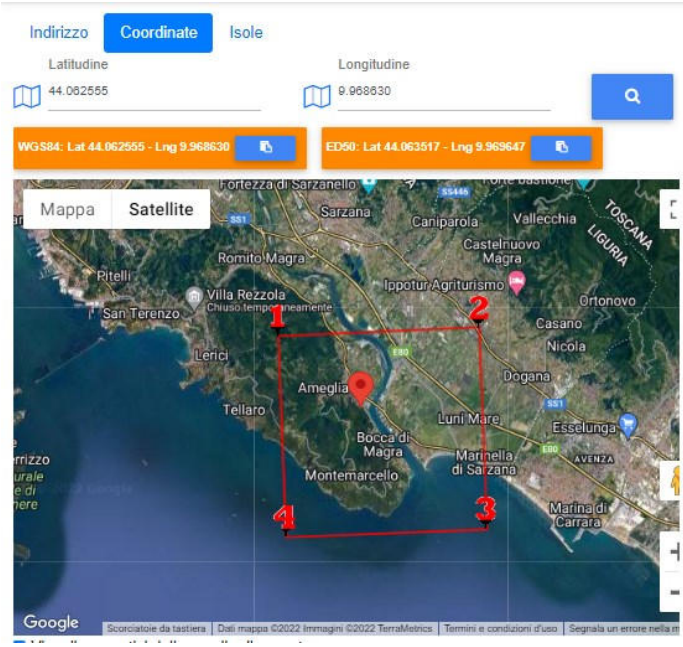
Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

		Coefficienti Sismici	
Operatività (SLO):		**SLO:**	
Probabilità di superamento:	81 %	Ss:	1,600
Tr:	30 [anni]	Cc:	2,080
ag:	0,041 g	St:	1,000
Fo:	2,527	Kh:	0,013
Tc*:	0,227 [s]	Kv:	0,007
		Amax:	0,651
		Beta:	0,200
Danno (SLD):		**SLD:**	
Probabilità di superamento:	63 %	Ss:	1,600
Tr:	50 [anni]	Cc:	2,010
ag:	0,052 g	St:	1,000
Fo:	2,519	Kh:	0,017
Tc*:	0,246 [s]	Kv:	0,008
		Amax:	0,813
		Beta:	0,200
Salvaguardia della vita (SLV):		**SLV:**	
Probabilità di superamento	10 %	Ss:	1,600
Tr:	475 [anni]	Cc:	1,880
ag:	0,126 g	St:	1,000
Fo:	2,410	Kh:	0,048
Tc*:	0,291 [s]	Kv:	0,024
		Amax:	1,980
		Beta:	0,240
Prevenzione dal collasso (SLC):		**SLC:**	
Probabilità di superamento:	5 %	Ss:	1,570
Tr:	975 [anni]	Cc:	1,860
ag:	0,163 g	St:	1,000
Fo:	2,376	Kh:	0,061
Tc*:	0,299 [s]	Kv:	0,031
		Amax:	2,507
		Beta:	0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84: latitudine: 44.062555; longitudine: 9.968630



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	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.527	0.227
Danno (SLD)	50	0.052	2.519	0.246
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.126	2.410	0.291
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.163	2.376	0.299
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): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: E

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,57
CC Coeff. funz categoria	2,08	2,01	1,88	1,86
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.017	0.048	0.061
kv	0.007	0.008	0.024	0.031
Amax [m/s²]	0.651	0.813	1.980	2.507
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Sito in esame.: Via Maesta

latitudine:	44,067264
longitudine:	9,963386
Classe:	2
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18486	Lat: 44,0815	Lon: 9,9408	Distanza: 2401,293
Sito 2	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 4162,808
Sito 3	ID: 18709	Lat: 44,0336	Lon: 10,0132	Distanza: 5461,615
Sito 4	ID: 18708	Lat: 44,0315	Lon: 9,9437	Distanza: 4274,233

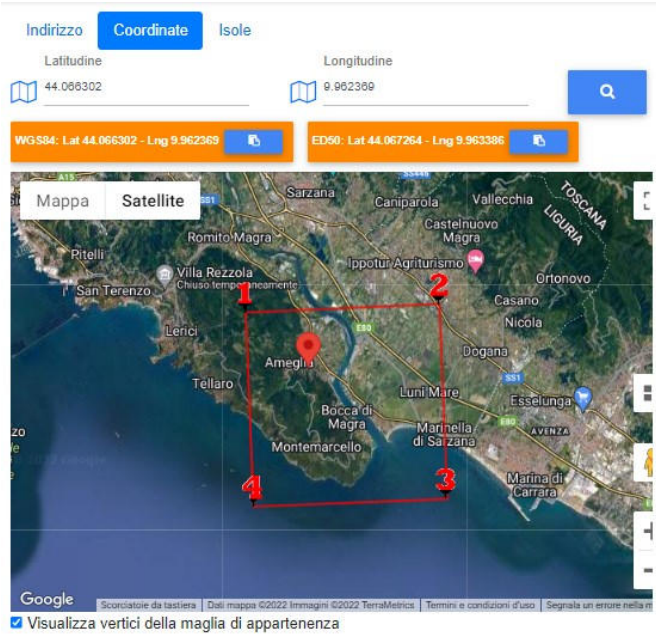
Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

		Coefficienti Sismici	
Operatività (SLO):		**SLO:**	
Probabilità di superamento:	81 %	Ss:	1,200
Tr:	30 [anni]	Cc:	1,480
ag:	0,041 g	St:	1,000
Fo:	2,527	Kh:	0,010
Tc*:	0,227 [s]	Kv:	0,005
		Amax:	0,488
		Beta:	0,200
Danno (SLD):		**SLD:**	
Probabilità di superamento:	63 %	Ss:	1,200
Tr:	50 [anni]	Cc:	1,460
ag:	0,052 g	St:	1,000
Fo:	2,519	Kh:	0,012
Tc*:	0,246 [s]	Kv:	0,006
		Amax:	0,610
		Beta:	0,200
Salvaguardia della vita (SLV):		**SLV:**	
Probabilità di superamento	10 %	Ss:	1,200
Tr:	475 [anni]	Cc:	1,410
ag:	0,126 g	St:	1,000
Fo:	2,409	Kh:	0,036
Tc*:	0,291 [s]	Kv:	0,018
		Amax:	1,486
		Beta:	0,240
Prevenzione dal collasso (SLC):		**SLC:**	
Probabilità di superamento:	5 %	Ss:	1,200
Tr:	975 [anni]	Cc:	1,400
ag:	0,163 g	St:	1,000
Fo:	2,376	Kh:	0,047
Tc*:	0,299 [s]	Kv:	0,023
		Amax:	1,917
		Beta:	0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84: latitudine: 44.066302; longitudine: 9.962369



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

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	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.527	0.227
Danno (SLD)	50	0.052	2.519	0.246
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.126	2.409	0.291
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.163	2.376	0.299
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): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,48	1,46	1,41	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.012	0.036	0.047
kv	0.005	0.006	0.018	0.023
Amax [m/s²]	0.488	0.610	1.486	1.917
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

5.4.1 Potenziale di liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al

$$0 \le T < T_B \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \le T \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}>30$ oppure $q_{ciN}>180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{ciN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità U_c<3.5 ed in Figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità U_c>3.5.

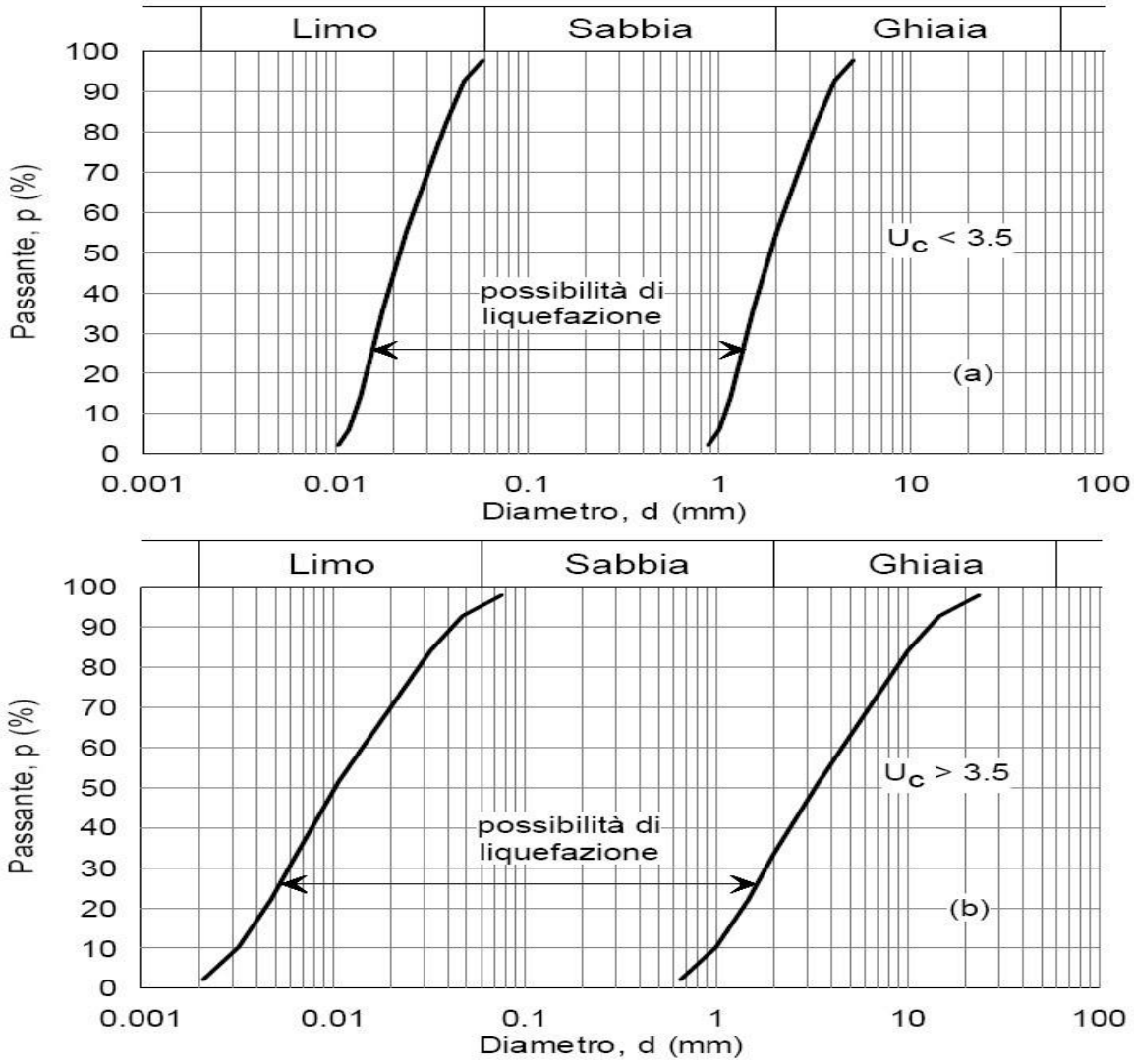


Figura 6.4: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione

In virtù dei caratteri geologici, geomorfologici e della granulometria dei sedimenti presenti nell'area in esame, uniti alle caratteristiche meccaniche dei terreni, si può ritenere possibile tale fenomeno. Inoltre, una caratteristica fondamentale per l'insorgenza di tale fenomeno e la sismicità elevata del sito pertanto, si può ritenere poco probabile, ma non si può del tutto escludere, il verificarsi del fenomeno della liquefazione.

6 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

in ragione delle osservazioni effettuate sul sito e analizzati gli affioramenti rocciosi emersi lungo lo sviluppo del versante si propone la seguente analisi geomeccanica basata sullo schema di Beniawsky.

Parametri		Intervalli di valori						
Resistenza roccia sana	Resistenza al «Point Load test» (MPa)	>10	4÷10	2÷4	1÷2	Per questi bassi valori è preferibile la prova di compressione monoassiale		
	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	> 250	100 ÷ 250	50 ÷ 100	25 ÷ 50	5 ÷ 25	1 ÷ 5	<1
Coefficienti numerici		15	12	7	4	2	1	0
Rock Quality Designation RQD (%)		90 ÷ 100	75 ÷ 90	50 ÷ 75	25 ÷ 50	< 25		
Coefficienti numerici		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 ÷ 2 m	200 ÷ 600 mm	60 ÷ 200 mm	< 60 mm		
Coefficienti numerici		20	15	10	8	5		
Condizione dei giunti		Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debol-mente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti legger-mente alterate	Superficie debolmen-te rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completa-mente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura d 1 - 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti		
Coefficienti numerici		30	25	20	10	0		
Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	< 10	10 ÷ 25	25 ÷ 125	> 125		
	Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	< 0,1	0,1 ÷ 0,2	0,2 ÷ 0,5	> 0,5		
	Condizioni generali della roccia	Perfettamente Asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua		
Coefficienti numerici		15	10	7	4	0		

B - Classi di roccia determinate in base alla somma dei coefficienti numerici					
Somma dei coefficienti	100 ÷ 81	80 ÷ 61	60 ÷ 41	40 ÷ 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione della roccia	Ottima	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
C - Significato delle classi di roccia					
Classe	I	II	III	IV	V
Tempo medio di autosostentamento	20 anni per aperture di 15 m	1 anno per aperture di 10 m	1 settimana per aperture di 5 m	10 ore per aperture di 2,5 m	30 minuti per aperture di 1 m
Coesione (kPa)	> 400	300 ÷ 400	200 ÷ 300	100 ÷ 200	< 100
Angolo di attrito interno	> 45°	35° ÷ 45°	25° ÷ 35°	15° ÷ 25°	< 15°

In conclusioni si ottiene un indice BMR = 40 pertanto il substrato rientra in **categoria III, Mediocre** e si consiglia di utilizzare i parametri riportati in tabella:

Qualità dell'ammasso	**C (Kg/cm^2)**	**Φ (°)**
Buona	2.03-3.05	30-35

7 UNITÀ LITOTECNICHE E MODELLO GEOLOGICO

In virtù delle osservazioni geologiche di terreno e dei risultati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite, si possono individuare tre differenti unità litotecniche (U.L.T.). Ogni unità individuata mostra delle affinità geologiche e geotecniche tra loro molto marcate, in particolare sono state inserite nella medesima. quei terreni che rappresentano delle variazioni, sia granulometriche che composizionali, della solita formazione e con una risposta geotecnica compatibile con l'aspetto più prettamente geologico in generale si ritrova una copertura prevalentemente sabbiosa limosa con clasti, la granulometria di tale depisto varia piuttosto eterogeneamente arealmente (U.L.T.1). Tale depositi sovrastano un substrato roccioso molto alterato e fratturato (U.L.T.2).

Per i dettagli riguardanti i parametri caratteristici si rimanda al paragrafo successivo e al capitolo dell'elaborazione delle prove penetrometriche. I parametri della prima unità litotecnica sono stati utilizzati i parametri da SPT mentre per l'U.L.T.2 è stato eseguito un rilievo geomeccanico realizzato sui pochi affioramenti presenti in sito

7.1 DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI DEL TERRENO

In base al percorso metodologico proposto per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni investigati, si propone di seguito una tabella riassuntiva con i seguenti parametri geotecnici. Sulla base delle indicazioni contenute nelle NTC 2018, sono stati riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione delle prove per ogni sito analizzato:

Via Pisanello

Strato	NSPT	S.m.	γ	DR	φ med	cu
U.L.T.1	41	7.00	1.75	81	32	-----
U.L.T.2	----	Indef.	2.10	90	35	2.10

Via Maestà

Strato	N_{SPT}	S.m.	γ	D_R	φ_{med}	c_u
U.L.T.1	3.0	2.80	1,38	11,00	27,00	0.19
U.L.T.2	-----	2.40 Indef.	2.10	90	35	2.10

- lo strato secondo le distinzioni operate (STR);
- il NSPT medio espresso in colpi /piede;
- lo spessore medio;
- il peso di volume medio (γ) espresso in t/m^3;
- il peso di volume saturo medio (γ_s) espresso in t/m^3;
- la densità relativa media (D_R) espressa in %;
- l'angolo di attrito medio (φ) espresso in gradi;
- la coesione non drenata (c_u) espressa in kg/cm^2

8 NOTE CONCLUSIVE

In virtù dell'incarico conferitomi dalla committenza, come specificato in premessa, è stato eseguito uno studio geologico e sismico, al fine di individuare la fattibilità degli interventi in progetto, le aree si collocano in prossimità della confluenza di due canali, il canale di Via Maestà e di Via Pisanello, con il Canal Grande, in località Cafaggio, nel comune di Ameglia.

In sintesi il progetto prevede la posa di uno scatolare in cemento di 2.5 X 2.5 m. nei tratti terminali dei 2 canali, nel tratto attualmente scoperto del canale di via maestà inoltre verranno realizzate delle gabbionate a protezione spondale e briglie contenitive lungo il corso del canale.

Essa va a costituire una porzione di pianura alluvionale secondaria, generata principalmente dalla deposione del Canal grande e del Fiume Magra. La stratigrafia della zona in esame è costituita, quindi, da depositi accumulati dalle piene del fiume Magra e del Canal Grande rimodellati ed organizzati dalle oscillazioni e modificazione del corso del fiume. A questi si intercalano e alternano depositi di versante anch'essi riorganizzati dal fiume magra e dalla deposizione fluviale. Nella fattispecie, l'area d'interesse è caratterizzata da una stratigrafia che riflette un ambiente fluviale di medio-alta energia nella porzione più superficiale, dove la sedimentazione dei materiali ha interessato solamente i sedimenti a granulometria grossolana.

Nel caso in esame, ci troviamo in presenza di un substrato tipicamente alluvionale a granulometria prevalentemente sabbiosa limosa con lenti argillose anche importanti, talvolta con livelli ghiaiosi medio fini. Che sormontano un substrato litoide piuttosto fratturato. In un tale ambiente deposizionale si rinvengono terreni permeabili per porosità nella parte superficiale, essendo presente una percentuale di materiale fine coesivo di natura argillosa, i depositi rocciosi presentano una permeabilità secondaria per fratturazione in tutta l'areala permeabilità piuttosto eterogenea nello spazio.

Il livello della falda non è attualmente presente nello spessore investigato

Per quanto concerne la fattibilità dell'intervento proposto dal Progettista non si riscontrano particolari problematiche legate alla natura geologica e geomorfologica del sito, e per tanto non si riscontrano limiti ostativi alla realizzazione dello stesso,..

Ameglia, Ottobre 2022

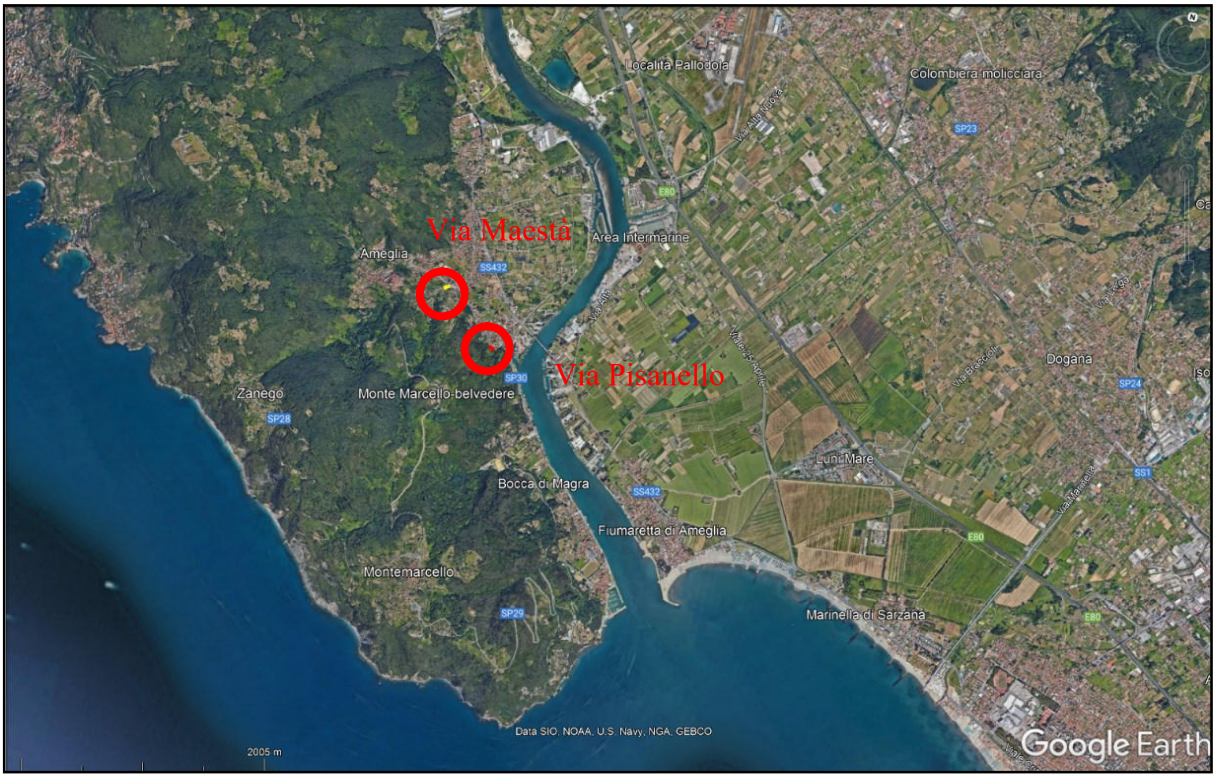
Il Tecnico

Dott. Geol. Doriano Caputo



ALLEGATI CARTOGRAFICI

UBICAZIONE GEOGRAFICA

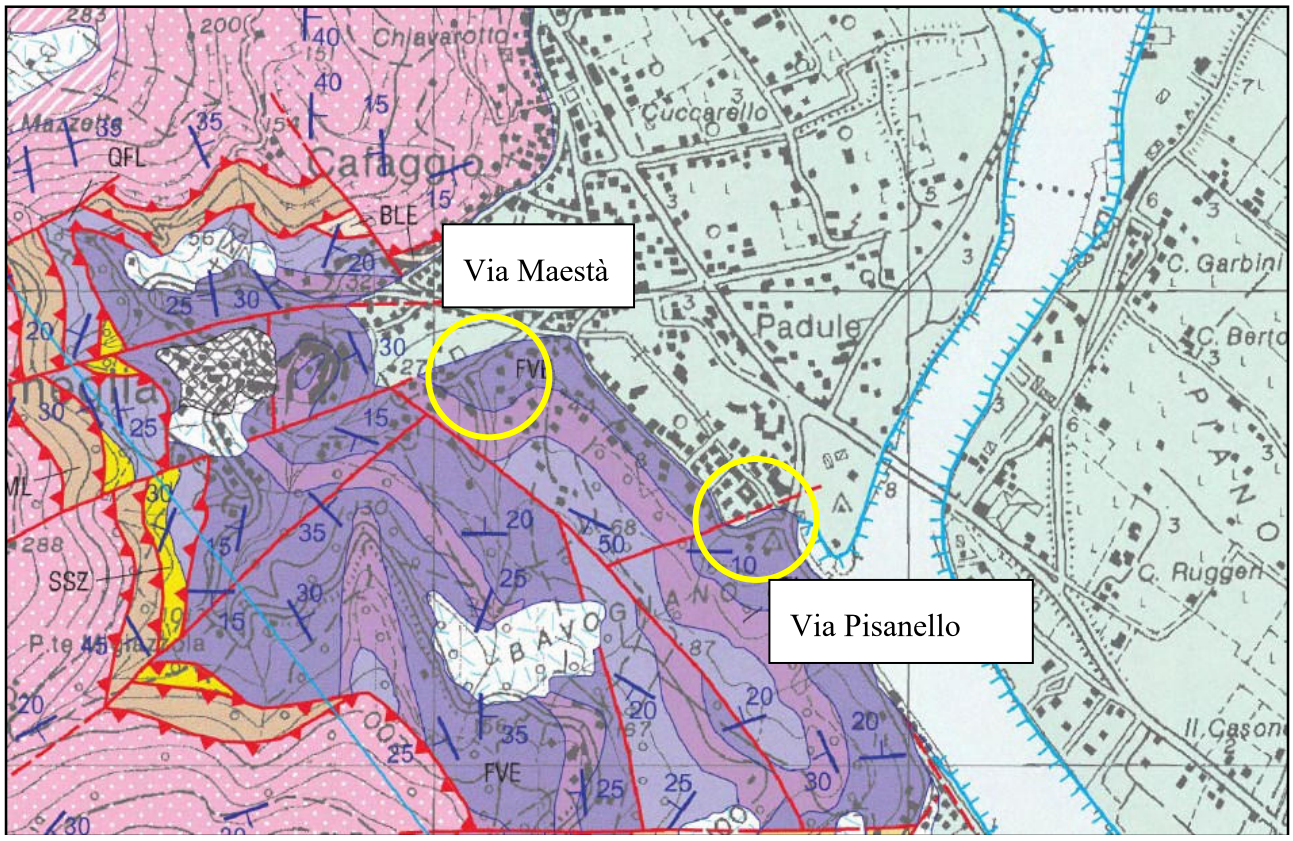


Località: Cafaccio

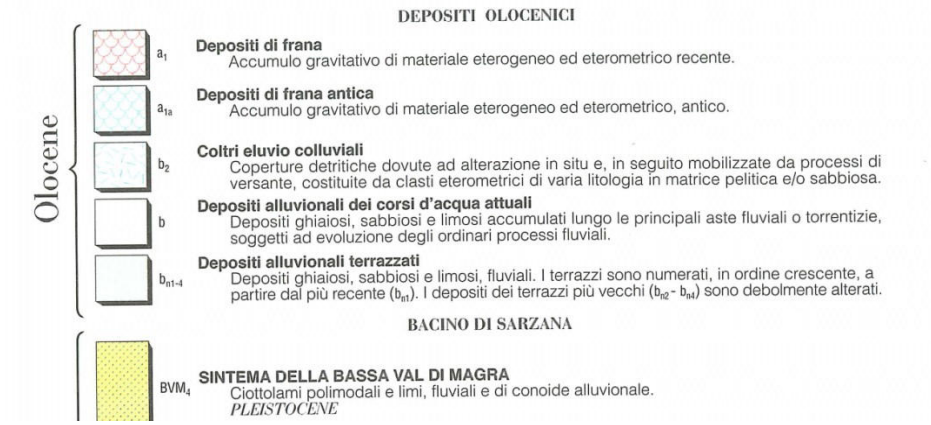
Comune: Ameglia

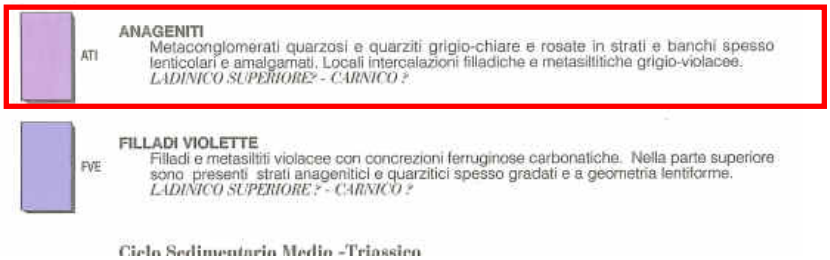
Provincia: La Spezia

STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA



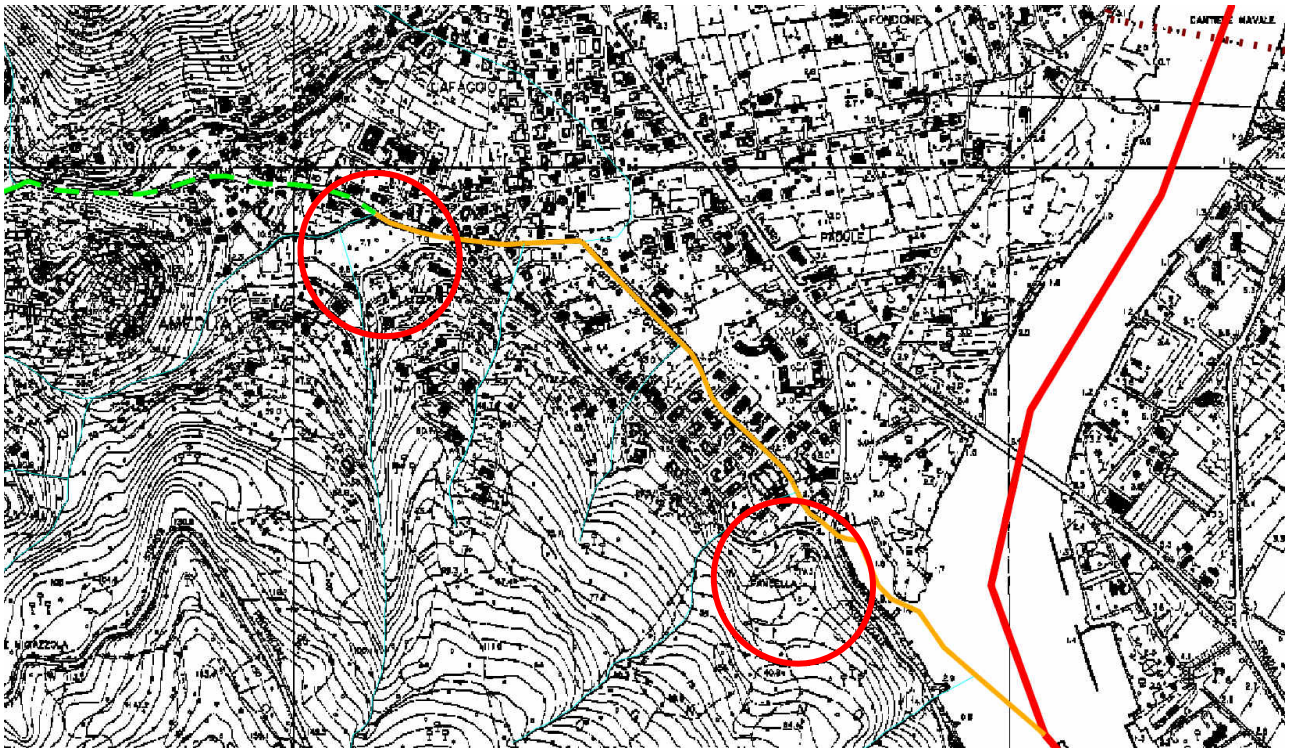
LEGENDA

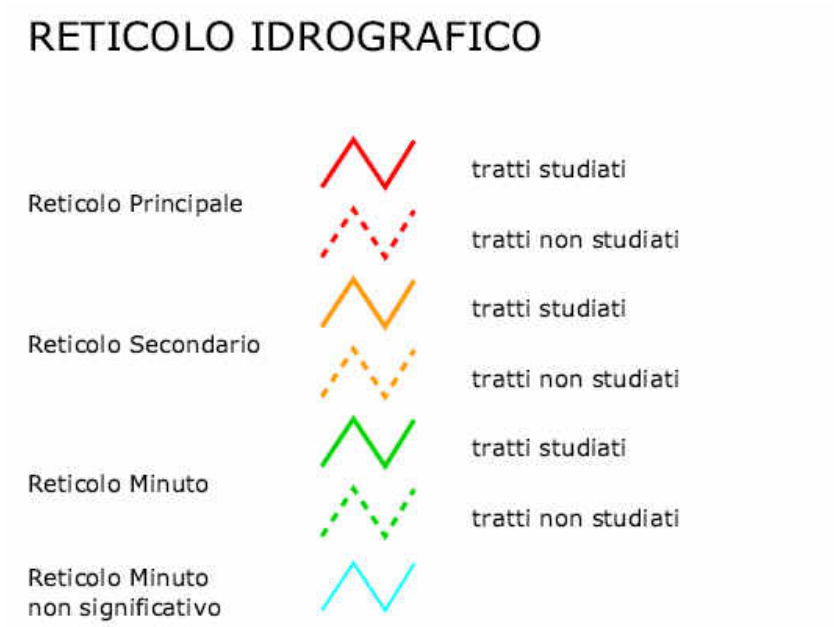




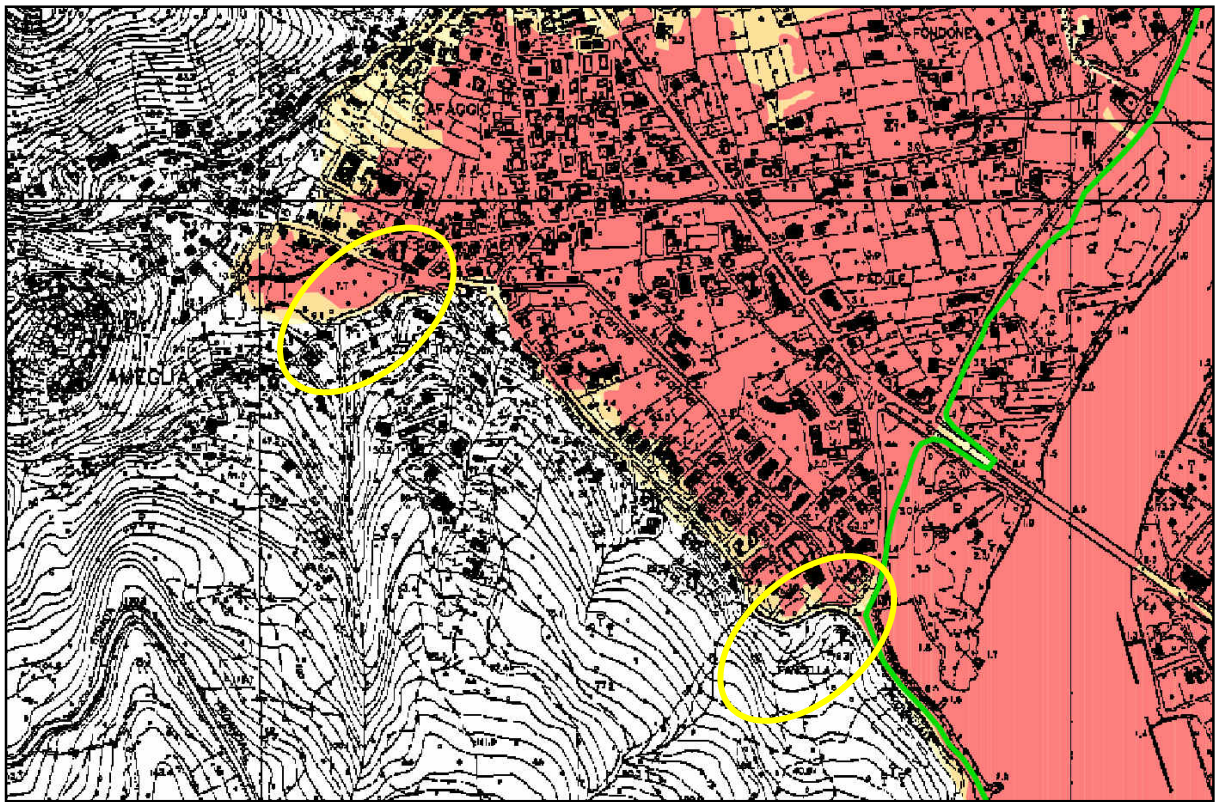
Ciclo Sedimentario Medio -Triassico

STRALCIO DELLA CARTA DEL RIETICOLO IDROGRAFICO





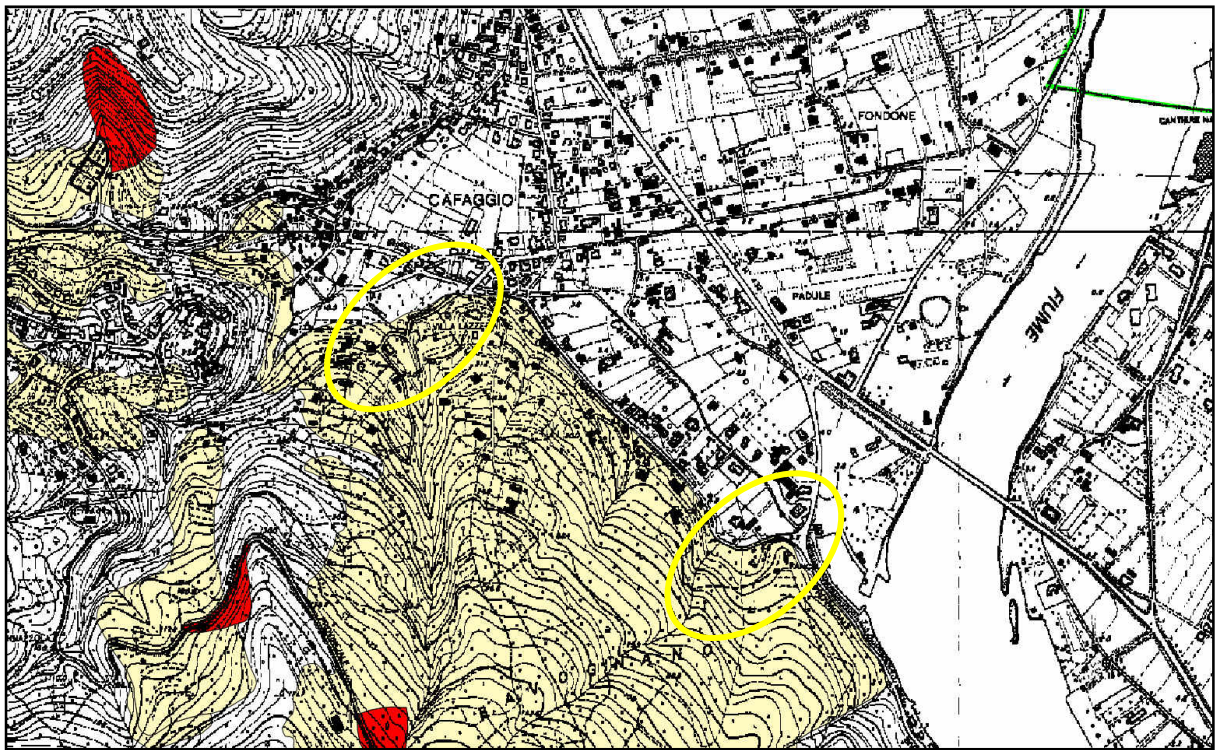
STRALCIO DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA



Legenda

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata - elevata (aree inondabili per Tr=30 anni)
- Aree a pericolosità idraulica media (aree inondabili per Tr=200 anni)
- Aree a pericolosità idraulica bassa (aree inondabili per Tr=500 anni)
- Aree a pericolosità idraulica bassa (aree difese da interventi di sistemazione idraulica)
- Aree a criticità idraulica non studiate (aree storicamente inondate)
- Fascia di riassetto fluviale
- Zone di approfondimento (zone in cui si rendono necessari studi di maggior dettaglio)

STRALCIO DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA



LEGENDA

Limite di bacino

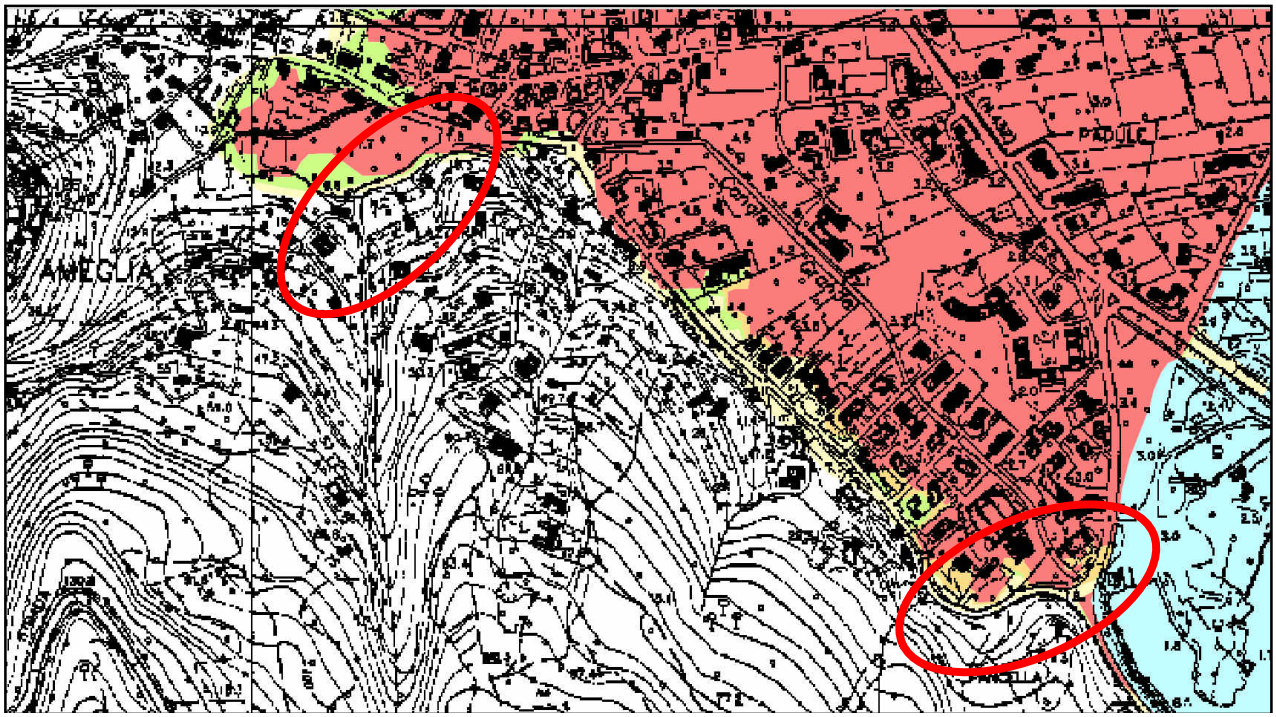
Limiti comunali

PG4 Pericolosità geomorfologica molto elevata
(frane attive e zone di pertinenza)

PG3 Pericolosità geomorfologica elevata
(frane quiescenti e zone di pertinenza, coltri detritiche potenti assimilabili)

PG2 Pericolosità geomorfologica media
(frane inattive e zone di pertinenza, aree in dissesto artificialmente stabilizzate, DGPV, coltri detritiche, coni alluvionali, detrito di falda, aree interessate da ruscellamento diffuso)

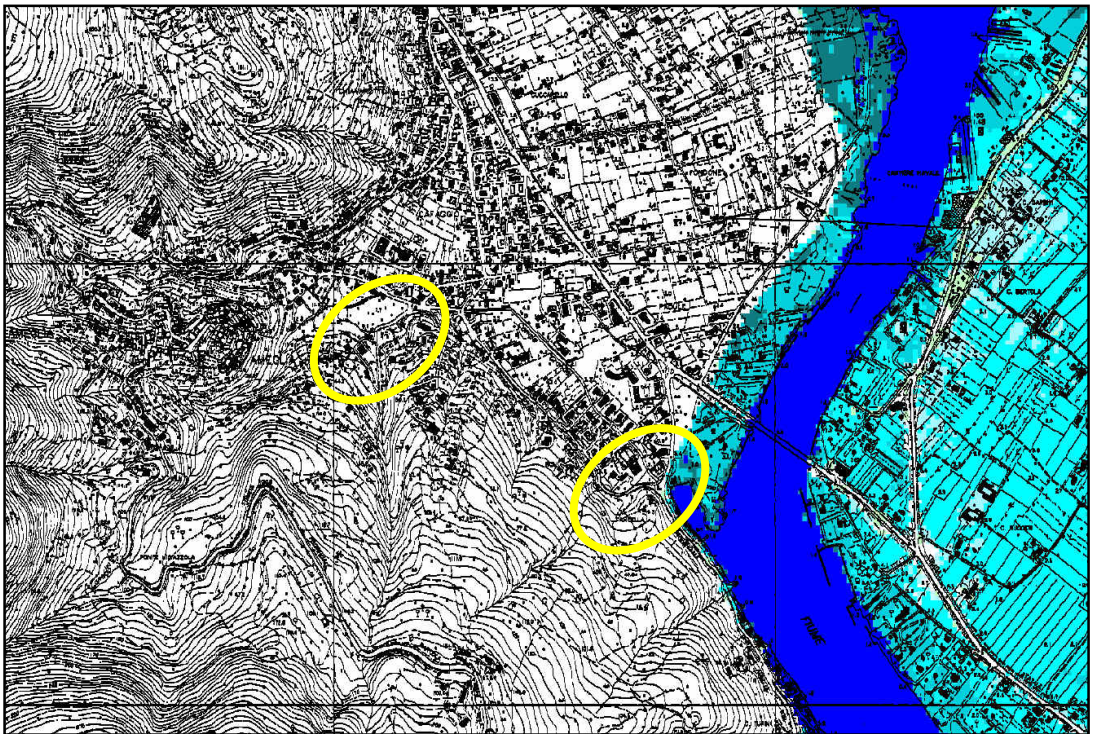
CARTA DEGLI AMBITI NORMATIVI DELLE AREE INONDABILI



Legenda

- ambito PI4A - Aree inondabili per T=30 anni
- ambito PI3A - Aree inondabili per T=200 anni a maggiore pericolosità relativa
- ambito PI3B - Aree inondabili per T=200 anni a minore pericolosità relativa
- ambito PI2 - Aree inondabili per T=500 anni
- Aree a criticità idraulica non studiate (aree storicamente inondate)
- Fascia di riassetto fluviale

CARTA DEI BATTENTI IDRICI MASSIMI FIUME MAGRA



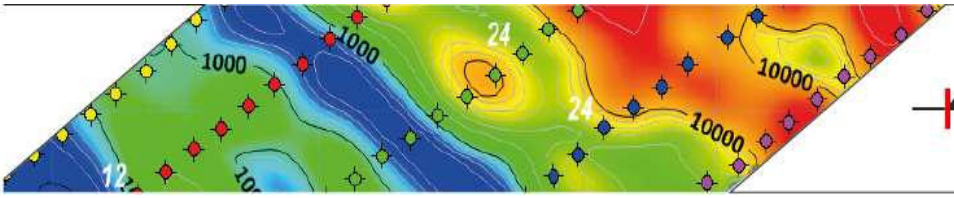
LEGENDA

- battente idrico inferiore a 0.40 m
- battente idrico compreso tra 0.41 m e 0.60 m
- battente idrico compreso tra 0.61 m e 1.00 m
- battente idrico superiore a 1.00 m


Ubicazione sito Via Maestà
S3
S2
S1
Legenda
MASW 2
Sondaggi geognostici
N
100 m
Google Earth


Ubicazione sito Via Pisanello
S4
Legenda
MASW 1
Sondaggio Geognostico
Google Earth
100 m
N

ALLEGATO RELAZIONE TECNICA SULLE INDAGINI



first break
Near Surface Imaging Solution

INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE PER LA DEFINIZIONE DELLE GEOMETRIE SEPOLTE E DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

Loc. Cafaggio
Comune di Ameglia
Provincia della Spezia



SOMMARIO

PREMESSA **3**
Programma indagini e ubicazione 3

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO **5**
Attrezzature, specifiche tecniche e normative di riferimento 5
Macchine e attrezzature di perforazione 5
Conservazione delle cassette catalogatrici 5

STRATIGRAFIE **6**

GEOFISICA **17**
Linee sismiche 17
Sismica a rifrazione ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Strumentazione ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Sismografo ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Sorgente onde sismiche ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Processing ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Metodi tradizionali ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Elaborazione tomografica ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Risultati indagini ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
Sismica ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ..... ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

ALLEGATI **22**

Premessa

Allo scopo di caratterizzare i terreni di fondazione dal punti di vista geotecnico e granulometrico e sismico sono state commissionate una serie di indagini, sondaggi e sismica, su due differenti siti entrambi di affluenti del canal Canal Grande in loc. Cafaggio. Secondo quanto previsto dal programma indagini concordato con i progettisti incaricati, sono state realizzate le seguenti indagini:

- n.4 Sondaggi geognostici a profondità variabile;
- n.2 Linee sismiche con tecnica MASW

Questo documento costituisce la relazione tecnica redatta a supporto della relazione geologica e riporta la descrizione delle attività svolte in cantiere, le specifiche tecniche delle attrezzature impiegate, i dati di campagna ed i risultati delle prove eseguite in sito. Le attività di cantiere si sono svolte in conformità alle specifiche tecniche pervenuteci dalla direzione dei lavori.

Programma indagini e ubicazione

I due siti di indagini si collocano nella porzione basale del sistema collinare nel comune di Ameglia, in prossimità del sistema di drenaggio che confluisce nel Canal Grande, in località Cafaggio nel comune di Ameglia Fig. 1.

Di seguito viene riportata una generale ubicazione delle indagini eseguite (Fig. 2) mentre le indagini saranno poi descritte nei singoli capitoli dedicati

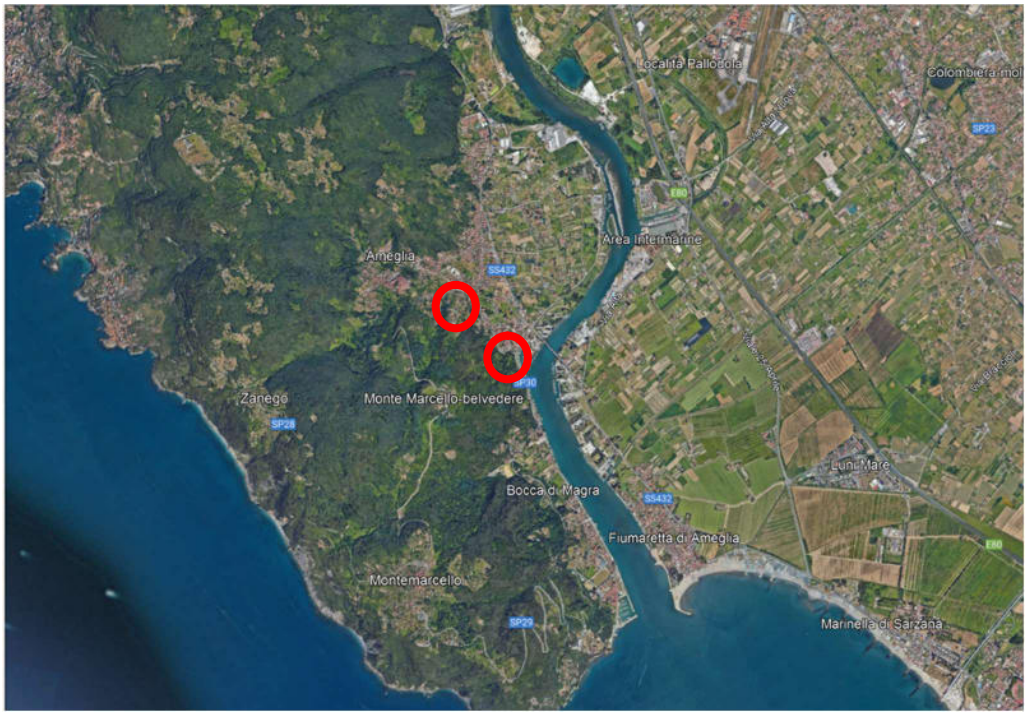


Fig. 1 Vista aerea del sito di indagine. Ripresa satellitare da Google Earth.



Fig. 2 Ubicazione delle indagini eseguite

Sondaggio a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati eseguiti a carotaggio continuo, prevalentemente con l'uso di carotiere semplice del diametro 101 mm. Durante le operazioni di carotaggio i fori sono stati completamente rivestiti con tubi in acciaio del diametro di 127 mm.

L'analisi delle carote estratte ha consentito un'accurata ricostruzione della colonna stratigrafica sulla verticale di sondaggio. La stratigrafia e la descrizione del materiale carotato è riportata nei paragrafi successivi.

In ogni sondaggio sono state realizzate SPT in foro, come da specifiche tecniche e come richiesto dalla committenza. La sintesi di quanto realizzato è riportata nelle tabelle successive.

SONDAGGIO.	PERFORATRICE	GEOLOGO	PROFONDITÀ	PERFORAZIONE	FORO ATTREZZATO
S1	Pacchiosi 1000	Dott. Geol. Doriano Caputo	8.00 m.	Carotaggio continuo	----------
S2	Pacchiosi 1000	Dott. Geol. Doriano Caputo	1.80 m.	Carotaggio continuo	----------
S3	Pacchiosi 1000	Dott. Geol. Doriano Caputo	8.00 m.	Carotaggio continuo	----------
S4	Pacchiosi 1000	Dott. Geol. Doriano Caputo	8.00 m.	Carotaggio continuo	----------

Tab. 1 Tabella riepilogativo dei sondaggi eseguiti presso il sito

Attrezzature, specifiche tecniche e normative di riferimento

Macchine e attrezzature di perforazione

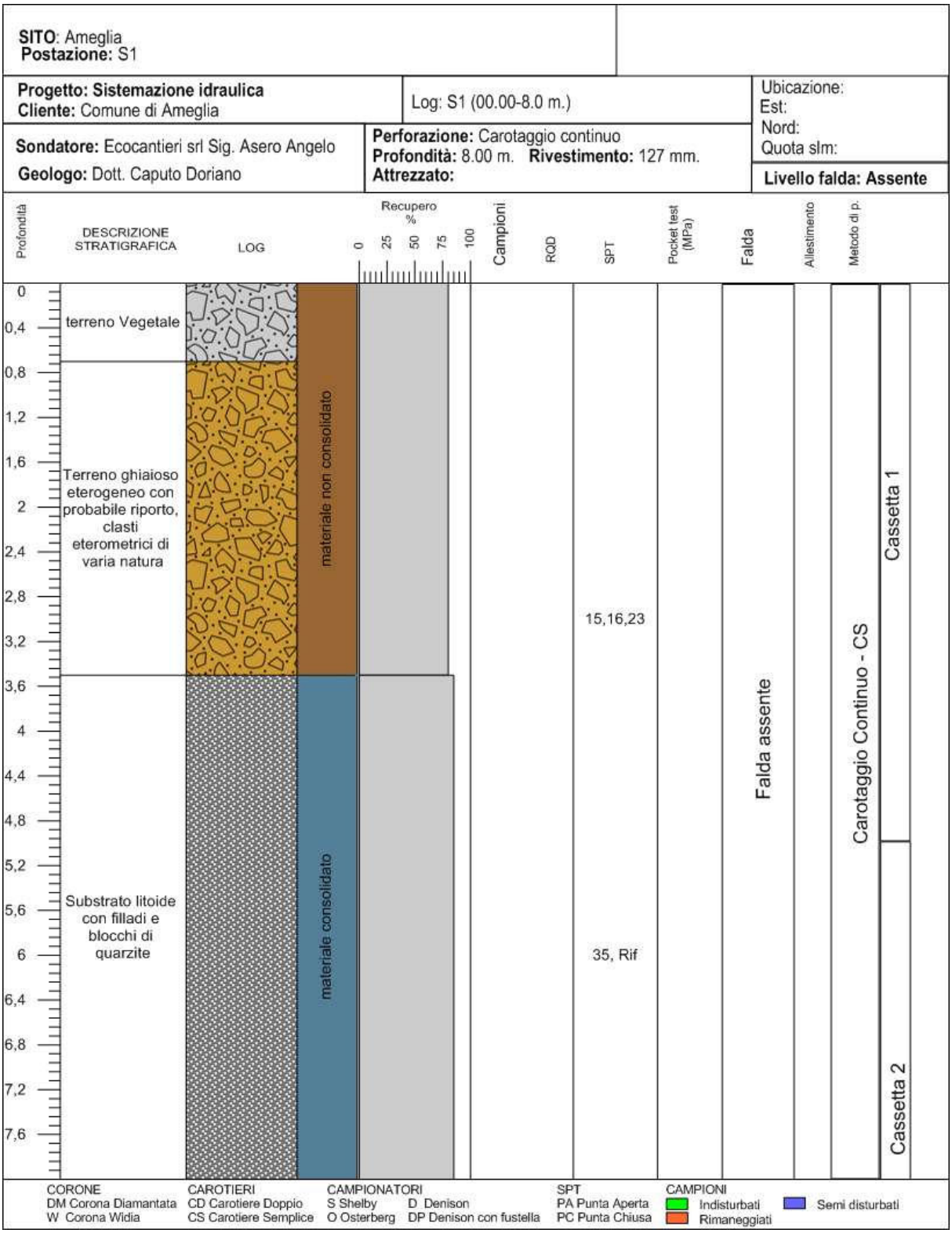
Il foro di sondaggio è stato realizzato con perforatrice idraulica cingolata a testa rotante (*rotary drill*) modello **Pacchiosi 1000**,.
A corredo della strumentazione di perforazione si sono utilizzati le seguenti attrezzature:

- *rivestimenti Ø 127 mm lunghezza utile 1500 mm e 3000 mm;*
- *rivestimenti Ø 152 mm lunghezza utile 1500 mm;*
- *batteria aste di perforazione Ø76 mm lunghezza utile di 1500 e 3000 mm;*
- *fluido di perforazione: acqua in circolazione diretta.*

Conservazione delle cassette catalogatrici

Come da indicazioni della Committenza, al termine delle attività di perforazione, le cassette catalogatrici, opportunamente chiuse con i coperchi, sono state ordinate e conservate presso il sito di indagine, come indicato dalla committenza, a disposizione per futuri visionamenti.

Stratigrafie




S.RAGGI - 0-5m



SITO: Ameglia
Postazione: S2

Progetto: Sistemazione idraulica
Cliente: Comune di Ameglia

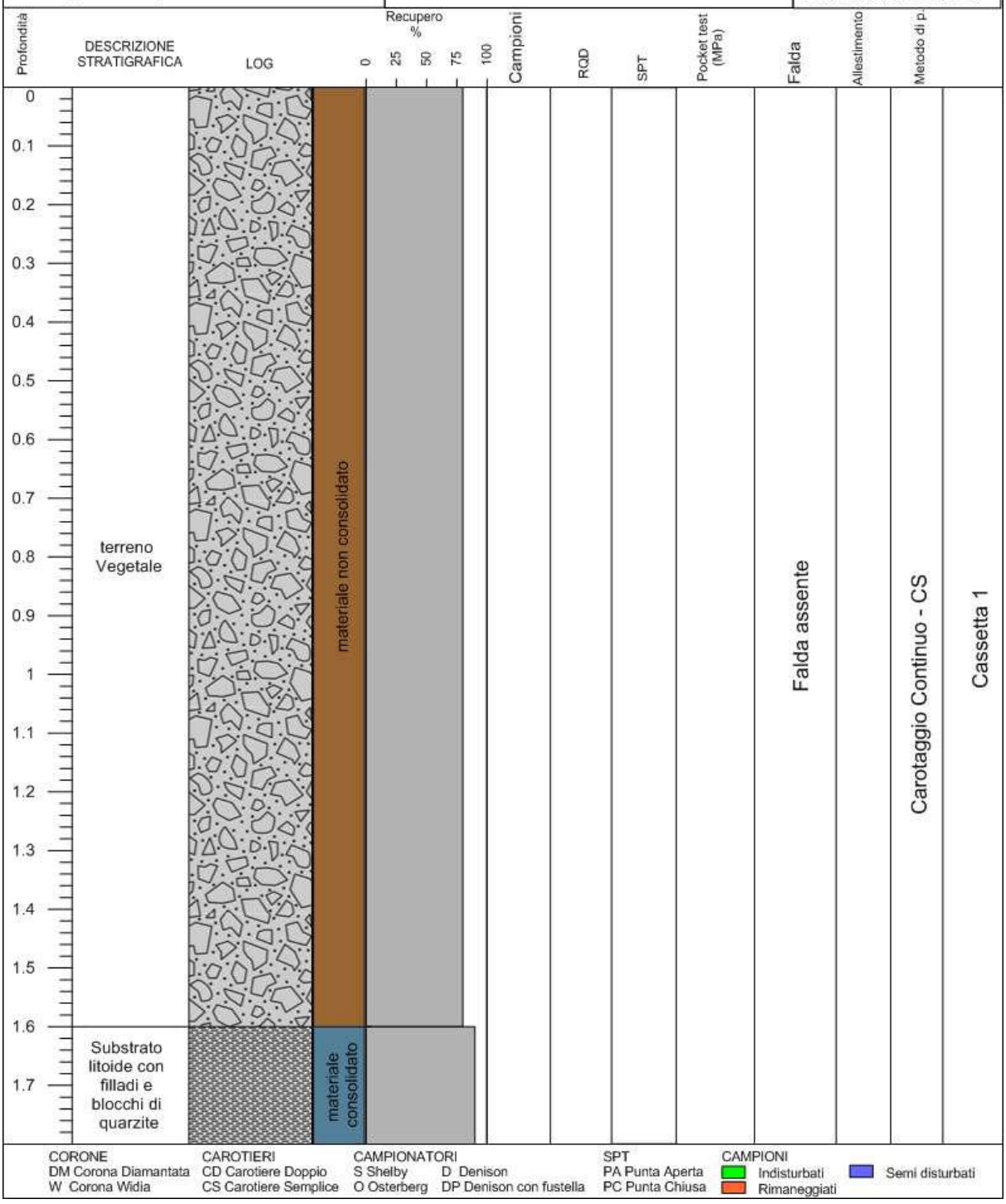
Log: S2 (00.00-1.80 m.)

Ubicazione:
Est:
Nord:
Quota slm:

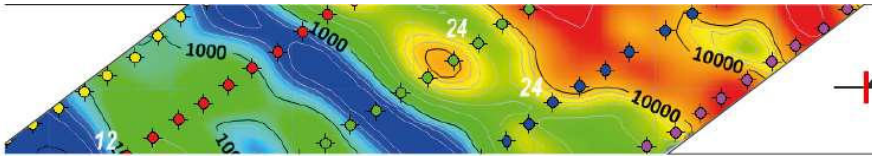
Sondatore: Ecocantieri srl Sig. Asero Angelo
Geologo: Dott. Caputo Doriano

Perforazione: Carotaggio continuo
Profondità: 1.80 m. **Rivestimento:** 127 mm.
Attrezzato:

Livello falda: Assente







SITO: Ameglia
Postazione: S3

Progetto: Sistemazione idraulica
Cliente: Comune di Ameglia

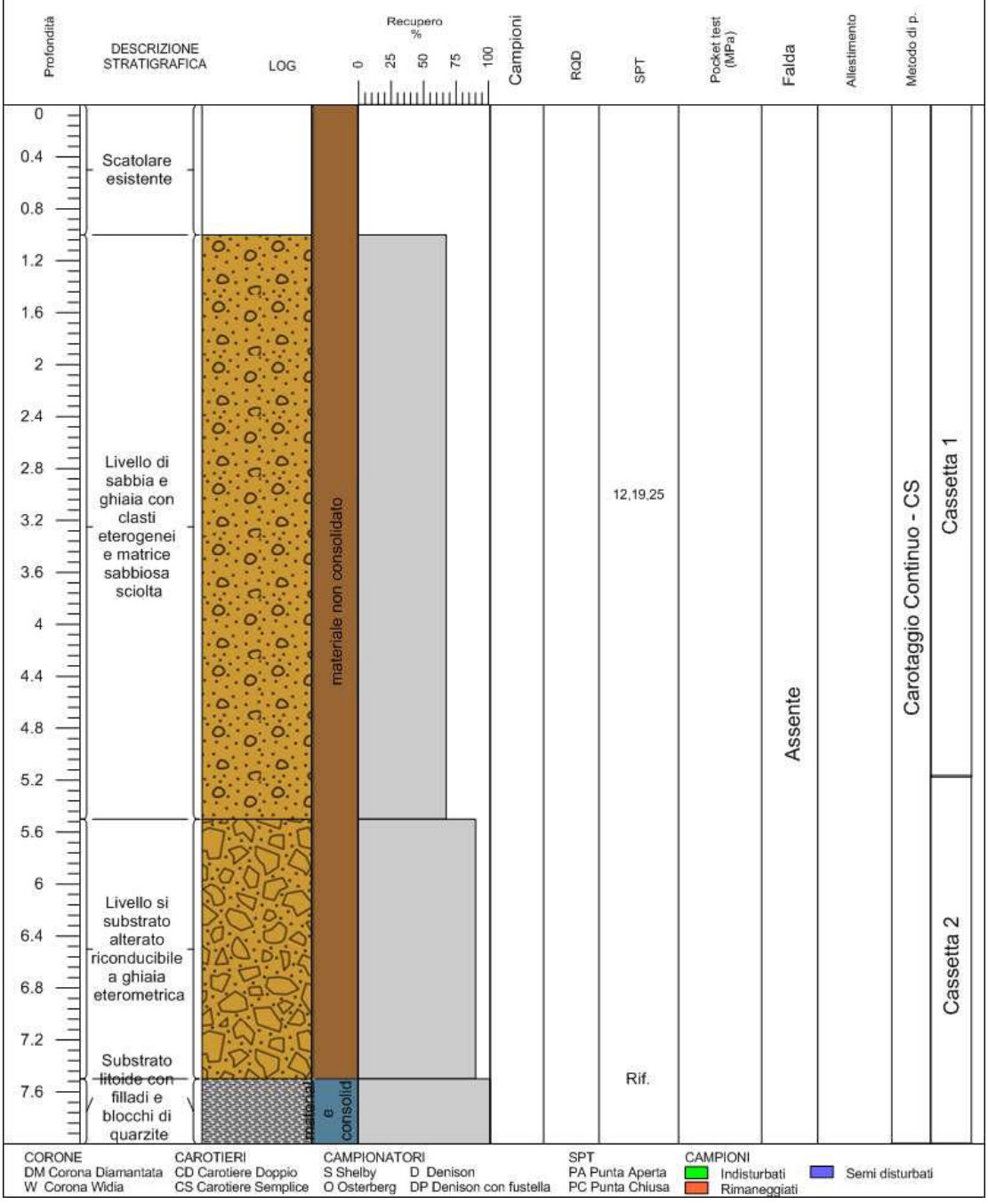
Log: S3 (00.00-8.00 m.)

Ubicazione:
Est:
Nord:
Quota slm:

Sondatore: Ecocantieri srl Sig. Asero Angelo
Geologo: Dott. Caputo Doriano

Perforazione: Carotaggio continuo
Profondità: 8.00 m. **Rivestimento:** 127 mm.
Attrezzato:

Livello falda: Assente



CORONE
DM Corona Diamantata
W Corona Widia

CAROTIERI
CD Carotiere Doppio
CS Carotiere Semplice

CAMPIONATORI
S Shelby
O Osterberg
D Denison
DP Denison con fustella

SPT
PA Punta Aperta
PC Punta Chiusa

CAMPIONI
Indisturbati
Rimaneggiati
Semi disturbati


S3 - 0 5m STRADA PARCHEG


S3 - 5 - 10m STRADA - PARCHEG



SITO: Ameglia
Postazione: S4

Progetto: Sistemazione idraulica
Cliente: Comune di Ameglia

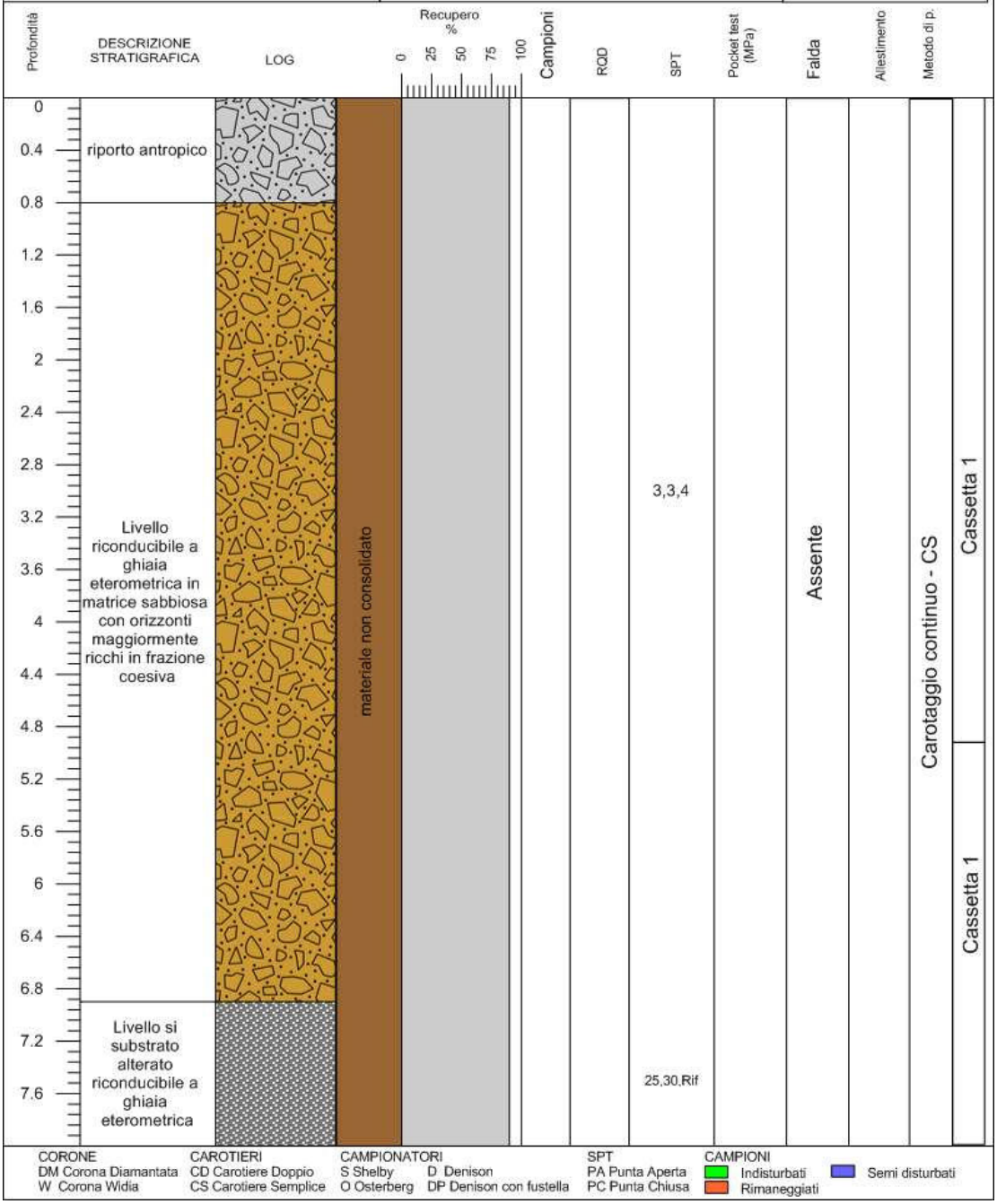
Log: S4 (00.00-8.0 m.)

Ubicazione:
Est:
Nord:
Quota slm:

Sondatore: Ecocantieri srl Sig. Asero Angelo
Geologo: Dott. Caputo Doriano

Perforazione: Carotaggio continuo
Profondità: 8.00 m. **Rivestimento:** 127 mm.
Attrezzato:

Livello falda: Assente




S1-0-5m


S1-5-8m

Elaborazione SPT

SPT S1

	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT5	SPT6	SPT7	SPT8	SPT9	SPT10
quota dal p.c. (m)	3.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
falda	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	39	85								
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)										
R.B.S.	39.2	50.7								
J.N.R.	38.7	52.5								
De Mello	32.7	35.4								
Owasaki & Iwasaki	42.9	56.2								
Sowers	38.9	51.8								
Peck Hanson & Thornburn	38.1	51.0								
Meyerhof										
Hatanaka & Uchida	44.5	56.2								
Wolff	38.0	48.7								
Schmertmann (DR)										
DENSITA' RELATIVA (%)										
Gibbs & Holtz	110	123								
Meyerhof	121	142								
Schultze & Menzebach	120	137								
Bazaraa	81	98								
Skempton										
Marcuson & Bieganousky										
Cubrinowski & Ishihara										
MODULO ELASTICO [Young] (MPa)										
D'Appolonia *et al*										
Tornaghi *et al*	43.7	64.5								
Jambu										
Schmertmann										
Schultz & Menzebach	/	/								
Webb										
Jamiolkowski *et al* [E25]										
MODULO EDOMETRICO (MPa)										
Farrent	27.1	59.1								
Menzebach & Malcev										

SPT S3

	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT5	SPT6	SPT7	SPT8	SPT9	SPT10
quota dal p.c. (m)	3.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
falda	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	44	100								
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)										
R.B.S.	40.7	53.7								
J.N.R.	40.2	57.0								
De Mello	33.2	36.1								
Owasaki & Iwasaki	44.7	59.7								
Sowers	40.3	56.0								
Peck Hanson & Thormburn	39.5	55.2								
Meyerhof										
Hatanaka & Uchida	46.0	59.2								
Wolff	39.3	51.7								
Schmertmann (DR)										
DENSITA' RELATIVA (%)										
Gibbs & Holtz	115	137								
Meyerhof	128	167								
Schultze & Menzebach	127	160								
Bazaraa	86	110								
Skempton										
Marcuson & Bieganousky										
Cubrinowski & Ishihara										
MODULO ELASTICO [Young] (MPa)										
D'Appolonia *et al*										
Tornaghi *et al*	46.4	70.0								
Jambu										
Schmertmann										
Schultz & Menzebach	/	/								
Webb										
Jamiolkowski *et al* [E25]										
MODULO EDOMETRICO (MPa)										
Farrent	30.6	69.6								
Menzebach & Malcev										

SPT S4

	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT5	SPT6	SPT7	SPT8	SPT9	SPT10
quota dal p.c. (m)	3.00	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
falda	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	7	80								
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)										
R.B.S.	25.2	49.6								
J.N.R.	29.1	51.0								
De Mello	26.4	35.6								
Owasaki & Iwasaki	26.8	55.0								
Sowers	30.0	50.4								
Peck Hanson & Thormburn	29.2	49.6								
Meyerhof										
Hatanaka & Uchida	30.4	55.1								
Wolff	29.2	47.6								
Schmertmann (DR)										
DENSITA' RELATIVA (%)										
Gibbs & Holtz	60	130								
Meyerhof	64	213								
Schultze & Menzebach	93	272								
Bazaraa	53	174								
Skempton										
Marcuson & Bieganousky										
Cubrinowski & Ishihara										
MODULO ELASTICO [Young] (MPa)										
D'Appolonia *et al*										
Tornaghi *et al*	18.5	62.6								
Jambu										
Schmertmann										
Schultz & Menzebach	11.1	48.8								
Webb										
Jamiolkowski *et al* [E25]										
MODULO EDOMETRICO (MPa)										
Farrent	4.9	55.7								
Menzebach & Malcev										

Geofisica

Linee sismiche

L'elenco completo delle indagini sismiche eseguite è riportato nella tabella successiva (Tab. 2). In essa vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione, mentre i risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l'analisi di dettaglio delle singole stese. Posizione e orientazione di tutti gli stendimenti, riportati in figura seguente (Fig. 2Fig. 2), sono stati concordati anche con il tecnica progettista

Linea	Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Shots	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
MASW 1	60 m	Verticali 12	Onde Rayleigh	5.00 m	1	Mazza 8 Kg siu piastra	1500 ms	250.0 µs - 4000Hz
MASW 1	60 m	Verticali 12	Onde Rayleigh	5.00 m	1	Mazza 8 Kg siu piastra	1500 ms	250.0 µs - 4000Hz

Tab. 2 Elenco delle linee sismiche realizzate e relative caratteristiche geometrie e parametri di acquisizione.

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

I metodi di *Multichannel Analysis of Surface Waves*, meglio noti con l'acronimo MASW, particolarmente apprezzati per la loro non invasività e praticità di esecuzione rispetto ad altri metodi sismici, negli ultimi 20 anni hanno riscosso una sempre maggiore attenzione in ambito geotecnico e ingegneristico, fino a diventare ormai di largo uso per la determinazione di modelli monodimensionali della velocità delle onde di taglio.

Diversamente dalle onde di volume, la cui velocità non dipende dalla frequenza, per le onde di superficie non esiste "una" velocità di propagazione ma ogni frequenza è caratterizzata da una propria velocità. Questo comportamento definito *dispersione in frequenza* è fortemente controllato dalle caratteristiche del mezzo in cui la propagazione avviene. Maggiore l'eterogeneità tra gli strati presenti, maggiore la dispersività del mezzo. All'estremo opposto, un mezzo omogeneo è invece poco dispersivo, o addirittura non dispersivo nel caso limite di un mezzo omogeneo e isotropo.

L'energia legata alle onde di superficie decade esponenzialmente allontanandosi dalla superficie stessa, e la trattazione matematica dimostra che il moto indotto alle particelle dal passaggio dell'onda è confinato in profondità non oltre una lunghezza d'onda. È chiaro quindi come al variare delle caratteristiche elastiche con la profondità, si abbiano ripercussioni sullo spettro di velocità ed è questo il principio alla base dei metodi MASW. Lunghezze d'onda minori sono condizionate solo dalle porzioni di terreno più prossime alla superficie, mentre lunghezze d'onda maggiori (o basse frequenze), penetrando il terreno più in profondità risentono anche di quanto si trova in basso nella colonna sismo-stratigrafica. Ne segue che la forma dello spettro di dispersione è una rappresentazione indiretta del sottosuolo, in cui il dominio delle alte frequenze è rappresentativo di quanto si trova nell'immediato sottosuolo, mentre procedendo verso le basse frequenze si collezionano informazioni a maggiore profondità.

Metodi di analisi

I metodi di prospezione sismica basati sulle onde di superficie adottano modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati piano paralleli sovrapposti, con caratteristiche elastiche lineari nei casi più semplici, oppure considerando il comportamento visco-elastico più realistico per i materiali naturali.

Per ogni strato si possono definire i parametri principali che controllano la propagazione dell'energia elastica: spessore; densità; velocità di propagazione delle onde di taglio Vs; coefficiente di Poisson; fattore di qualità (Q). A partire da questi è possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde superficiali, definendo in questo modo il *problema diretto* che, note le caratteristiche del terreno, permette di descrivere la dispersione. Nei metodi geofisici occorre invece affrontare il *problema inverso*, ossia, partendo dal dato sperimentale, si deve risalire al modello del terreno descrivendolo attraverso i parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere sintetizzata nelle tre seguenti fasi principali:

1. **Acquisizione dati e controllo qualità (QC):** registrazione (dominio del tempo) e osservazione dei dati sismici (dominio delle frequenze) per un intervallo sufficientemente ampio in termini sia di tempo (il ventaglio dispersivo deve essere interamente contenuto nel sismogramma), sia di frequenze (tipicamente 4.5÷60 Hz);
2. ***Signal processing***: trattamento dei dati attraverso trasformata di Fourier, filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione espresse come velocità di fase o gruppo in funzione della frequenza (spettro velocità di fase/frequenza);
3. **Processing/Inversione:** elaborazione del profilo monodimensionale di V_S mediante definizione di uno spazio di ricerca ottenuto iteravamente per modellazione diretta e affinamento mediante inversione numerica.

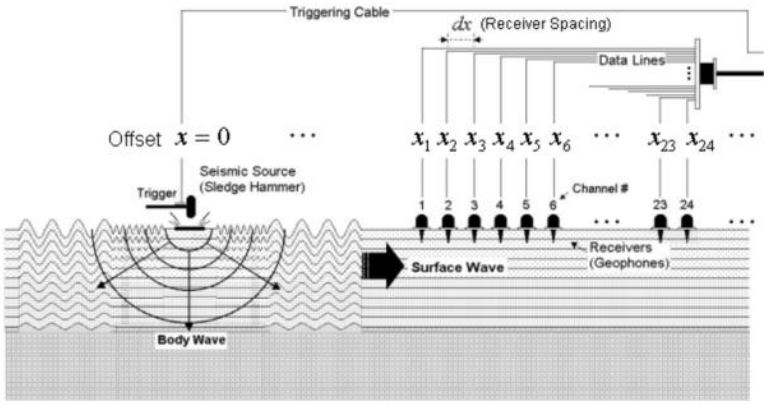


Fig. 3 Schema di propagazione delle onde di superficie e sistema di registrazione.

Come tutti i metodi geofisici, anche in questo caso la ricerca della soluzione del problema inverso è sottodimensionata. Una data curva/spettro di dispersione può essere quindi soddisfatta da "n" soluzioni dove per soluzione si intende in questo caso il log sismo-stratigrafico composto di coppie spessore-velocità per ciascuno strato.

Esistono in letteratura numerosi metodi di inversione (Monte Carlo, minimi quadrati, algoritmi genetici, etc.), nessuno dei quali è però in grado di garantire la congruità della soluzione. Ragione per cui le tecniche più evolute, ormai adottate anche da alcuni *softwares* commerciali, hanno abbandonato l'approccio acritico puramente matematico in favore di un *processing* ragionato che attraverso la definizione di vincoli geologici prevede la preliminare definizione di uno spazio di ricerca quanto più ristretto possibile, che può essere spinto fino alla definizione del modello finale o affinato mediante inversione numerica.

Acquisizione dati

L'acquisizione di un set di dati per l'indagine MASW si esegue mediante uno stendimento di sensori, solitamente da 12 a 24 velocimetri con frequenza caratteristica di 4.5 Hz, rigorosamente allineati con la sorgente. Distanza intergeofonica ed *offset* minimo vengono in genere definiti in base al contesto geologico ed alle condizioni logistiche. In generale, dispositivi geofonici con lunghezze di 50÷70 m e due o tre punti di energizzazione posti a distanze comprese tra 5.0 e 15.0 metri dal primo ricevitore, consentono una buona definizione degli spettri di frequenza in quasi tutte le condizioni. Terreni particolarmente lenti possono necessitare di stendimenti di maggiore lunghezza affinché la profondità di esplorazione raggiunga il *target* richiesto, o l'abbinamento di qualche tecnica passiva (es, ESAC o MAAM, tralasciando l'ormai obsoleta REMI), per definire adeguatamente la porzione bassa dello spettro. Stendimenti di lunghezze inferiori a 45-50m portano solitamente ad un deterioramento della qualità dello spettro alle basse frequenze per campionamento spaziale insufficiente, e sono generalmente da evitare.

Sorgenti onde sismiche e ricevitori

La generazione delle onde di superficie avviene mediante idonei strumenti utili ad enfatizzare le diverse tipologie di perturbazione elastica desiderata. Nel caso delle onde di Rayleigh l'onda viene generata percuotendo verticalmente il terreno con una mazza da 5-8kg. Si ricorre al fucile sismico o ad un grave in caduta in caso di terreni particolarmente scadenti. Un trave in legno ben accoppiato con il terreno e colpito lateralmente con una mazza da 5-8kg o un pendolo di massa superiore, consente invece di generare le onde di Love.

In funzione del tipo di componente che si desidera registrare è necessario adottare i sensori opportuni. Come già detto i ricevitori impiegati sono solitamente velocimetri (geofoni) a frequenza caratteristica di 4.5Hz, essendo questo il miglior compromesso tra capacità risolutiva, costi ed ergonomicità. Geofoni verticali consentono la registrazione della componente verticale delle Rayleigh. Mentre le onde di Love, e la componente orizzontale delle Rayleigh, si registrano con geofoni ad asse orizzontale perpendicolare alla direzione della linea sismica le onde di Love, parallelo alla linea e allineato con la sorgente se si registra la componente orizzontale delle Rayleigh.

Strumentazione

Sismografo

L'apparecchiatura d'indagine, per l'esecuzione di indagini sismiche a rifrazione è costituita da: sismografo **Seismic Source**, Modello **DAQLink III**, 24 canali, con risoluzione di acquisizione a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *Conversion A/D: convertitori sigma delta ad alta velocità a 24 bit;*
- *Rumore di fondo: 0.2 microVolt RMS (a 2 msec);*
- *Precisione trigger: +/- 1 microsecondo a qualsiasi frequenza di campionamento;*
- *Intervallo di campionamento: da 0.0208 a 16,0 millisecondi;*
- *Frequenza di campionamento: da 48.000 a 62.5 campioni/secondo;*

L'attrezzatura per prove sismiche è completata da:

- *1 set di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz;*
- *1 set di 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz;*
- *2 coppie di cavi sismici, passo 5,0 m, dotati ognuno di 12 take out.*

Manutenzioni e tarature

Per garantire il corretto stato di efficienza degli strumenti utilizzati, si attua un piano di manutenzione e taratura. Modalità e tempistiche generali sono definite in base alle indicazione delle case di produzione, ma possono variare in funzione della frequenza di utilizzo. La strumentazione impiegata per le indagini sismiche viene inviata almeno una volta ogni due anni, alla casa costruttrice per una verifica del corretto funzionamento.

Software di elaborazione

Acquisizione dati, pre-processing e processing dati sono eseguiti con i seguenti *softwares* commerciali:

1. **Vscope 2.4.81**, Seismic Source Company, ultimo aggiornamento settembre 2017
2. **Fron End Express**, Geogiga Technology Corp, ultimo aggiornamento novembre 2017.
3. **WinMASW 2018 Acd**, da Eliosoft srl, ultimo aggiornamento maggio 2018.

Dati analizzati

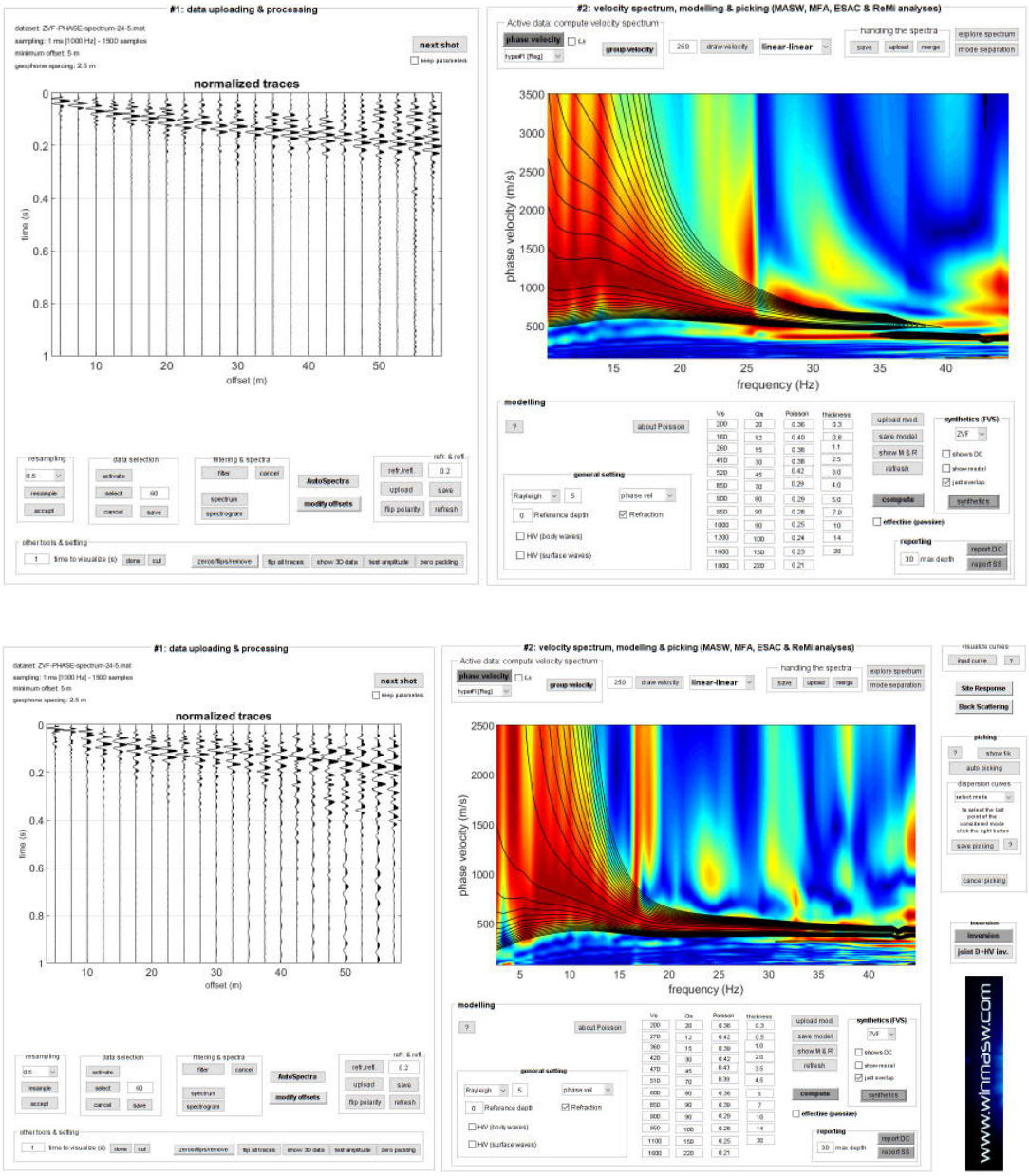


Fig. 4 spettri sintetici delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (*full velocity spectrum*) sovrapposto allo spettro sperimentale (in scala colori). La buona sovrapposizione del sintetico sullo spettro sperimentale è il presupposto fondamentale per l'affidabilità del modello sismo-stratigrafico. In ogni grafico componente verticale delle onde di Rayleigh

Acquisizioni MASW

I profili della variazione della velocità delle Onde Sh con la profondità prodotti per inversione degli spettri di dispersione sono profili a strati con velocità costante (Log monodimensionali o 1D), ottenuti attraverso modellazione prevalentemente diretta, utilizzando la modellazione numerica solo per la rifinitura del modello una volta definito uno spazio di ricerca quanto più ristretto e vincolato possibile. Infatti, a prescindere dall'approccio adottato (*single* o *multi-component*), il processo di inversione necessita sempre di un modello geologico "sensato" di riferimento (spessore degli strati e *ranges* di velocità) che definisca lo spazio di ricerca all'interno del quale andare ad individuare la soluzione "migliore".

Per i motivi esposti nelle pagine introduttive, nel caso di risultati ottenuti dalla dispersione delle sole onde di Rayleigh, in assenza di indagini dirette o altri dati di riferimento adeguati, le colonne sismo-stratigrafiche proposte hanno valore indicativo. Il valore di V_{S30} si può tuttavia considerare affidabile in quanto, per le ***n*** soluzioni "matematicamente equivalenti" che soddisfano la dispersione, può variare rispetto al valore medio proposto di un margine non superiore a ±10%. Al contrario, modelli sismo-stratigrafici ottenuti per modellazione congiunta a due (*Rayleigh+Love; Rayleigh+HVSR; Love+HVSR*) o tre componenti (*Rayleigh+Love+HVSR*), godono di una maggiore affidabilità, non richiedono necessariamente dati diretti per vincolare il modello di partenza e consentono ricostruzioni anche dettagliate delle geometrie sepolte.

Nel caso in esame, il modello sismo-stratigrafico deriva dalla modellazione della componente verticale delle onde di Rayleigh e dalle indagini ora eseguite e pregresse a disposizione nelle vicinanze del sito (Fig. 4). I dati sperimentali risultano di buona qualità. I risultati sono ottenuti esclusivamente per modellazione diretta dello spettro sintetico (FVS *inversion*). Tutti gli spettri ottenuti dalle registrazioni di campagna sono stati valutati e confrontati selezionando poi il migliore per la fase di modellazione.

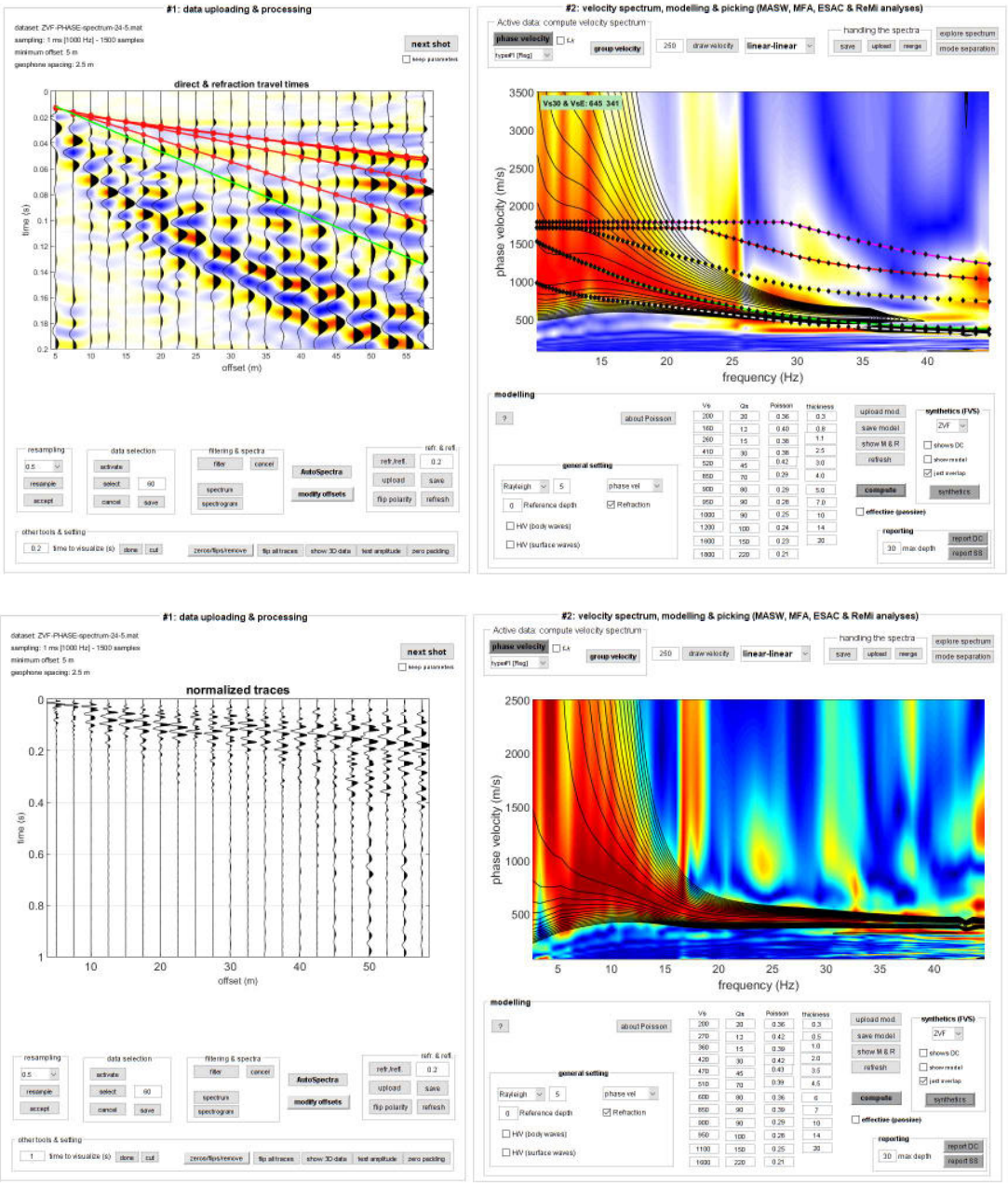


Fig. 5 common shot gather guadagnato con AGC (finestra 50ms), con proiezione dei primi arrivi rifratti relativi al modello ipotizzato; sx) rifrazione onde P su dati acquisiti con geofoni verticali ed energizzazione verticale (Vp stimata assegnando il modulo di Poisson agli strati). In ogni immagine componente verticale delle onde di Rayleigh.

Di seguito negli allegati viene esposto sia in forma tabulare, sia in forma grafica, il modello sismo-stratigrafico, utile per il calcolo del parametro V_{S30} o V_{Seq} e per la definizione della categoria di suolo. L'acquisizione è stata eseguita con geofoni verticali per la componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF). Il modello ottenuto soddisfa pertanto sia la dispersione delle onde di Rayleigh sia gli eventi rifratti (Fig. 5) osservabili sul sismogramma.

In allegato si riportano i parametri (velocità; spessori; densità; modulo di taglio dinamico e parametro V_{S30}), relativi al "modello finale" anche per profondità superiori ai 30 m da p.c. (in rosso gli strati profondi necessari per aspetti inerenti il calcolo degli spettri sintetici, ma poco vincolabili per la scarsa definizione degli spettri di dispersione alle basse frequenze), ottenuto dall'interpretazione della dispersione.

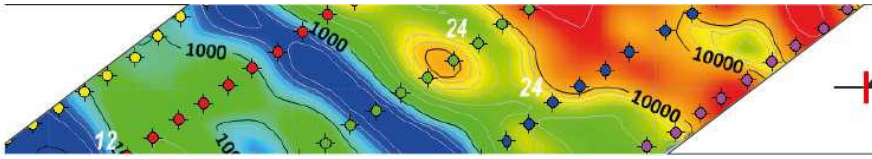
Modello sismo-stratigrafico

layer	h (m)	Vs	top	bottom	Density	Poisson	Vp	Shear M.	Young M.	Bulk M.
	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(g/cm3)	(adim.)	(m/s)	G*	E*	k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.36	428	74	200	239
2	0.8	160	0.3	1.1	1.8	0.40	392	46	128	213
3	1.1	260	1.1	2.2	1.9	0.38	591	129	356	495
4	2.5	420	2.2	4.7	2.0	0.38	955	360	993	1381
5	3.0	520	4.7	7.7	2.1	0.40	1274	568	1590	2651
6	4.0	850	7.7	11.7	2.2	0.35	1769	1611	4350	4830
7	5.0	900	11.7	16.7	2.3	0.35	1873	1823	4920	5463
8	7.0	950	16.7	23.7	2.3	0.30	1777	2040	5303	4417
9		1000	23.7		2.3	0.25	1732	2280	5700	3800
10		1200	33.7		2.3	0.20	1960	3355	8054	4477
11										
12										

layer	h (m)	Vs	top	bottom	Density	Poisson	Vp	Shear M.	Young M.	Bulk M.
	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(g/cm3)	(adim.)	(m/s)	G*	E*	k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.36	428	74	200	239
2	0.5	260	0.3	0.8	1.9	0.42	700	129	367	764
3	1.0	360	0.8	1.8	2.0	0.39	848	259	721	1093
4	2.0	420	1.8	3.8	2.0	0.39	989	360	1000	1516
5	3.0	470	3.8	6.8	2.1	0.40	1151	457	1280	2133
6	4.5	560	6.8	11.3	2.1	0.39	1319	665	1848	2802
7	5.0	600	11.3	16.3	2.1	0.34	1219	770	2065	2153
8	7.0	850	16.3	23.3	2.2	0.39	2002	1611	4479	6790
9		900	23.3		2.3	0.29	1655	1823	4702	3733
10		950	33.3		2.3	0.28	1719	2040	5222	3959
11										
12										

Tab. 3 Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Gli strati profondi (prof.>35-40m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolabili, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geologicamente plausibili escludendo quelle geologicamente improbabili. Moduli dinamici e Rapporto di Poisson: poiché il modulo di Poisson incide in piccola parte sulla forma dello spettro sintetico, è possibile includere questo parametro nella modellazione. Terreni sciolti in falda ad esempio sono un caso favorevole che consente di fissare Poisson con valori prossimi a 0.5, o la presenza di strati di sabbie che hanno solitamente valori intorno a 0.45. La densità, se non disponibile da prove di laboratorio su campioni indisturbati, può essere ottenuta mediante la relazione di Gardner et al. (1974). Per le modalità con cui si perviene alla stima di questi parametri, è implicito che il valore dei moduli dinamici da essi derivati è del tutto qualitativo. Sopra modello relativo alla MASW 1, sotto MASW 2

Il tecnico Dott. Geol. Doriano Caputo



ALLEGATI

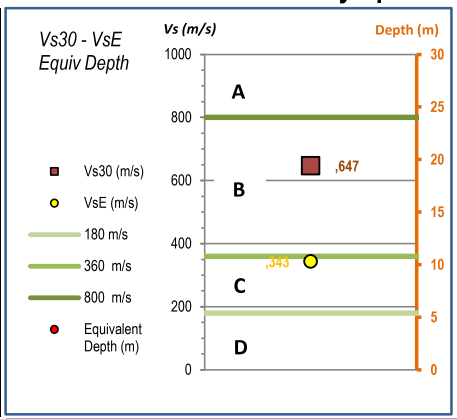
Indagine sismica:

Tavola riepilogatica indagine MASW

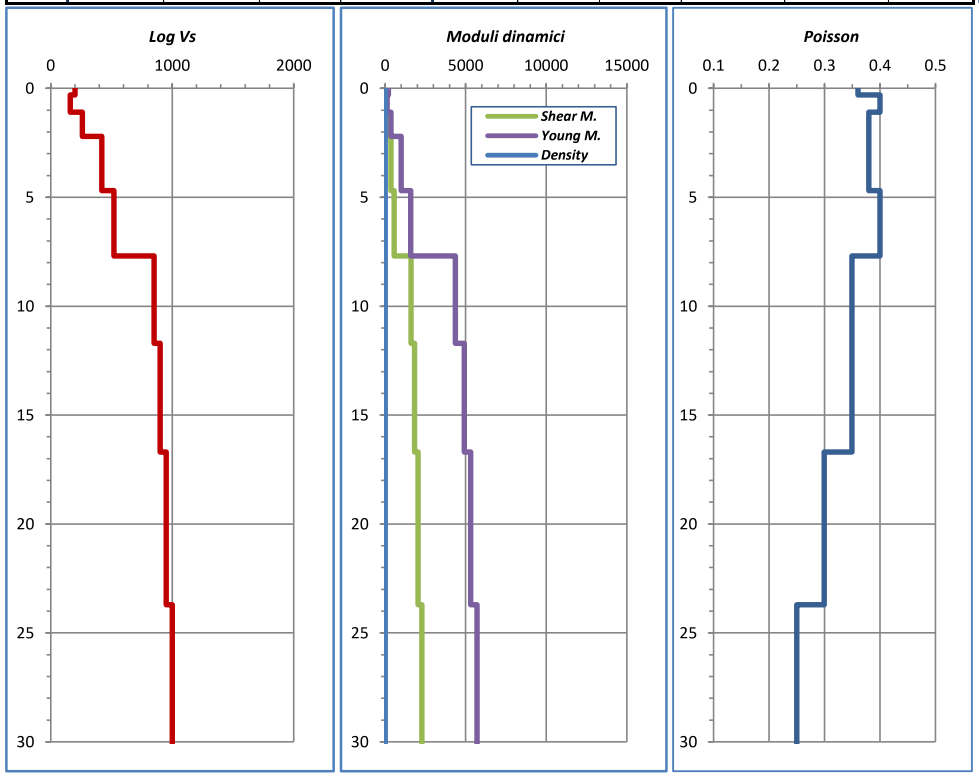

1000
1000
24
24
10000
10000

Multichannel Analysis of Surface Waves via Modellazione Full Velocity Spectrum (FVS)

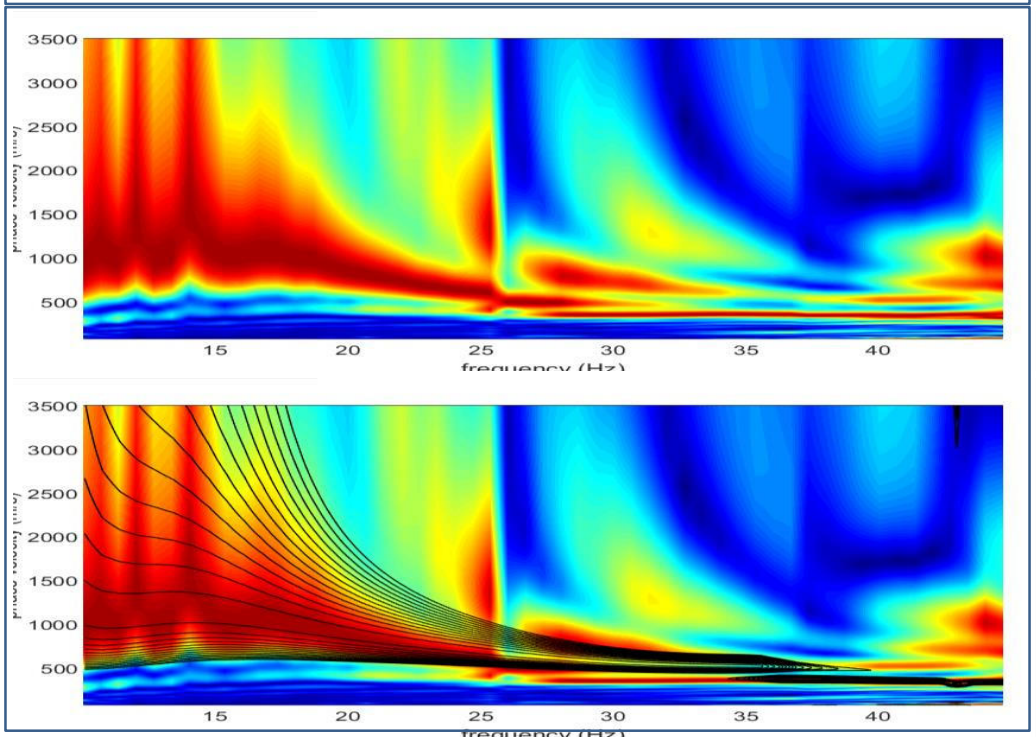
layer	h (m)	Vs	top	bottom	Density	Poisson	Vp	Shear M.	Young M.	Bulk M.
	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(g/cm3)	(adim.)	(m/s)	G*	E*	k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.36	428	74	200	239
2	0.8	160	0.3	1.1	1.8	0.40	392	46	128	213
3	1.1	260	1.1	2.2	1.9	0.38	591	129	356	495
4	2.5	420	2.2	4.7	2.0	0.38	955	360	993	1381
5	3.0	520	4.7	7.7	2.1	0.40	1274	568	1590	2651
6	4.0	850	7.7	11.7	2.2	0.35	1769	1611	4350	4830
7	5.0	900	11.7	16.7	2.3	0.35	1873	1823	4920	5463
8	7.0	950	16.7	23.7	2.3	0.30	1777	2040	5303	4417
9		1000	23.7		2.3	0.25	1732	2280	5700	3800
10		1200	33.7		2.3	0.20	1960	3355	8054	4477
11										
12										



Committente	**Caputo**
Lavoro	**Ameglia_tombature**
Ubicazione	**Ameglia**
configurazione	**ch 12; x=5; m.o.=5**
ricevitori	**geofoni freq. 4.5Hz**
sampling/decimation	**250/1000ms**
durata registrazione	**1s**
acquisizione	**ZVF**
modellazione	**Rayleigh**
metodo di analisi	**Full Velocity Spectrum (FVS)**
modello finale	**masw1.mod**



Vs30 (m/s)	**647**	*Probabile Categoria*	**E**	*Int. di profondà considerato*
VsE (m/s)	**343**	**Equivalent Depth (m)**	**7.7**	**0 ÷ 7.7**



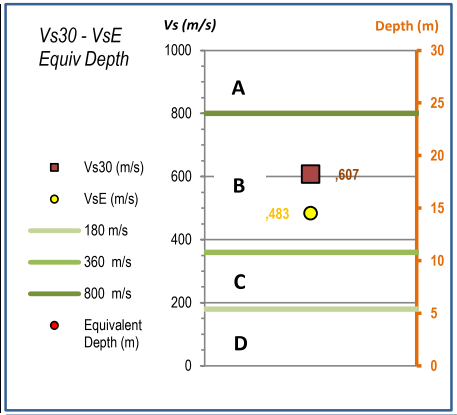
Vp e Moduli dinamici puramente indicativi

Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione Vp= 1500m/s.
Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap.* Geophysics 39, 770–780.
(*) Moduli dinamici espressi in Mpa

Confronto tra spettri sisntetici e sperimentali. Immagine superiore: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); **Immagine inferiore**: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.

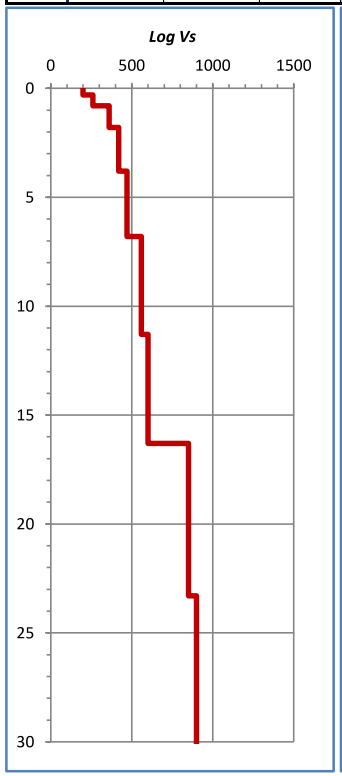
Multichannel Analysis of Surface Waves via Modellazione Full Velocity Spectrum (FVS)

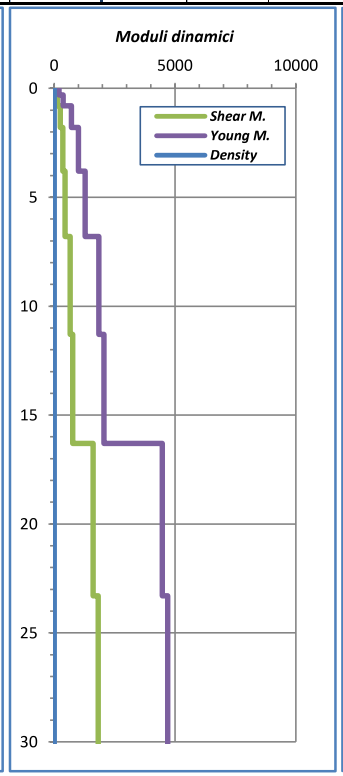
layer	h (m)	Vs	top	bottom	Density	Poisson	Vp	Shear M.	Young M.	Bulk M.
	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(g/cm3)	(adim.)	(m/s)	G*	E*	k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.36	428	74	200	239
2	0.5	260	0.3	0.8	1.9	0.42	700	129	367	764
3	1.0	360	0.8	1.8	2.0	0.39	848	259	721	1093
4	2.0	420	1.8	3.8	2.0	0.39	989	360	1000	1516
5	3.0	470	3.8	6.8	2.1	0.40	1151	457	1280	2133
6	4.5	560	6.8	11.3	2.1	0.39	1319	665	1848	2802
7	5.0	600	11.3	16.3	2.1	0.34	1219	770	2065	2153
8	7.0	850	16.3	23.3	2.2	0.39	2002	1611	4479	6790
9		900	23.3		2.3	0.29	1655	1823	4702	3733
10		950	33.3		2.3	0.28	1719	2040	5222	3959
11										
12										

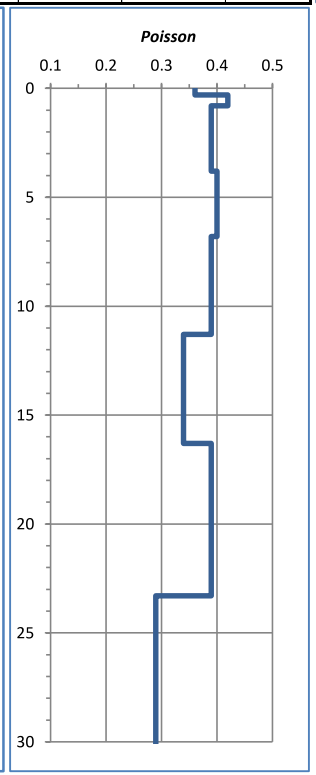


Committente **Caputo**
Lavoro **Ameglia_tombature**
Ubicazione **Ameglia_masw2**

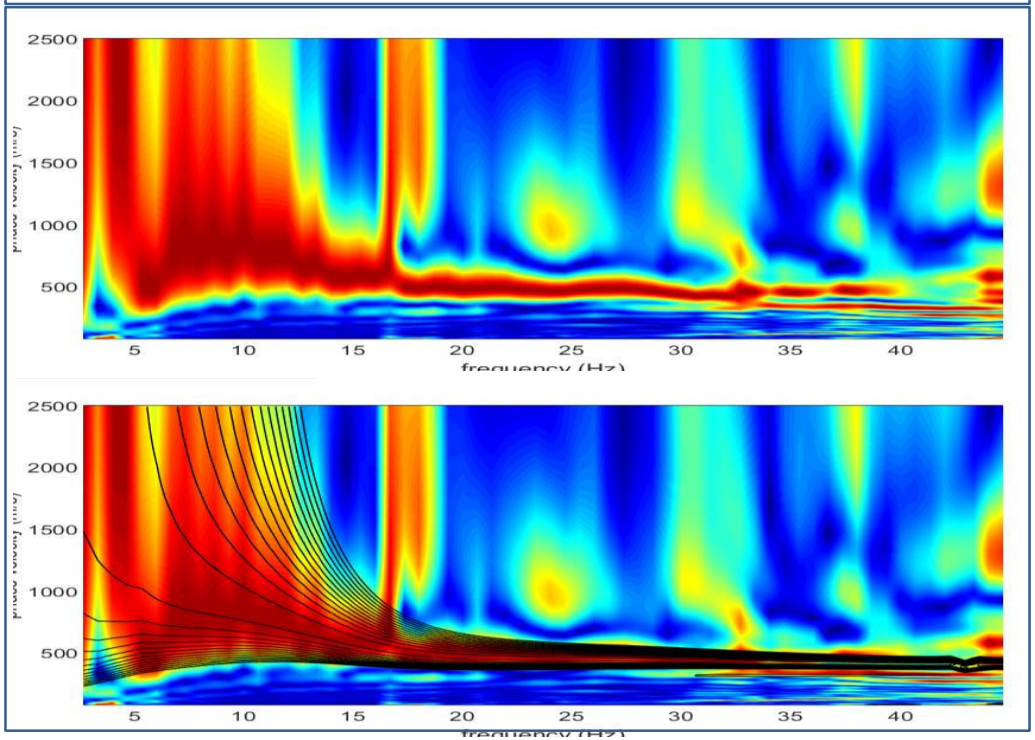
configurazione **ch 12; x=5; m.o.=5**
ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**
sampling/decimation **250/1000ms**
durata registrazione **1s**
acquisizione **ZVF**
modellazione **Rayleigh**
metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**
modello finale **masw2.mod**







Vs30 (m/s)	**607**	*Probabile Categoria*	**B**	*Int. di profondà considerato*
VsE (m/s)	**483**	**Equivalent Depth (m)**	**16.3**	**0 ÷ 16.3**



Vp e Moduli dinamici puramente indicativi

Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione Vp= 1500m/s.
Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap.* Geophysics 39, 770–780.
(*) Moduli dinamici espressi in Mpa

Confronto tra spettri sisntetici e sperimentali. Immagine superiore: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); **Immagine inferiore**: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.