Studio Tecnico TR3
Ing. Civile e Ambientale Junior Fabio Ravera
Corso G. Garibaldi, 189 - 18038 Savreno
Tel 0184 99e15 - Cell 333 1692217
E-mail: fabioravera@studiotecnicotr3.it
PEC: fabio.ravera@ingpec.eu

COMUNE DI ANDORA

PROVINCIA DI SAVONA

VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA VIA (SCREENING)

Nome progetto

INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA
DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE MERULA

Numero tavola

V17

Nome documento

Relazione geologica

Redatto da

Dott. Geol. Mauro Enotarpi



Firmato digitalmente da:
ENOTARPI MAURO
Firmato il 09/05/2025 10:53
Seriale Certificato: 2718114
Valido dal 07/09/2023 al 07/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Proponente

Blue SGR S.p.A. in nome e per conto del Fondo Andora Mare
Vicolo Santa Maria alla Porta, n. 1
20123 - Milano (MI)
P.IVA e C.F.:10219881009

Spazio per annotazioni ente

CODICE FILE	CODICE ELAB.	REVISIONE	SCALA:
COPERTINE.DWG	VABLRLG17OR	X	

REV.	DESCRIZIONE	DATA
	Emissione	29 aprile 2025
1		
2		

INDICE

1. **PREMESSA**
2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**
3. **DOCUMENTAZIONE GEOLOGICA E GEOGNOSTICA REPERITA**
4. **QUADRO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO**
5. **SISMICA**
   - **5.1 Sismicità storica, pericolosità e classificazione sismica**
   - **5.2 Faglie capaci**
   - **5.3 Microzonazione sismica**
   - **5.4 Liquefazione**
6. **STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE TERRENI**
   - **6.1 Indagini geognostiche**
   - **6.2 Stratigrafia dei terreni**
   - **6.3 Caratterizzazione geotecnica sismica terreni**
7. **VINCOLISTICA GEOLOGICA**
8. **FATTIBILITA' GEOLOGICA**
9. **CONCLUSIONI**

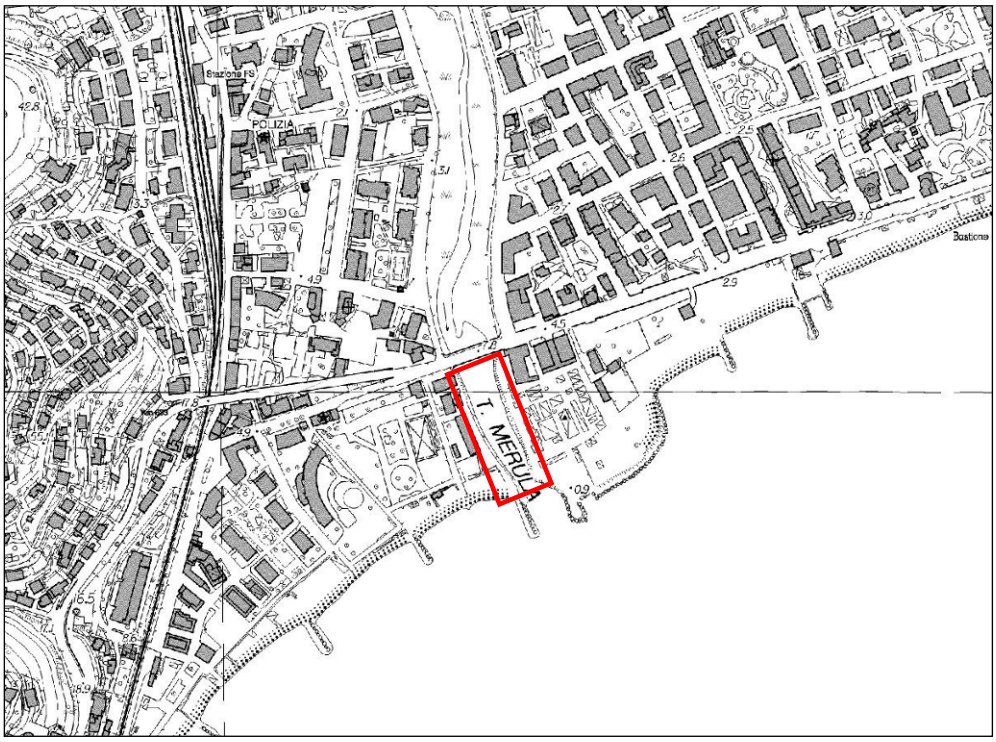
ALLEGATI:

- **Carta geologica**
- **Sezione stratigrafica 1-1**
- **Risultati indagini geognostiche**

Documento formato da n. 58 pagine, compresa la copertina

1. PREMESSA

Il progetto idraulico in esame, redatto per conto di BLUE S.G.R. S.p.A., riguarda i lavori di realizzazione degli interventi necessari alla messa in sicurezza del tratto focivo del Torrente Merula (rif. figura a seguire).



Tali interventi sono funzionali al declassamento del rischio idraulico delle adiacenti aree di proprietà in sponda sinistra dove è previsto un intervento edilizio di rigenerazione urbana.

L'intervento idraulico risulta pertanto essere il primo e significativo passo per la messa in sicurezza idraulica delle aree di proprietà oggetto della rigenerazione urbana e per rendere quindi le stesse non più inondabili da parte del Torrente Merula.

Più nel dettaglio il progetto idraulico prevede i seguenti interventi (rif. elaborati progetto idraulico e "Carta geologica" allegata alla presente relazione):

- Intervento 1: realizzazione di arginatura lungo la sponda sinistra del torrente per uno sviluppo di 110 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra;
- Intervento 2: realizzazione di arginatura lungo la sponda sinistra del torrente a valle di quella del punto precedente per uno sviluppo di 40 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra;
- Intervento 3: realizzazione di muratura intestata sulle esistenti opere di difesa spondale lungo la sponda destra del torrente per uno sviluppo di 110 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra al di fuori delle aree di proprietà.

La presente relazione illustra gli aspetti geologici s.l. del contesto in cui si inseriranno le opere spondali in progetto.

Più in particolare, nella prima parte della relazione, dopo una sintetica elencazione dei documenti geologici e geognostici di base reperiti, viene analizzato il quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area interessata dalle opere idrauliche in progetto.

A seguire, vengono poi affrontati gli aspetti delle indagini geognostiche, della stratigrafia e della caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni di fondazione.

Nell'ultima parte, dopo l'illustrazione della vincolistica geologica, viene valutata la fattibilità geologica del progetto ai sensi della normativa ad oggi vigente in materia, con particolare riferimento alle NTC2018, alla zonizzazione e norme di attuazione del "PAI dissesti" ed alla zonizzazione e norme geologiche del Piano Urbanistico Comunale (PUC).

Si rimanda invece agli elaborati del progetto idraulico per quanto riguarda le scelte e le verifiche idrauliche-geotecniche-sismiche-strutturali delle opere spondali.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il presente lavoro sono state prese a riferimento le normative nazionali e regionali vigenti tra le quali le principali sono:

- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" e successiva Circolare Applicativa
- OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 "OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"
- L.R. 22/84 e s.m.i. Legge forestale regionale vincolo idrogeologico
- D.G.R. 534 del 18.06.2021 "L.R. 21 luglio 1983 n. 29 Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale. Adozione delle Linee Guida per la Gestione del Territorio in Aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)"
- D.G.R. 535 del 18.06.2021 "L.R. 21 luglio 1983 n. 29 Adozione delle Linee Guida per la Gestione del Territorio in Aree interessate da Liquefazione (LQ) ed approvazione criteri tecnici integrativi alla D.G.R. 471/2010"

3. DOCUMENTAZIONE GEOLOGICA E GEOGNOSTICA REPERITA

Il presente lavoro è iniziato con la ricerca e raccolta del materiale bibliografico, cartografico e geognostico già esistente riguardante le caratteristiche geologiche e geotecniche della zona in esame; la documentazione reperita è servita come base sulla quale sviluppare lo studio mirato al progetto in esame.

I documenti reperiti sono:

- "Geologia delle Alpi Liguri" A.A.V.V. – Memorie della Società Geologica Italiana Volume XXVIII anno 1984
- "Il Pliocene e la neotettonica nelle Alpi Liguri" – Memoria Soc. Geol. Ital. 1984
- "Dati sulla neotettonica di parte dei fogli 102 (S.Remo) e 103 (Imperia) ed Albenga-Savona - A.Boni, P.Boni, G.F. Peloso e S.Gervasoni (1980)
- "Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria Occidentale ed influenza sui parametri di hazard" di C.Eva, P.Agugliera, E.Eva, S.Solarino, e D.Spallarossa (2000)
- Carta geologica del Progetto CARG "Foglio 259 Imperia"
- Elaborati geologici del progetto del Piano Urbanistico Comunale (PUC) di Andora (rev. 2008)
- Cartografie e Norme geologiche Piano di Bacino Torrente Merula
- Documentazione geologica con indagini geognostiche (n. 2 sondaggi a carotaggio continuo e prove di laboratorio) del progetto "Realizzazione di opera di protezione spondale alla foce del T.Merula ad Andora (SV) a firma dott. geol. P.Nosengo e e dott. geol. M.Loleo - maggio 2006
- Relazione geologico-geotecnica con indagini geognostiche (n. 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH) relativa a "Ristrutturazione di fabbricato con recupero di porticato L.R. 24/01 pratica edilizia 719/10" a firma dott. geol. V.Vezzaro - anno 2007
- Relazione geologica con indagini geognostiche (n. 3 pozzetti geognostici e n. 3 misure di rumore H/V) relativa al P.U.O. "RU1 Foce Merula Levante" a firma dott. geol. A.Scarpati – anno 2012
- Indagine sismica MASW eseguita dallo scrivente per il progetto in esame - 2022

4. QUADRO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area del progetto in esame corrisponde al tratto terminale del Torrente Merula immediatamente a valle della S.S. n. 1 Aurelia.

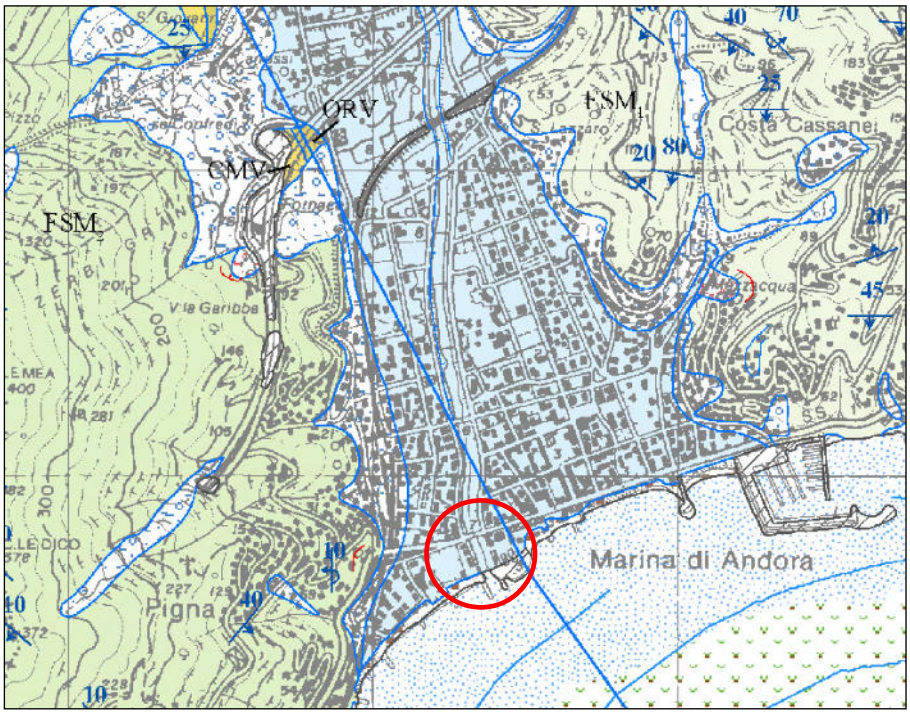
Le aree esterne ai due argini sono caratterizzate da una morfologia sub-pianeggiante.

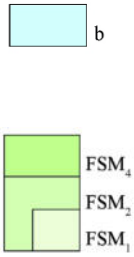
Dal punto di vista geologico l'area ricade in un ambiente deposizionale di passaggio tra i depositi misti eteropici sabbioso-ghiaiosi, sabbiosi e limosi-argillosi della piana alluvionale del Torrente Merula ed i depositi marini più tipicamente sabbiosi.

Il substrato roccioso di tali depositi sedimentari alluvionali-marini è rappresentato dal Flysch di Sanremo, formazione rocciosa stratificata litologicamente eterogenea che costituisce l'ossatura geologica dei rilievi collinari circostanti la piana alluvionale stessa; nella zona in esame le sequenze torbiditiche del Flysch sono riconducibili alla facies FSM2 caratterizzata da un'alternanza di strati marnosi arenacei con termini anche calcilutitici ed argillitici.

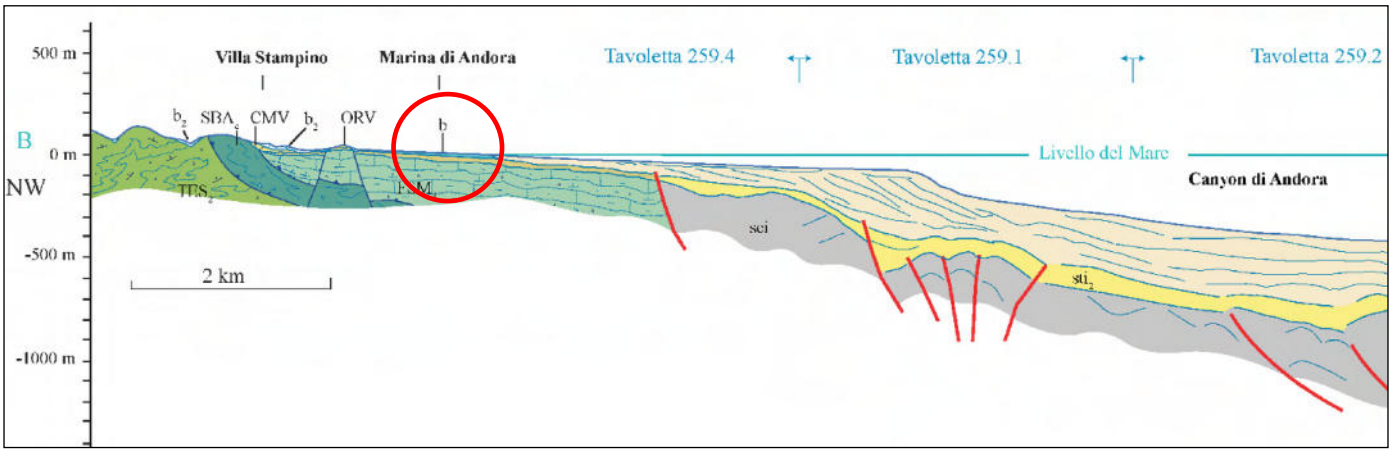
Nell'area specifica del progetto in esame, le misure di rumore ambientale H/V e la MASW hanno evidenziato che il substrato roccioso è attestato a profondità importanti dell'ordine di 60-70 m; dal piano campagna al substrato profondo sono quindi presenti depositi sedimentari riconducibili ai terreni alluvionali-marini, da grossolani a fini, senza escludere la possibilità che tra tali depositi ed il substrato roccioso siano interposti terreni riconducibili ai depositi fini del Pliocene (rif. sezione geologica della pagina successiva).

Si allegano a seguire, gli estratti del Foglio 259 "Imperia" e "Sezione geologica" della Carta Geologica Regionale (CGR) e della carta geologica del PUC di Andora.

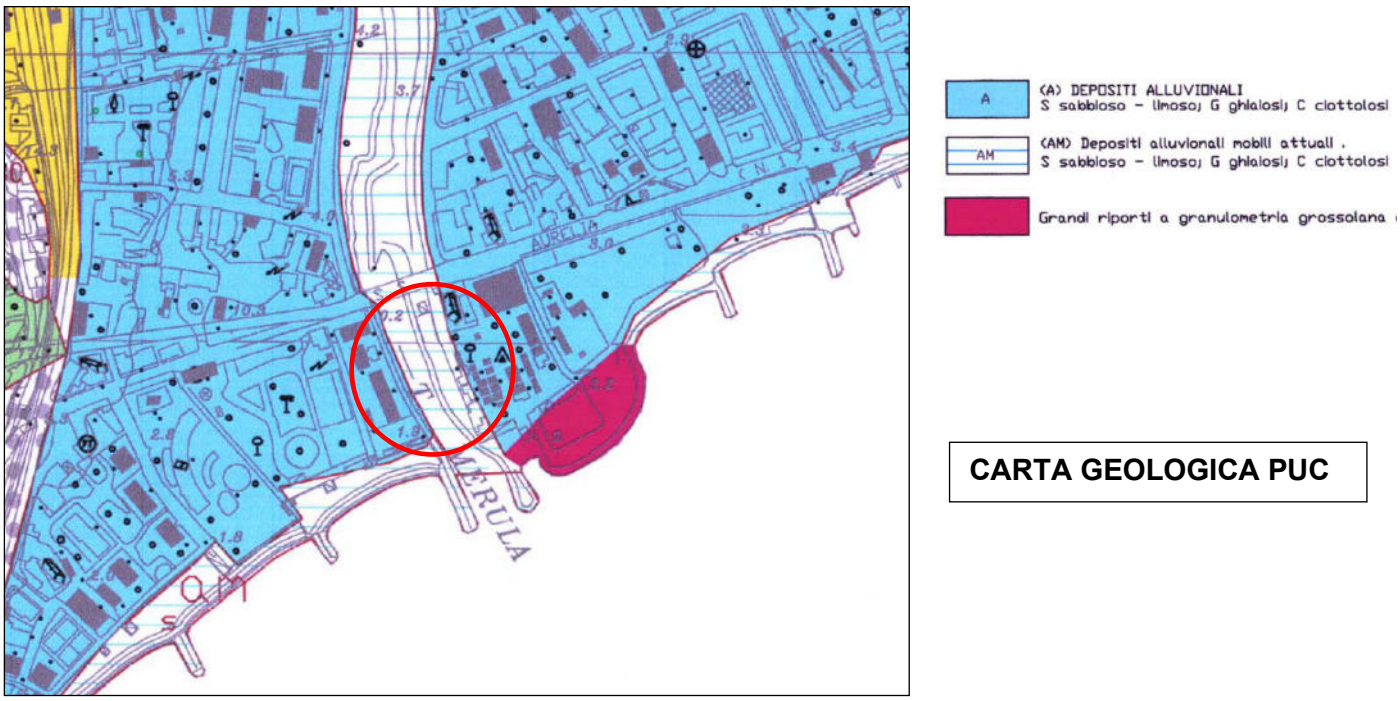




FOGLIO 259 IMPERIA CGR



SEZIONE GEOLOGICA FOGLIO 259 IMPERIA CGR



CARTA GEOLOGICA PUC

Tra le indagini geognostiche ad oggi reperite, i sondaggi SN1 e SN2 forniscono informazioni stratigrafiche dirette sulle caratteristiche locali del sottosuolo che risulta essere di natura sabbiosa con ghiaia più o meno limosa e sabbiosa, sino alla profondità di circa 20-25 m oltre la quale in sondaggio SN1 ha incontrato delle argille limose grigie (rif. "Sezione stratigrafica 1-1" allegata).

Dal punto di vista idrogeologico i terreni sabbiosi con ghiaia sono caratterizzati da una permeabilità per porosità con livello di drenaggio da medio a buono.

I terreni fondazionali sabbiosi con ghiaia e sabbiosi sono permeati da una falda acquifera libera che potrebbe trovare il suo confinamento basale nelle argille limose sottostanti.

Data la vicinanza al mare l'acquifero può avere le caratteristiche di una falda da salmastra a salina.

Il livello statico della falda è in generale da considerarsi coincidente con il livello del mare a quota quindi 0,00 s.l.m.; tale livello potrebbe subire temporanei innalzamenti in occasione delle mareggiate e delle piene del Torrente Merula.

In termini di geomorfologia la topografia sub-pianeggiante delle aree adiacenti alle sponde porta ad escludere problematiche di stabilità morfologica generale come peraltro confermato dalla "Mappa PAI Dissesti" che non classifica tali aree in quanto con pericolosità ancora inferiore al livello minimo P1 della classificazione PAI.

Si evidenzia però che, alla scala della stabilità morfologica più locale, le sponde del Torrente Merula, nel tratto a valle del ponte dell'Aurelia, possono essere soggette, durante gli eventi di piena, ad erosione spondale con possibili fenomeni di scalzamento delle strutture presenti.

5. SISMICA

5.1 Sismicità storica, pericolosità e classificazione sismica

L'individuazione della sismicità storica e macrosismica dell'area in esame è definita dal Database Macrosismico dei Terremoti Italiani (DBMI15), utilizzato per la compilazione di CPTI15, redatto dall'INGV.

L'interrogazione del DBMI15 per la località di Andora, ha ottenuto i seguenti risultati tabellari in termini di effetti, di anno di accadimento, area epicentrale e magnitudo; il terremoto che ha registrato i maggiori effetti e magnitudo è quello del 23 febbraio 1887.

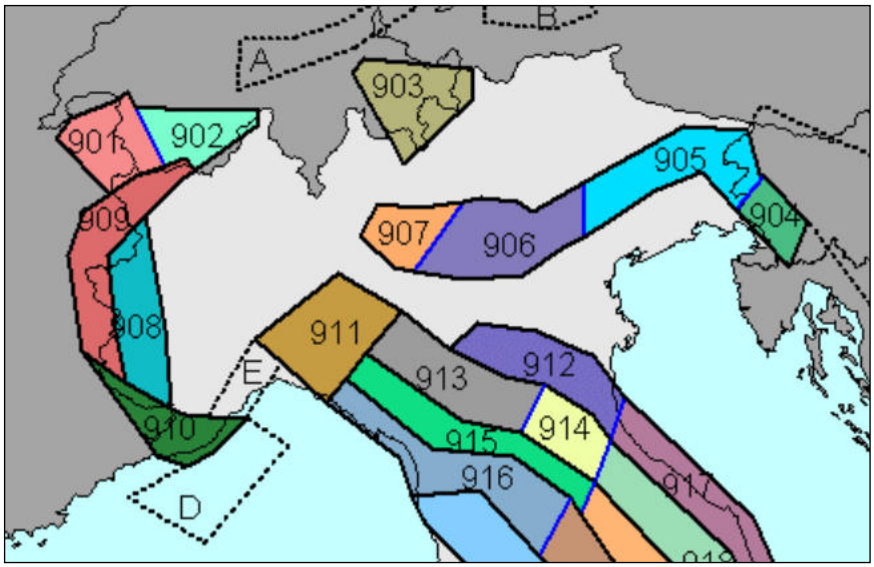
Andora (Pigna)

PlaceID	IT_32471
Coordinate (lat, lon)	43.951, 8.143
Comune (ISTAT 2015)	Andora
Provincia	Savona
Regione	Liguria
Numero di eventi riportati	16

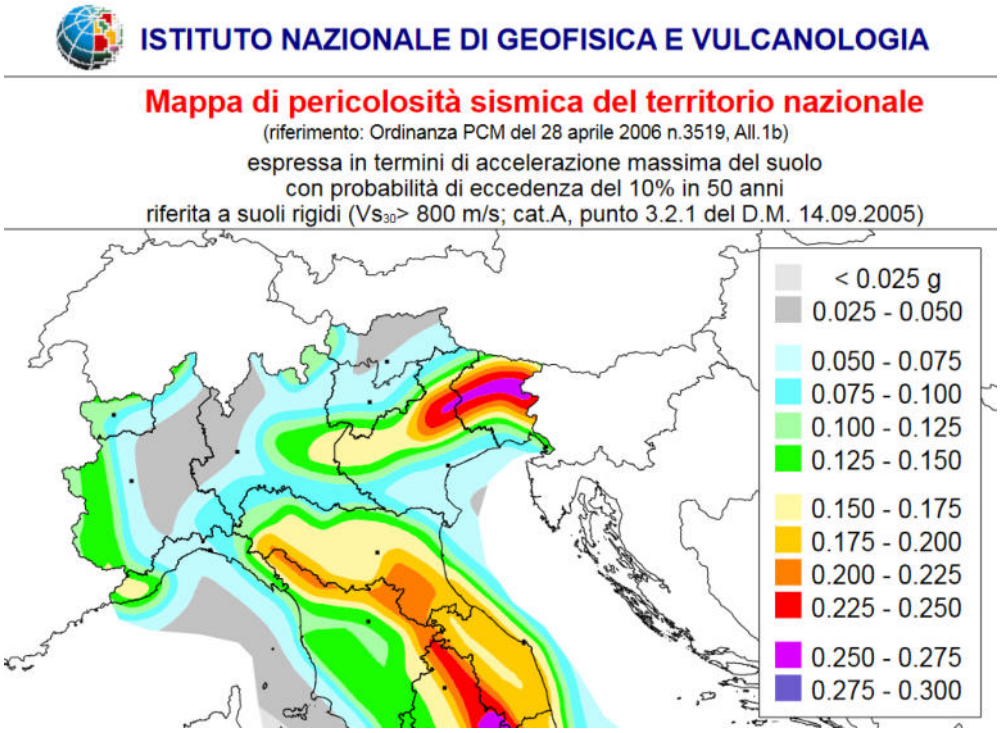
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
5	1895	12	25	04	47		Liguria occidentale	9	5	4.18
6	1896	10	16				Liguria occidentale	55	6	4.91
3	1897	10	12				Liguria occidentale	13	5	4.34
2	1900	12	30	23	36	2	Alto Monferrato	36	5	4.35
NF	1904	11	15	19	16		Liguria occidentale	17	5	4.16
F	1905	05	30	04	55		Cuneese	121	5-6	4.65
4	1906	08	11	09	58		Liguria occidentale	82	5	4.41
5-6	1909	05	27	06	10		Liguria occidentale	51	5-6	4.34
3	1912	01	14	03	11		Liguria occidentale	19	4-5	3.89
4	1970	12	31	22	04	4	Liguria occidentale	79	6	4.62
3-4	1989	12	26	19	59	5	Mar Ligure	290		4.46
3	1993	07	17	10	34	5	Liguria occidentale	336	5	4.34
3-4	1995	04	21	08	02	5	Liguria occidentale	49		4.39
3-4	2001	02	06	22	28	4	Mar Ligure	47	4-5	4.17
3	2001	02	25	18	34	4	Mar Ligure	59		4.44

In ottemperanza all'O.P.C.M. 3274/03, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (di seguito denominato INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica del territorio italiano, chiamata ZS9 (Zonazione sismogentica ZS9 Rapporto conclusivo Gruppo di Lavoro, 2004), risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone.

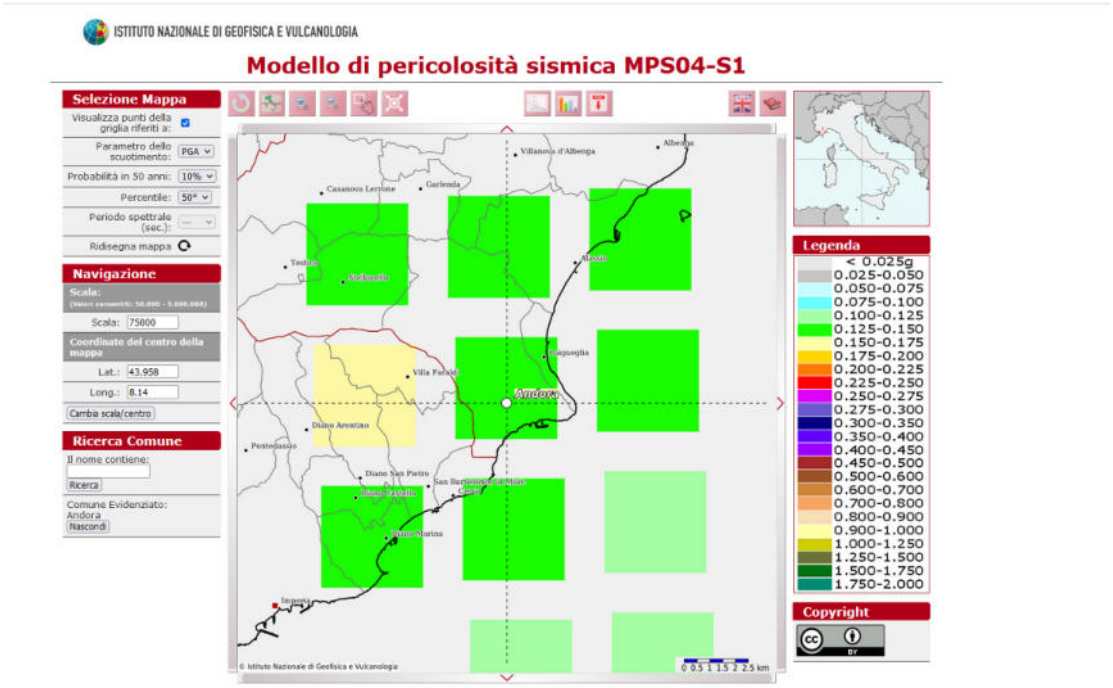
L'area in esame (rif. figura subito sotto) è ubicata nella zona sismogenetica 910 che INGV inquadra come zona di "svincolo" che consente l'arretramento dell'arco alpino occidentale; la magnitudo massima associata a questa zona sismogenetica è pari a 6,37 (Mwmax).



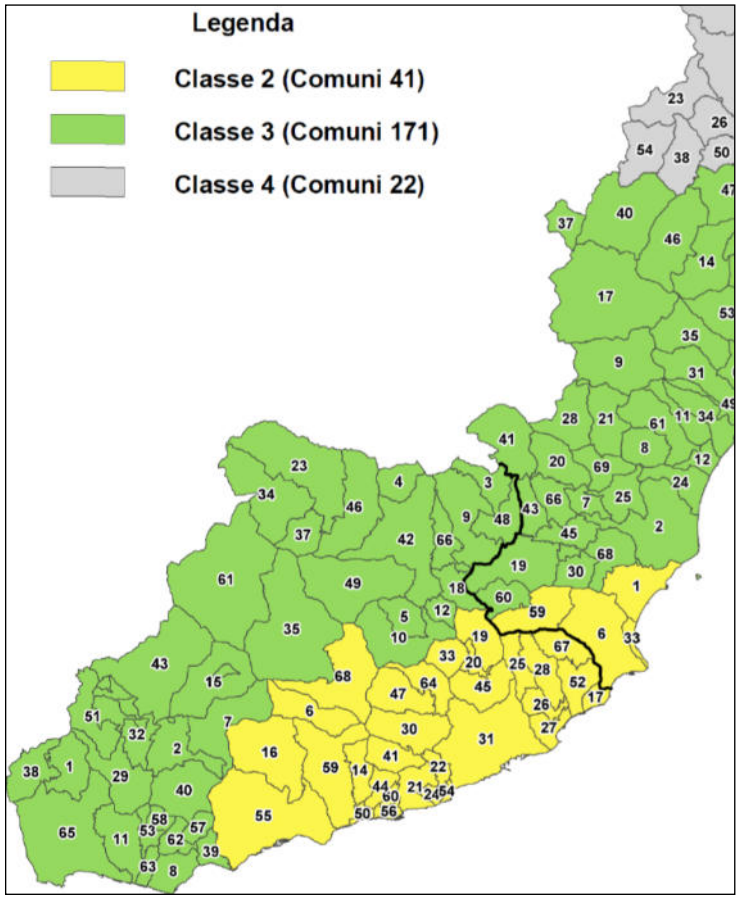
In termini di pericolosità sismica si fa riferimento, in termini generali, alla Mappa di Pericolosità Sismica (MPS04) (rif. figura a seguire) approvata della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, mappa che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante; la mappa associa, alla zona in esame, valori di Ag compresi tra 0,125 e 0,150.



La figura che segue raffigura nel dettaglio, per l'area in esame, la stessa informazione in termini di Ag.



Dal punto di vista della classificazione sismica, il territorio del Comune di Andora (territorio n. 6 della figura che segue) ricade, secondo la classificazione regionale di cui alla D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 "OPCM 3519/2006, in una zona 2 per la quale è fissata una accelerazione massima del suolo (ag max) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni di 0,25g.



5.2 Faglie capaci

Il territorio in esame è inserito, alla grande scala, nel contesto tettonico delle Alpi Liguri, contesto formato da un insieme di unità tettoniche trasportate ed appilate verso l'esterno dell'arco alpino e poi coinvolte nelle deformazioni di età e direzione appenninica.

Più nello specifico la zona di Andora in esame ricade nell'area di affioramento delle successioni dei flysch ed in particolare dell'Unità di S.Remo-Monte Saccarello.

Alle fasi duttili di corrugamento alpino è seguito, nel Pliocene-Quaternario, un'attività neotettonica di natura fragile in ambiente distensivo, correlata alla formazione e sviluppo di sistemi di faglie probabilmente già impostati con le fasi di piegamento appenninico.

Tali sistemi di faglie hanno smembrato, specialmente al livello strutturale superficiale dei Flysch, l'edificio alpino secondo blocchi in movimento relativo tra loro con fenomeni importanti di basculamento; tali eventi hanno condizionato e guidato i fenomeni geologici del ponente ligure, dalla trasgressione e sedimentazioni plioceniche fino al raggiungimento dell'assetto strutturale odierno dal quale è derivato la posizione della costa e del reticolo idrografico più recente.

La bibliografia scientifica di neotettonica e gli studi sismotettonici recenti del settore ligure occidentale hanno evidenziato la presenza di faglie normali e trascorrenti offshore e di faglie trascorrenti onshore; tra queste ultime la più nota ed attiva, dal punto di vista sismico, è la Taggia-Saorge.

Si riporta, a seguire, la mappa strutturale semplificata proposta nel recente lavoro "Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria Occidentale ed influenza sui parametri di hazard" di C.Eva, P.Agugliera, E.Eva, S.Solarino, e D.Spallarossa (2000).

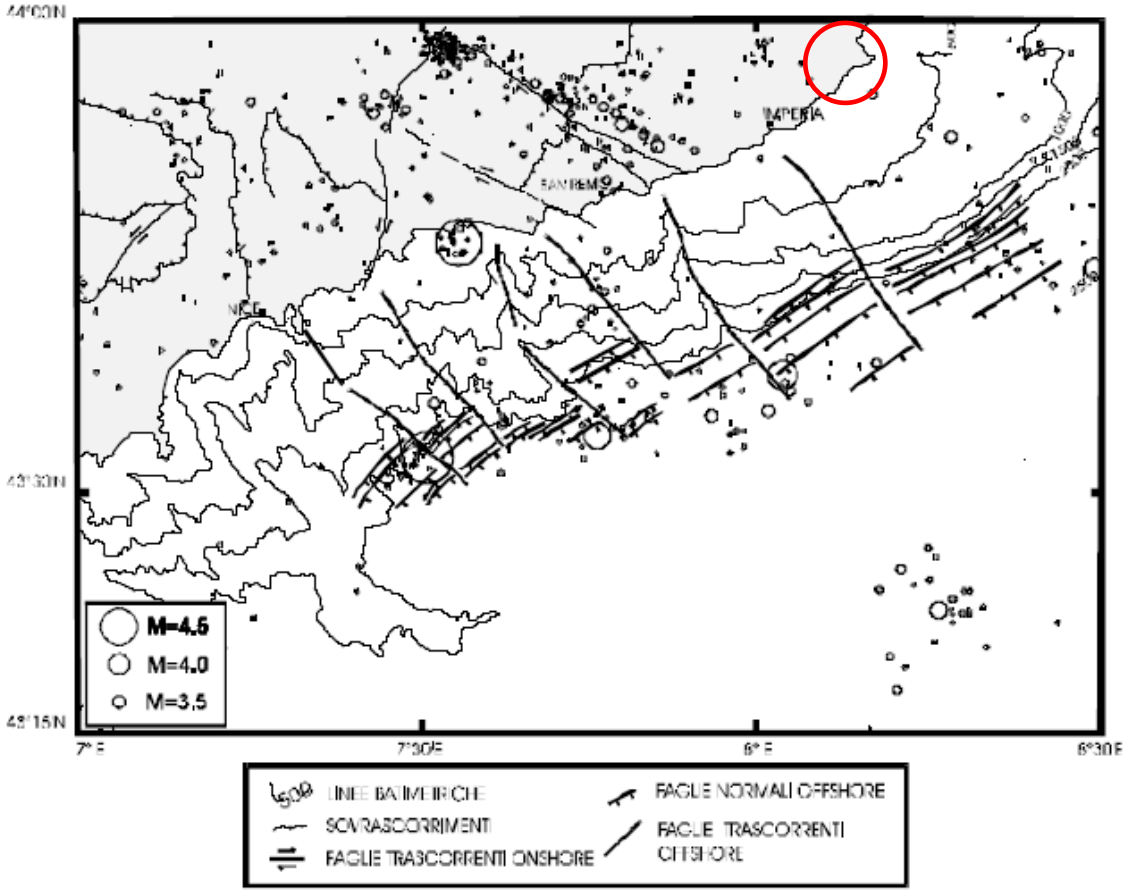


Fig. 3 - Mappa strutturale semplificata del margine Nord-Occidentale del Mar Ligure e mappa della sismicità.

Nell'ambito del quadro tettonico strutturale appena descritto si affronta più nel dettaglio il tema della presenza di faglie capaci nel Ponente Ligure ed in particolare nel territorio del Comune di Andora.

A tale riguardo si riprendono in premessa le definizioni espresse nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)" del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile:

- *Faglia Attiva e Capace di rompere la superficie topografica (FAC)*: in accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata *attiva* una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata *capace* una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

- *Faglia Potenzialmente Attiva e Capace (FPAC)*: faglia per la quale gli studi dimostrano un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene mediosuperiore, ma non necessariamente di depositi più recenti di 40.000 anni.

Sul tema faglie capaci la Regione Liguria ha recentemente emesso la D.G.R. 534 del 18.06.2021 "L.R. 21 luglio 1983 n. 29 Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale. Adozione delle Linee Guida per la Gestione del Territorio in Aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)".

Come illustrato in tale Atto, la Regione, tramite uno studio affidato al Dipartimento DISTAV dell'Università degli studi di Genova, ha individuato sul territorio regionale emerso (onshore) sei zone sismogenetiche e le potenziali strutture geologiche (sistemi di faglie) a queste associabili.

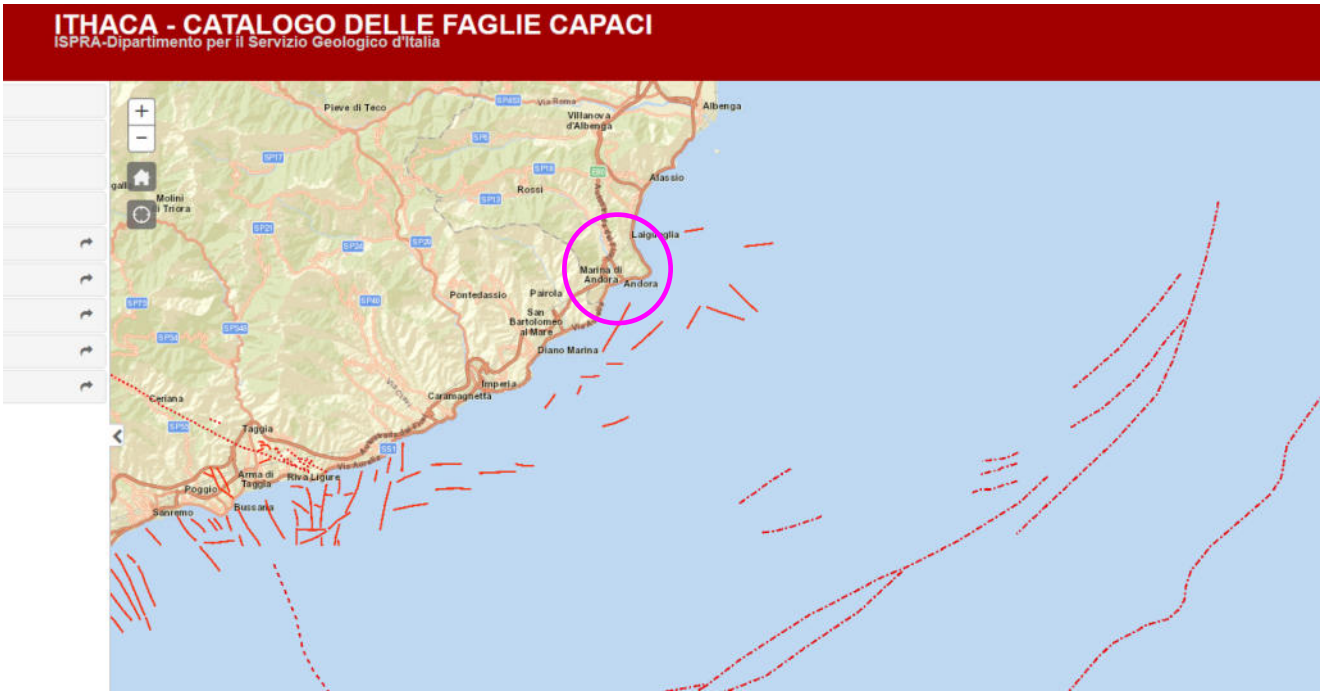
Più specificatamente le sei zone sismogenetiche presentano caratteristiche tali da essere considerate come faglie "potenzialmente attive e capaci" ovvero FPAC, secondo la definizione contenuta nelle Linee Guida FAC; viene, invece, esclusa la presenza di forme tipo FAC in Liguria, in quanto le strutture analizzate non presentano dati e studi di dettaglio che ne indichino l'effettiva "capacità" di rompere la superficie, secondo le condizioni minime indicate nelle Linee Guida FAC.

Tra le sei zone sismogenetiche due sono state individuate nel Ponente Ligure e sono: I_PTF (Zona Pigna-Taggia Fault system) e EXT-PON (Zona Estremo Ponente ligure fault system).

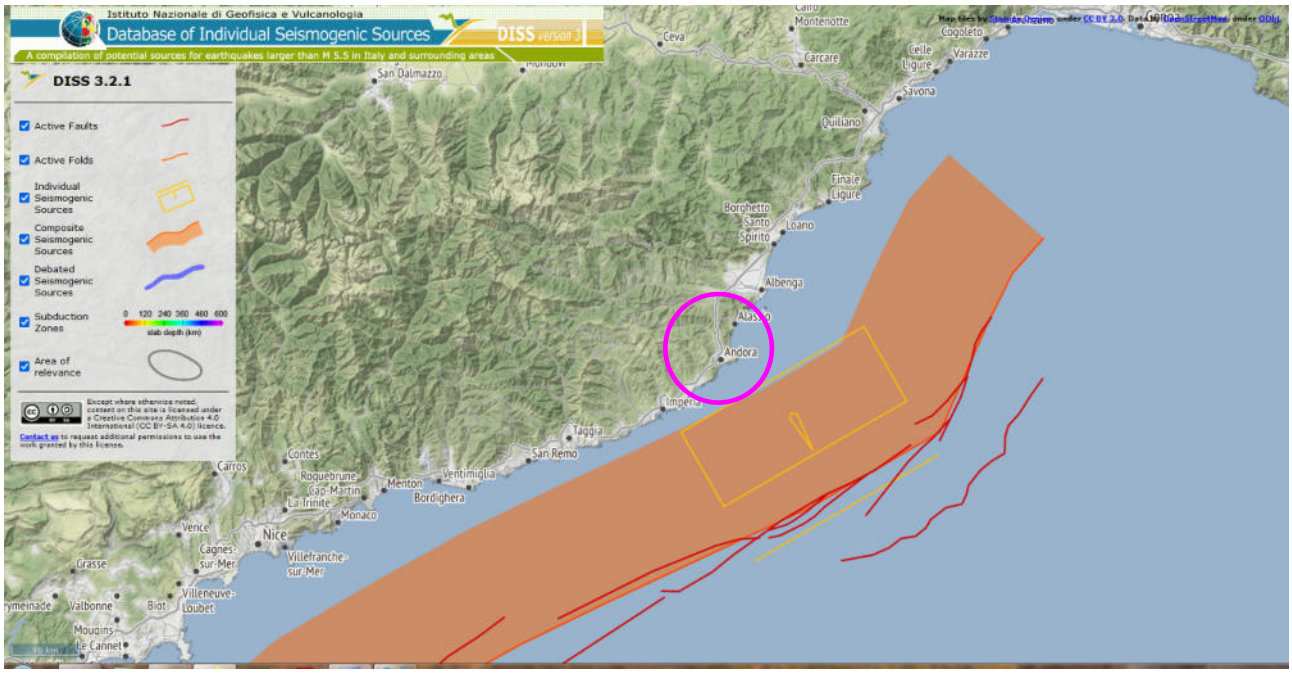
Il territorio del Comune di Andora non rientra nelle due zone sismogenetiche del Ponente Ligure; nel territorio emerso di Andora e quindi anche nell'area di progetto in esame non sono presenti faglie capaci.

Anche la cartografia di "ITHACA – Catalogo delle Faglie Capaci" a cura di ISPRA Dipartimento del Servizio Geologico d'Italia conferma l'assenza di faglie capaci nel territorio emerso di Andora.

Le faglie capaci sono invece localizzate in mare e sono caratterizzate da un cinematismo di "faglie normali"; tra queste quelle più vicino alla costa non sono attive (linee rosse con tratto pieno) mentre è attivo il sistema di faglie più al largo (linee rosse tratteggiate - rif. figura successiva).



L'INGV ha inoltre diffuso, nell'ambito del progetto DISS3, le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismo-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale che potenzialmente possono generare terremoti di magnitudo M superiori a 5,5; la carta DISS3 subito sotto conferma la presenza di faglie normali attive al largo della costa di Andora.

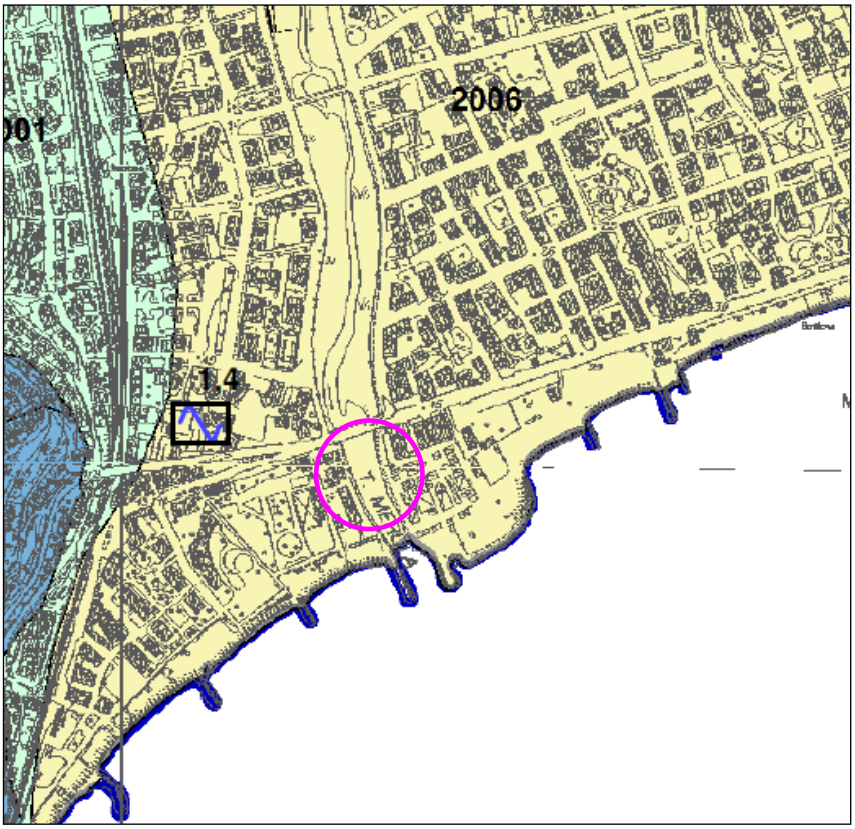


5.3 Microzonazione sismica

Il territorio del Comune di Andora, classificato ex zona 3S ora zona 2 dal punto di vista sismico, è stato oggetto, da parte di Regione Liguria ed ai sensi della D.G.R. 714/2011, di uno studio alla scala comunale di microzonazione sismica di Livello 1.

Tale studio ha restituito una mappa del territorio nella quale vengono indicate le zone suscettibili di instabilità o per le quali il moto sismico atteso è passibile di fenomeni di amplificazione sismica (rispetto a condizioni ideali di sito con roccia affiorante e morfologia pianeggiante) a causa di peculiari caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche locali.

Più in particolare è stata redatta la "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)" della quale si riporta a seguire un estratto nel quale ricade l'area del progetto in esame che è stata classificata come zona suscettibile di amplificazione locale.





Per il progetto in esame, rientrante in ex zona 3S ora zona 2, sono stati inoltre sviluppati gli approfondimenti di livello 2 previsti dalla D.G.R. 714/2011.

PIù in particolare, sul tema della quantificazione numerica degli effetti di amplificazione, sono stati analizzati solo i *fattori di amplificazione stratigrafica* mentre, essendo la zona del PUO sub-pianeggiante, sono stati omessi i *fattori di amplificazione topografica*.

La quantificazione numerica degli effetti di amplificazione stratigrafica è stata eseguita attraverso la metodologia semplificata che prevede l'utilizzo degli abachi regionali "Vademecum_Abachi_2018", i quali restituiscono il valore del Fattore di amplificazione in termini di accelerazione Fa in funzione dei dati sismo-stratigrafici quantitativi del sottosuolo locale .

Più in particolare nel caso in esame, facendo riferimento alla "Guida per il corretto utilizzo degli abachi regionali" a cura della Regione Liguria e del Distav UniGE, è stato usato l'abaco:

- dei Comuni della MacroArea_A del Ponente Ligure tra i quali ricade il Comune di Andora
- del contesto geologico-geografico "COSTA"

- delle unità litostratigrafiche e delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche "COSTA A" con "Modello Tipo 1_CFM Depositi alluvionali in corrispondenza della zona di foce dei fiumi (sia a regime torrentizio che a regime costante) frammisti a depositi marini prossimali talora sormontati da coltri di natura gravitativa. La granulometria di questi depositi presenta una prevalenza di ghiaia e ghiaia sabbiosa con gradi di addensamento variabili" e con "Modello Tipo 3_CFM Depositi alluvionali in corrispondenza della zona di foce dei fiumi (sia a regime torrentizio che a regime costante) frammisti a depositi originatisi in ambiente lacustre-palustre. La granulometria di questi depositi presenta una prevalenza di ghiaia e ghiaiosa limosa localmente argillosa (spesso associata a depositi torbiferi) con gradi di addensamento variabili"
- con Vs30 compresa tra 200-300 m/s (valore determinato tramite la MASW allegata in calce alla relazione)
- con Frequenza fondamentale di risonanza di sito f0 compresa tra 1-2 Hz (valori determinati con le prove di rumore ambientale tipo HVSR allegate in calce alla relazione).

Gli approfondimenti di Livello 2 riguardano inoltre i potenziali fenomeni di instabilità che producono, in caso di sisma, deformazioni permanenti del territorio e che sono riconducibili alle *instabilità di versante* e al *fenomeno della liquefazione.*

Nel caso del progetto in esame, la morfologia sub-pianeggiante dell'area di progetto premette di escludere problematiche di instabilità di versante.

Per quanto riguarda invece la potenziale *instabilità per liquefazione* si rimanda alla trattazione dettagliata del prossimo paragrafo; si anticipano comunque le conclusioni che hanno evidenziato che i terreni di fondazione delle opere in progetto sono caratterizzati da un Indice di Potenziale Liquefazione (IL) di livello Basso.

Si riportano a seguire le tabelle di sintesi dei risultati ottenuti con gli approfondimenti di Livello 2, in termini sia di amplificazione stratigrafica sia di potenziale liquefazione.

MS DI LIVELLO 2 – AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

ZONA	Fa (0.1–0.5s)	Fa (0.4–0.8s)	Fa (0.7–1.1s)
	1.68	2.43	2.51

Tabella riassuntiva dei valori risultanti del fattore Fa di amplificazione in termini di accelerazione per diversi valori di frequenza di risonanza dell'opera in progetto (termini tra parentesi), valore che dovrà essere scelto dal progettista geotecnico-strutturale

MS DI LIVELLO 2 – LIQUEFAZIONE

ZONA	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
LI1	IL < 2 Potenziale Basso

Tabella del valore risultante dell'indice di potenziale di liquefazione

5.4 Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione si esplica, contestualmente ad un sisma di elevata intensità, a causa dell'accumulo nei terreni delle pressioni interstiziali e la conseguente drastica caduta della resistenza al taglio e si manifesta attraverso la fluidificazione dei terreni stessi con conseguenti cedimenti delle strutture di fondazione dei manufatti, apertura di crepe nel terreno e/o la fuoriuscita in superficie di materiale misto ad acqua.

La liquefazione può quindi rappresentare un rischio concreto per le opere durante il verificarsi di un terremoto, anche per le costruzioni in grado di resistere alle scosse sismiche di maggiore intensità, questo perché la stabilità degli stessi viene ad essere compromessa dalla perdita di capacità portante delle fondazioni, da possibili cedimenti totali o differenziali e galleggiamento delle opere.

Quindi in tali situazioni non basta costruire applicando solamente i criteri antisismici, ma anche dei criteri, per così dire, "anti-liquefazione".

In termini più tecnico-scientifici il fenomeno della liquefazione può avvenire se si verificano le seguenti principali condizioni:

a) terremoti di magnitudo momento Mw ≥ 5
b) accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero (amax) di almeno 0.10g;
c) presenza di caratteri geologici e geotecnici predisponenti tra i quali il più importante è la presenza di terreni costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie fini, sabbie limose e limi sabbiosi, saturi in falda, poco o mediamente addensati nei primi 15-20 m di profondità.

Nel sito in esame le condizioni teoriche a) b) e c), indicative di una predisposizione dei terreni alla liquefazione, sono sostanzialmente verificate e più in particolare:

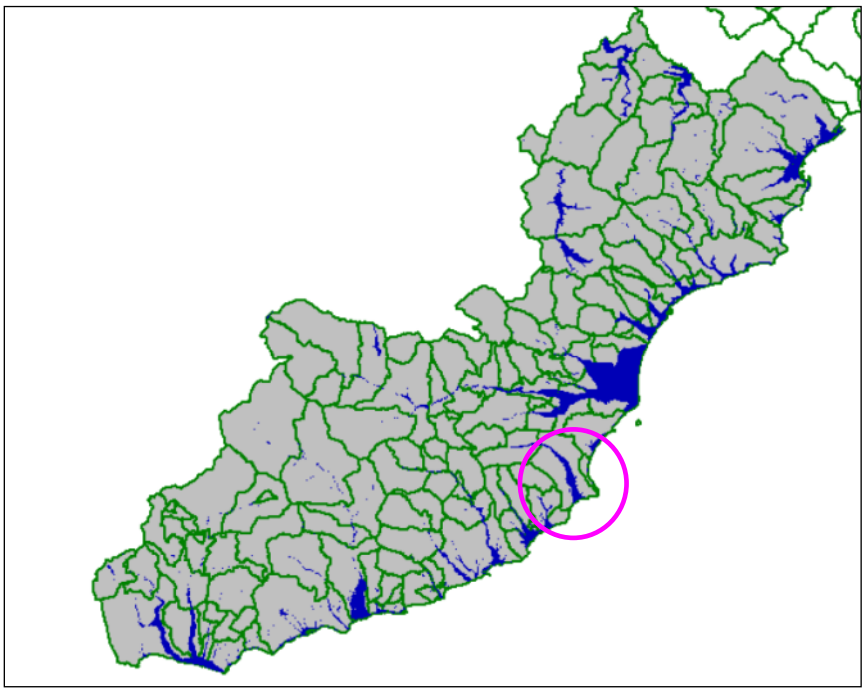
- la magnitudo associata al territorio del Comune di Andora, ai sensi della Tab. 1 dell'Appendice 1 di cui alla DGR 535/2021, è pari a Mw=6,5
- l'accelerazione massima in superficie amax è maggiore di 0,10g
- il sottosuolo del sito di progetto è caratterizzato per i primi 20 m di profondità da terreni sabbiosi con ghiaia con lenti ed orizzonti sabbiosi, saturi in falda.

Ciò premesso viene di seguito eseguita una disanima quali-quantitativa del potenziale fenomeno della liquefazione nel sito in esame.

Più in particolare l'analisi è stata sviluppata partendo dalle valutazioni territoriali di carattere generale espresse su tale fenomeno nei Criteri Tecnici di cui alla DGR 535/2021, per passare poi attraverso delle valutazioni qualitative di carattere, geologico, geomorfologico sino ad arrivare alle valutazioni più quali-quantitative del potenziale di liquefazione secondo i dettami indicati dalla stessa DGR e dalle NTC2018.

Nei Criteri Tecnici di cui alla DGR 535/2021 è riportata una carta regionale che individua le aree ove può ritenersi possibile l'attivazione di fenomeni di liquefazione; l'individuazione, alla scala territoriale, è stata basata su un approccio puramente sismologico (valori di ag e M, dati dei cataloghi storici di osservazione di fenomeni di liquefazione sul territorio ligure) e sulla verifica delle caratteristiche geomorfologiche territoriali.

Nella carta, di seguito riportata, le aree in colore blu sono quelle nelle quali può ritenersi possibile l'attivazione di fenomeni di liquefazione; tra queste aree c'è anche quella della piana alluvionale di Andora nella quale rientra il sito del progetto in esame.



Facendo riferimento ad un criterio di tipo geologico su base storica-empirica si riporta la tabella seguente (Facciorusso, 2011) che stima il rischio di liquefazione attraverso una correlazione tra l'età del deposito e la profondità della falda; si può così osservare che sono particolarmente sensibili al fenomeno i materiali di epoca geologica recente, saturi, entro i primi 10 metri di profondità dal p.c..

Con questo criterio il sottosuolo del sito di progetto rientra in questo ultimo caso al quale è associata una probabilità alla liquefazione da moderata ad elevata.

Età del deposito	Profondità della falda (metri)		
	< 9	Da 9 a 15	>15
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Olocene antico	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Tab. A - Probabilità alla liquefazione di depositi sedimentari (Facciorusso, 2011)

Facendo invece riferimento al criterio di tipo geomorfologico, la liquefazione si può verificare nelle zone costiere, sia marine che lacustri, e nelle pianure alluvionali (facies di canale e argine, ventagli di rotta e di piana inondabile) ed estuari fluviali.

Al riguardo si riporta la tabella di Iwasaki e al. (1982) che valuta il rischio di liquefazione sulla base della classificazione geomorfologia dell'area in esame:

Con questo criterio il sottosuolo del sito in eame rientra in questo ultimo caso al quale è associata una probabilità alla liquefazione da possibile a probabile.

Classe	Geomorfologia	Suscettibilità
A	Letti di fiume recenti e antichi; paludi; zone di bonifica; zone interdunari	Liquefazione probabile
B	Conoidi; argini naturali; dune di sabbia; pianure di esondazione; spiagge; altre pianure	Liquefazione possibile
C	Terrazzi; colline; montagne	Liquefazione non probabile

Tab. B - Classi di suscettività alla liquefazione in funzione della geomorfologia (Iwasaki et al., 1982)

La liquefazione viene ora analizzata rispetto alle circostanze in cui può essere omessa la verifica di tale fenomeno secondo le NTC2018.

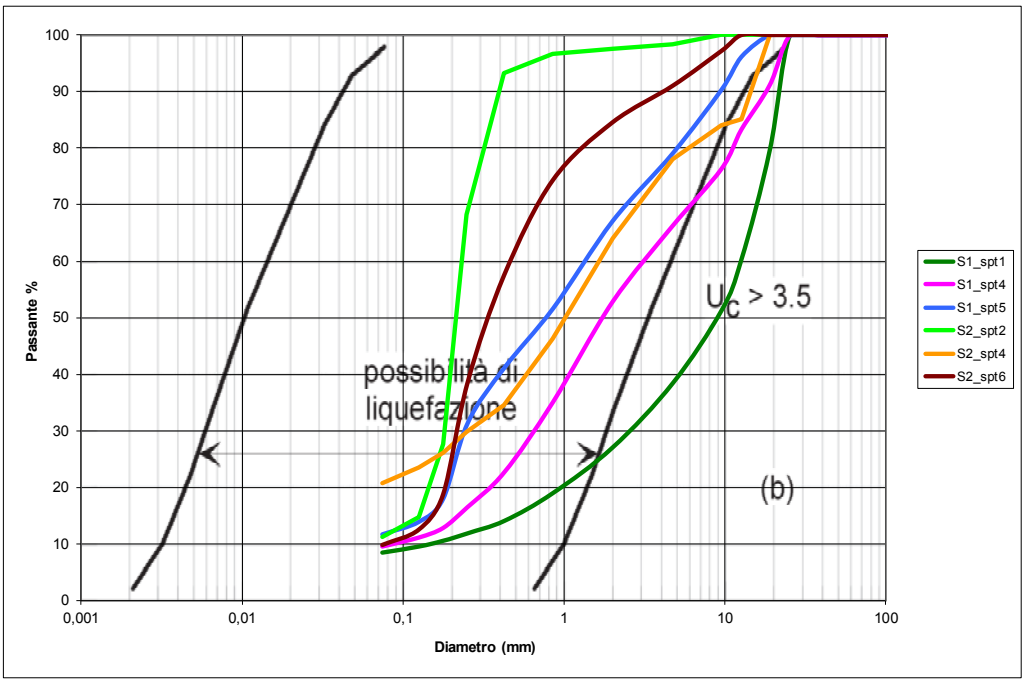
NTC2018

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 m 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 $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} 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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nessuna delle quattro circostanze è verificata; si procede quindi più sotto con la verifica alla liquefazione.

Prima della verifica si riporta il grafico delle curve granulometriche dei campioni prelevati durante i sondaggi SN1 e SN2 (rif. certificati prove di laboratorio allegati) sovrapposte ai fusi di possibile liquefazione indicati nella circostanza 4 appena sopra delle NTC2018.

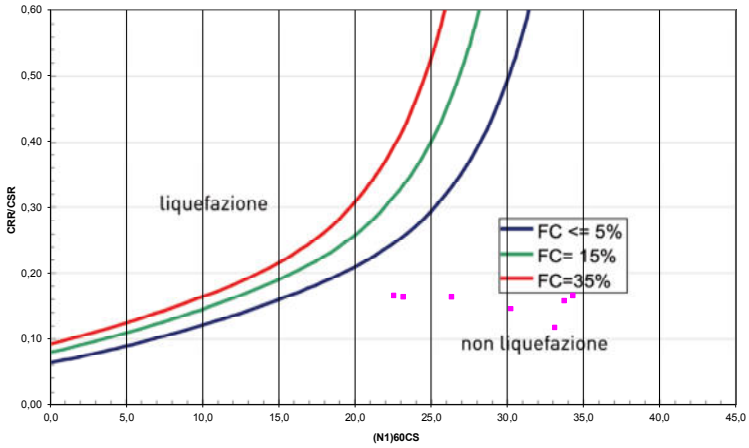


Praticamente tutte le curve rientrano nel fuso di possibile liquefazione superando la percentuale interna del 50% che è la soglia di riferimento fissata dai Criteri per la liquefazione fissati dalla Regione Emilia Romagna nell'Allegato A alla DGR 2193 del 21.12.2015.

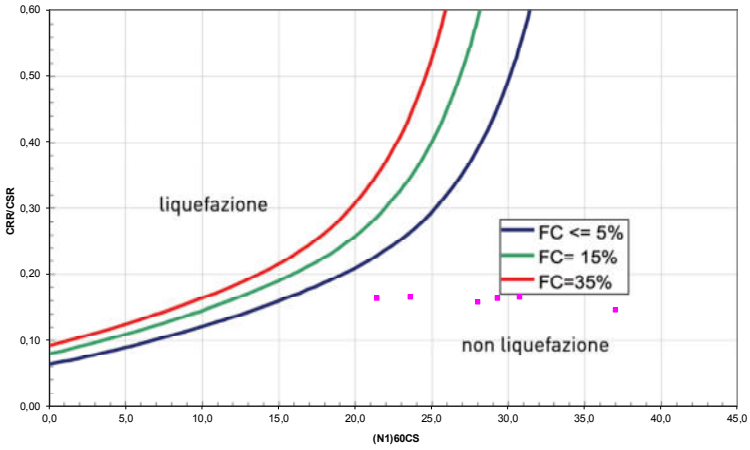
La verifica alla liquefazione è stata eseguita utilizzando il metodo semplificato di Boulanger e Idriss (2014) basato sui risultati delle prove SPT; nel caso in esame il metodo è stato applicato utilizzando non solo le prove SPT ma anche i risultati delle prove DPSH che caratterizzano con continuità, e quindi meglio delle SPT discontinue, la verticale di indagine.

Il metodo di Boulanger e Idriss si basa sul calcolo e sul confronto, al variare della profondità z, dello sforzo di taglio indotto dal terremoto CSR e la resistenza la taglio del terreno CRR, entrambi normalizzati rispetto alla pressione di confinamento σ'_0.

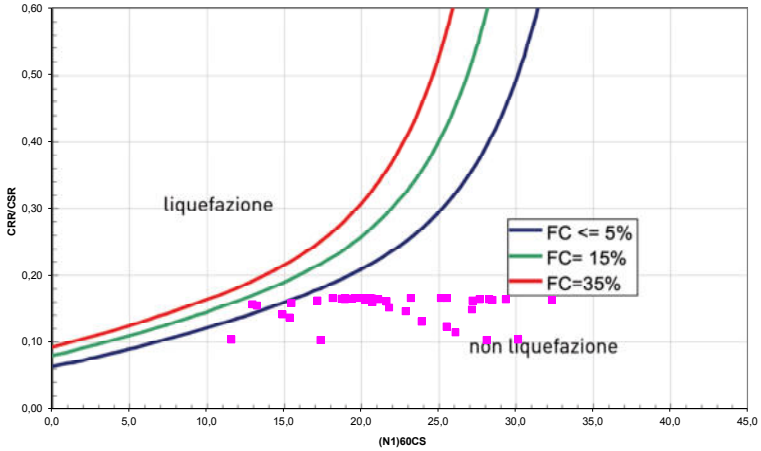
I grafici che seguono, CRR (rapporto di resistenza ciclica) - N1(60)Cs (valore normalizzato prove SPT corretto in base al contenuto dei fini pari al 10% nel caso in esame) evidenziano che nei terreni di fondazione dei fabbricati in progetto sono presenti, per quanto non frequenti, livelli e orizzonti di terreni potenzialmente liquefacibili.



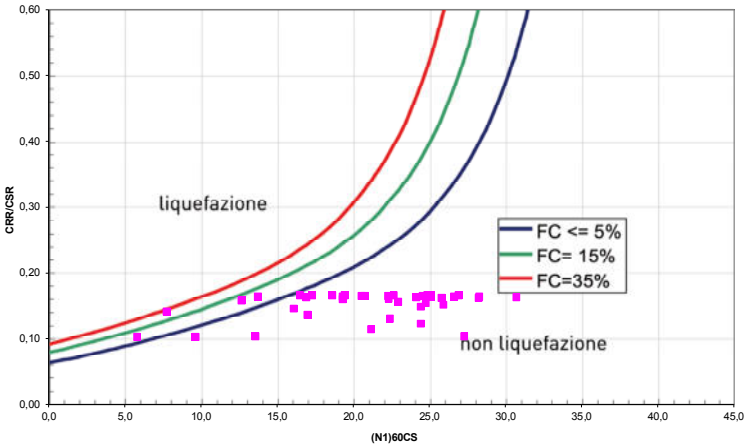
SPT SONDAGGIO SN1



SPT SONDAGGIO SN2



DPSH1



DPSH2

Il calcolo invece dell'indice del potenziale liquefazione IL, rappresentativo dell'intera verticale, ha indicato il valore di 0,8 corrispondente ad una classe di rischio di liquefazione basso.

In conclusione, visti i risultati ottenuti dalle analisi qualitative e quali-quantitative, è possibile affermare che il sottosuolo del sito di progetto è caratterizzato da un rischio di liquefazione basso; si segnala peraltro che in caso di sisma di magnitudo elevata, anche senza liquefazione, non possono comunque essere esclusi, data l'eterogeneità laterale e verticale della granulometria del sottosuolo olocenico in esame, possibili fenomeni di assestamenti/cedimenti differenziali dei terreni di fondazione.

6. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE TERRENI

6.1 Indagini geognostiche

Per la definizione del quadro stratigrafico-geotecnico-sismico dei terreni di fondazione delle opere idrauliche in progetto sono stati utilizzati i numerosi dati geognostici già esistenti relativi a precedenti studi geologici eseguiti nello stesso sito, studi che sono elencati nel paragrafo 3 del presente documento.

Tali studi hanno messo a disposizione i seguenti dati e documenti geognostici:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo SN1 e SN2 completi di schede stratigrafiche, foto casse e certificati prove di laboratorio
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH1 e DPSH2
- n. 2 prove di rumore ambientale H/V1 e H/V2
- n. 1 linea sismica tipo MASW M1.

La posizione planimetrica di queste indagini è riportata nell'elaborato allegato "Carta geologica"; i risultati di tali indagini sono riportati nelle schede allegate in calce al presente documento.

I risultati di queste indagini geognostiche hanno permesso la ricostruzione del modello stratigrafico locale dei terreni di fondazione delle opere spondali; nella fase esecutiva sarà valutata, insieme al progettista geotecnico-strutturista, la necessità di eventuali indagini integrative.

6.2 Stratigrafia dei terreni

La stratigrafia dei terreni di fondazione delle opere idrauliche in progetto è stata ricostruita interpolando e correlando le informazioni geognostiche delle indagini reperite.

I risultati di tale ricostruzione sono rappresentati nella "Sezione stratigrafica 1-1" allegata.

Da tale sezione si evince che i terreni di fondazione sono costituiti da sabbie con ghiaia più o meno limosa e con livelli/lenti sabbiosi sino alla profondità di circa 20-25 m oltre la quale in sondaggio SN1 ha incontrato delle argille limose grigie; la verticale di sondaggio SN2, meno approfondita, non ha intercettato tali argille ma questo, come rappresentato con dubbio (?) nella Sezione stratigrafica, non esclude che l'orizzonte argilloso possa avere una continuità verso mare.

I primi 10,5 m dei terreni del sondaggio SN1 hanno un colore giallo ocra marrone che è indicativo di una ossidazione del materiale; oltre i 10,5 m nel sondaggio SN1 così come in tutta la verticale del sondaggio SN2 i terreni hanno invece colorazione grigia senza ossidazione.

6.3 Caratterizzazione geotecnica-sismica terreni

L'analisi e l'elaborazione dei dati delle indagini geognostiche reperite ha permesso la prima caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni di fondazione delle opere idrauliche in progetto.

Come appena sopra descritto i terreni del "volume significativo" sono costituiti da materiali granulari (sabbie con ghiaia, sabbie) sostanzialmente incoerenti; questi materiali sono stati quindi caratterizzati dal punto di vista geotecnico sulla base delle risultanze delle prove SPT eseguite nei sondaggi SN1 e SN2 e delle due prove penetrometriche super pesanti DPSH1 e DPSH2.

I valori dell'angolo di attrito e del modulo elastico sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di correlazioni di letteratura basate sui valori delle SPT normalizzati per la presenza della falda e del carico litostatico, passando attraverso il calcolo della densità relativa.

I valori della prima *caratterizzazione geotecnica* sono i seguenti:

- Peso di volume: γ=18-19 kN/mc
- Angolo di attrito: φ'=31-33°
- Coesione: c'=0 kPa
- Modulo elastico: E= 10-30 Mpa.

Dal *punto di vista idrogeologico* i terreni sabbiosi con ghiaia sono caratterizzati da una permeabilità per porosità con livello di drenaggio da medio a buono.

I terreni fondazionali sabbiosi con ghiaia e sabbiosi sono permeati da una falda acquifera libera che potrebbe trovare il suo confinamento basale nelle argille limose sottostanti.

Data la vicinanza al mare l'acquifero può avere le caratteristiche di una falda da salmastra a salina.

Il livello statico della falda è in generale da considerarsi coincidente con il livello del mare e circa alla quota 0,00 s.l.m.; tale livello potrebbe subire temporanei innalzamenti in occasione delle mareggiate e delle piene del Torrente Merula.

In termini di *risposta sismica locale* e, più in particolare, in termini di possibile amplificazione stratigrafica e topografica della Pga, è stato ottenuto quanto segue.

Per l'amplificazione stratigrafica, come contemplato dalle NTC2018, è stato fatto riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Veq (in m/s) definita dall'espressione:

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

dove:

N = numero di strati

h_i = spessore dello strato i-esimo

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

H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

Il valore della Vseq è stato determinato utilizzando i dati della MASW M1; nel caso in esame, con il substrato roccioso (Vs>800 m/s) attestato a profondità dell'ordine di 60-70 m, il valore di Veq coincide con il valore di Vs30.

Il valore di Vseq, calcolato al piano campagna, è risultato pari a 277 m/s, velocità equivalente che è correlabile alla categoria C di amplificazione sismica stratigrafica (tab. 3.2.II NTC2018).

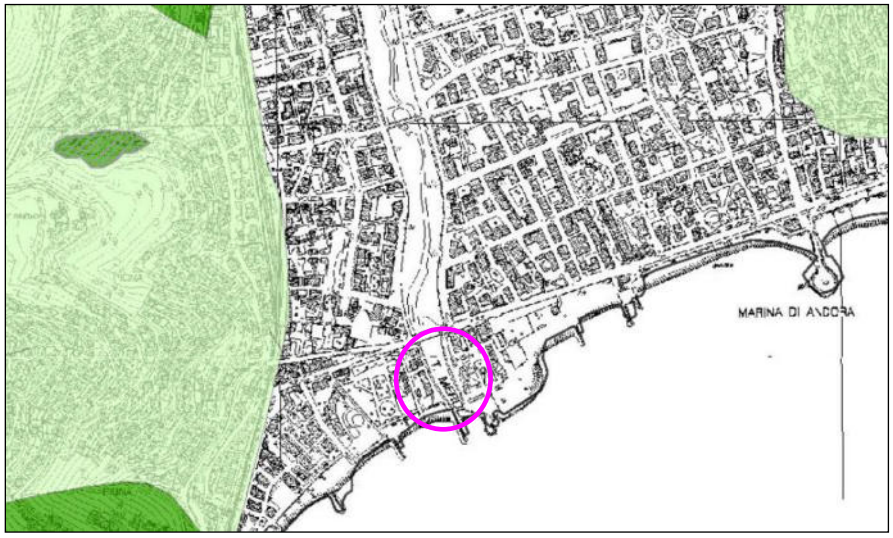
Per l'amplificazione topografica, considerata la morfologia sub-pianeggiante del contesto nel quale è inserita l'area dellle opere in progetto, può essere assunta la categoria topografica T1 (tab. 3.2.III NTC2018).

Per quanto riguarda la liquefazione dei terreni locali si rimanda alla trattazione del paragrafo 5.4 dal quale emerge che il sottosuolo del sito di progetto è caratterizzato da un rischio di liquefazione basso; si segnala peraltro che in caso di sisma di magnitudo elevata, anche senza liquefazione, non possono comunque essere esclusi, data l'eterogeneità laterale e verticale della granulometria del sottosuolo olocenico in esame, possibili fenomeni di assestamenti/cedimenti differenziali dei terreni di fondazione.

7. VINCOLISTICA GEOLOGICA

Ai sensi dell'art. 2 c. 1 della Delibera della C.I.P. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n. 40/2024, a far data dall'8/04/2024, trovano applicazione le mappe di cui all'art. 6 della disciplina di Piano del PAI distrettuale che, dalla medesima data, sostituiscono quelle dei Piani di Bacino regionali; in particolare le mappe di cui all'art. 6 c. 1 della disciplina del PAI dissesti costituiscono il riferimento cartografico unico in materia di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica. Ai sensi dell'art. 4 della Delibera CIP 40/2024, nelle more dell'emanazione delle disposizioni regionali di attuazione in campo urbanistico, continuano invece a trovare applicazione le disposizioni del Piano di Bacino regionale, nella fattispecie "Piano di Bacino Torrente Merula" Regione Liguria, e le ulteriori disposizioni regionali.

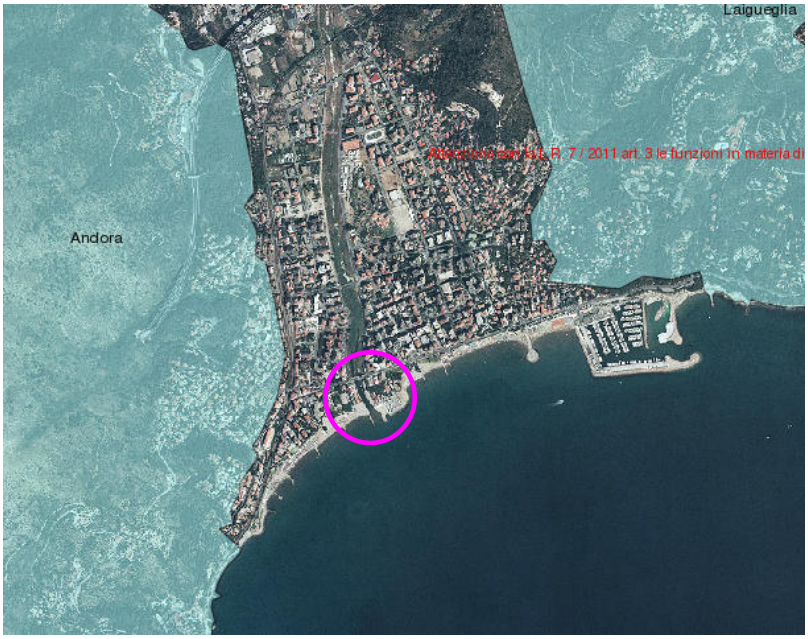
Si riporta quindi di seguito l'estratto della Mappa di Pericolosità del PAI Dissesti distrettuale sul quale è stata cerchiata l'area di intervento.



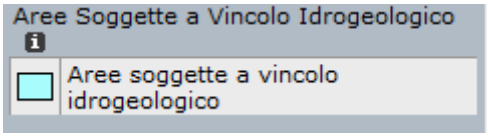


La visione della Mappa evidenzia che il PAI non classifica l'area di intervento in quanto con pericolosità ancora inferiore al livello minimo P1 della classificazione del PAI stesso; per questa area, caratterizzata quindi dall'assenza di problematiche di stabilità morfologica, le norme di attuazione rimandano alla presentazione al Comune di una relazione specialistica che verifichi la fattibilità geologica del progetto.

La visione del Geoportale della Provincia di Savona ha permesso di verificare che l'area del PUO non ricade nelle aree sottoposte a vincolo idrogeologico (rif. figura a seguire).



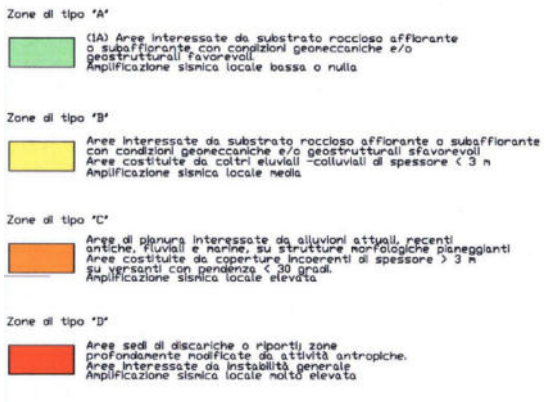
VINCOLO IDROGEOLOGICO



Nella "Carta di zonazione geologica-tecnica in prospettiva sismica", facente parte del Piano Urbanistico Comunale (PUC) di Andora, l'area del PUO nelle "Zone tipo C – Aree di pianura interessate da alluvioni attuali e recenti antiche, fluviali e marine, su strutture morfologiche pianeggianti – Amplificazione sismica locale elevata".



ZONAZIONE GEOLOGICA PUC



Per queste zone le Norme geologiche del PUC prevedono che lo studio geologico arrivi, come aspetti principali, a definire la descrizione di dettaglio della situazione litostratigrafica locale mediante accertamenti geognostici, le caratteristiche geotecniche del sottosuolo e suo comportamento in relazione ad interventi di varia natura, la presenza di livelli sabbiosi liquefacibili e le caratteristiche della circolazione idrica sotterranea.

7. FATTIBILITA' GEOLOGICA

il progetto idraulico in esame prevede i seguenti interventi (rif. elaborati progetto idraulico):

- Intervento 1: realizzazione di arginatura lungo la sponda sinistra del torrente per uno sviluppo di 110 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra;
- Intervento 2: realizzazione di arginatura lungo la sponda sinistra del torrente a valle di quella del punto precedente per uno sviluppo di 40 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra;
- Intervento 3: realizzazione di muratura intestata sulle esistenti opere di difesa spondale lungo la sponda destra del torrente per uno sviluppo di 110 metri, da realizzarsi tramite muratura in cemento armato rivestita in pietra al di fuori delle aree di proprietà.

Ai fini dell'analisi della fattibilità geologica di tali interventi in progetto valgono le seguenti considerazioni, prescrizioni e raccomandazioni:

- il rilevamento dell'area di progetto e l'analisi dei documenti e dei dati geologici, geognostici e sismici raccolti hanno permesso una ricostruzione affidabile del quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del contesto locale nel quale saranno inserite le opere spondali in progetto
- le aree prossime alle sponde del corso d'acqua non hanno, data la loro morfologia sub-pianeggiante, problematiche di stabilità come peraltro confermato dalla Mappa Pericolosità del PAI. Ciò nonostante, si evidenzia però che, alla scala della stabilità più locale, le sponde del Torrente Merula, nel tratto di progetto, possono essere soggette, durante gli eventi di piena, ad erosione spondale con possibili fenomeni di scalzamento delle strutture presenti o in progetto
- l'analisi dei dati delle indagini geognostiche, geotecnici e sismiche reperite ha permesso di ricostruire il modello stratigrafico e la caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni del sottosuolo locale
- la scelta e le verifiche numeriche delle fondazioni delle opere spondali dovranno, nel rispetto dei dettami delle NTC2018, essere adeguate al quadro stratigrafico, idrogeologico, geotecnico e sismico ricostruito

- le fondazioni delle strutture spondali in progetto dovranno essere integrate da opere speciali (es. colonne in jet-grouting) che evitino e contrastino il possibile fenomeno erosivo di scalzamento da parte delle acque del torrente Merula durante gli eventi di piena.
- le lavorazioni di scavo e di realizzazione delle opere spondali dovranno essere progettate ed organizzate in modo da non interferire con la stabilità dei fabbricati esistenti in sponda destra e delle spalle del ponte della S.S. n. 1 Aurelia. In tale ottica sarà eseguito, prima dell'inizio dei lavori, un verbale testimoniale dello stato di consistenza delle strutture ed opere esistenti.

In conclusione, considerate le caratteristiche geologico-tecniche del sito in esame e con il rispetto delle prescrizioni e raccomandazioni appena sopra elencate, si ritiene ammissibile l'inserimento delle opere in progetto nel contesto geologico-geomorfologico-idrogeologico-sismico dell'area di progetto.

Si attesta quindi la fattibilità geologica ai sensi delle NTC2018, delle norme del PAI/Piano di Bacino e delle norme geologiche del PUC.

9. CONCLUSIONI

Lo studio dell'area di intervento ha permesso di ricostruire le caratteristiche geologiche-geomorfologiche-idrogeologiche e geotecniche-sismiche del contesto nel quale saranno inserite le opere in progetto.

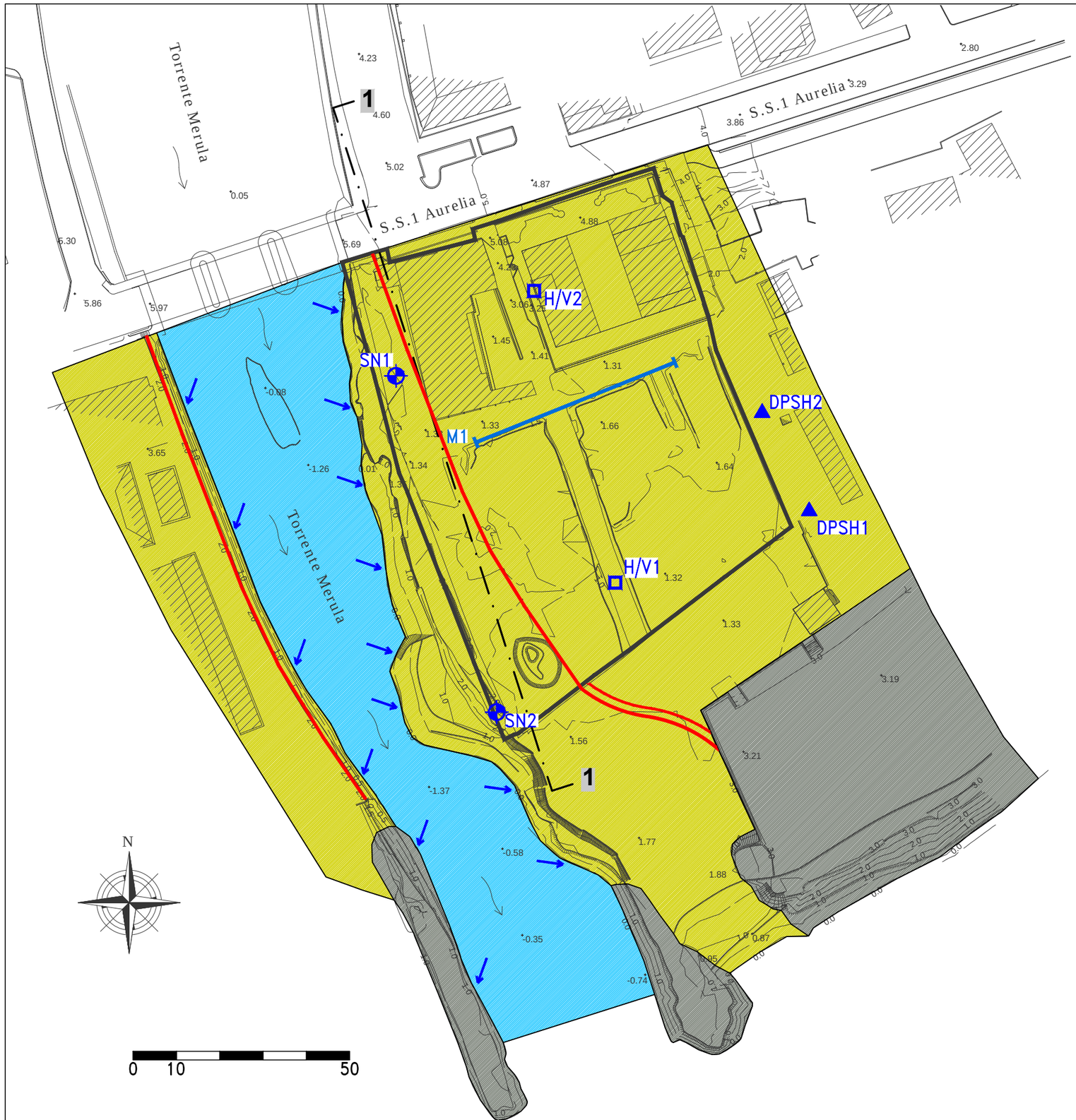
Con il rispetto delle prescrizioni e raccomandazioni illustrate nel capitolo precedente, le caratteristiche di tale contesto ammettono l'inserimento delle opere in progetto, per cui si attesta la loro fattibilità geologica ai sensi delle NTC2018, delle norme del PAI/Piano di Bacino e delle norme geologiche del PUC.

Si rimanda invece agli elaborati di progetto e alle specifiche relazioni di calcolo per quanto riguarda e le scelte e le verifiche idrauliche-geotecniche-sismiche-strutturali delle opere in progetto.

ALLEGATI

CARTA GEOLOGICA

scala 1:1000



LEGENDA

Depositi alluvionali mobili attuali dell'alveo T.Merula: ghiaia ciottolosa in matrice sabbiosa, sabbiosa limosa

Depositi alluvionali/Depositi marini: sabbie con ghiaia più o meno limose, con livelli/lenti sabbiosi e possibili orizzonti/le fini argillosi limosi di origine palustre–lacustre

Terreni di riporto e scogliere

Erosione spondale durante le piene con possibile scalzamento delle opere di argine

IDROGEOLOGIA: falda acquifera salmastra alla quota media 0 s.l.m.

INDAGINI PREGRESSE REPERITE

SN — Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

DPSH — Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH

H/V — Prova di rumore ambientale tipo HVSR

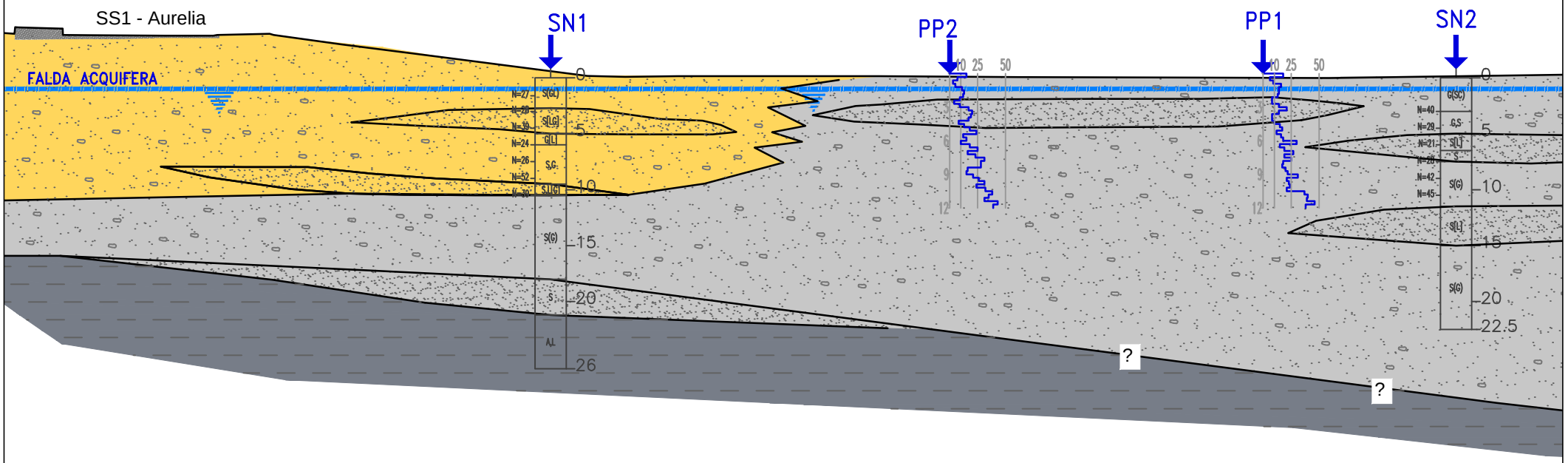
INDAGINI ESEGUITE PER IL PROGETTO IN ESAME

M1 — Stendimento sismico tipo MASW

Opere spondali di messa in sicurezza idraulica

Limite area intervento edilizio di rigenerazione urbana

SEZIONE STRATIGRAFICA 1-1



Sabbie con ghiaia, più o meno limose ossidate

Sabbie, sabbie limose ossidate, da medio fini a fini

Sabbie con ghiaia, più o meno limose

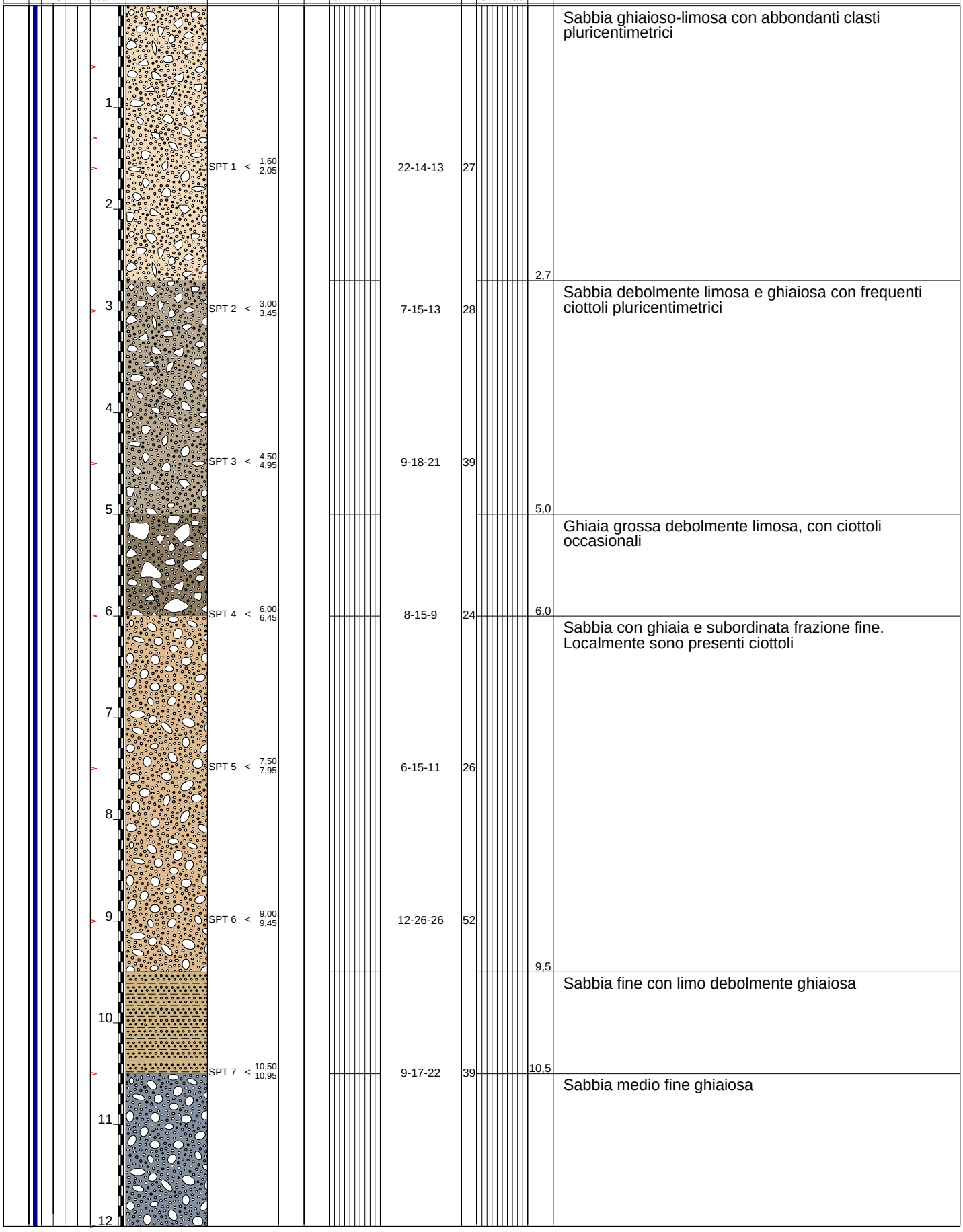
Sabbie, sabbie limose generalmente fini

Argille limose

STRATIGRAFIA - SN 1

SCALA 1 : 50 Pagina 1/3

Riferimento: Campeggio	Sondaggio: SN 1
Località: Andora	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente sas	Data: 9 marzo 2006
Coordinate:	Redattore: Dott. Geol. Matteo Del Mastro
Perforazione: Carotaggio a rotazione continua	



STRATIGRAFIA - SN 1

SCALA 1 : 50 Pagina 2/3

Riferimento: Campeggio	Sondaggio: SN 1
Località: Andora	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente sas	Data: 9 marzo 2006
Coordinate:	Redattore: Dott. Geol. Matteo Del Mastro
Perforazione: Carotaggio a rotazione continua	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					13										Sabbia medio fine ghiaiosa
					14										
					15										
					16										
					17										
					18									18,0	
					19										Sabbia fine
					20										
					21									21,2	
					22										Argilla con limo
					23									23,0	
					24										Argilla con limo e materiale vegetale in stato di decomposizione

STRATIGRAFIA - SN 1

SCALA 1 : 50 Pagina 3/3

Riferimento: Campeggio	Sondaggio: SN 1
Località: Andora	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente sas	Data: 9 marzo 2006
Coordinate:	Redattore: Dott. Geol. Matteo Del Mastro
Perforazione: Carotaggio a rotazione continua	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
101					25 26										26,5	Argilla con limo e materiale vegetale in stato di decomposizione



Sondaggio S1 Cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri



Sondaggio S1 Cassetta C2 da 5,00 a 10,00 metri



Sondaggio S1 Cassetta C3 da 10,00 a 15,00 metri



Sondaggio S1 Cassetta C4 da 15,00 a 20,00 metri



Sondaggio S1 Cassetta C5 da 20,00 a 25,00 metri

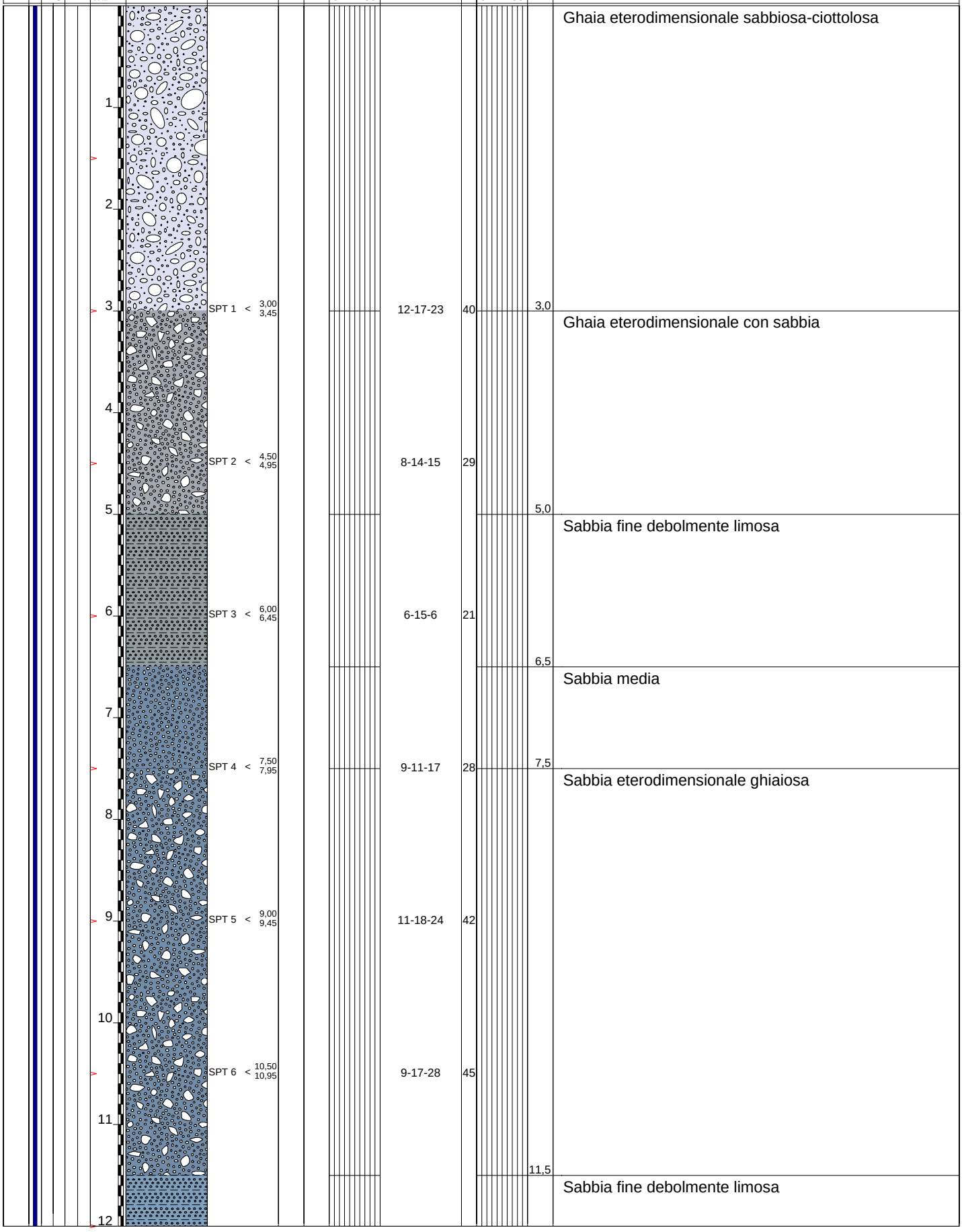


Sondaggio S1 Cassetta C6 da 25,00 a 26,50 metri

STRATIGRAFIA - SN 2

SCALA 1 : 50 Pagina 1/2

Riferimento: Campeggio	Sondaggio: SN 2
Località: Andora	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente sas	Data: 11 marzo 2006
Coordinate:	Redattore: Dott. Geol. Matteo Del Mastro
Perforazione: Carotaggio a rotazione continua	



STRATIGRAFIA - SN 2

SCALA 1 : 50 Pagina 2/2

Riferimento: Campeggio	Sondaggio: SN 2
Località: Andora	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente sas	Data: 11 marzo 2006
Coordinate:	Redattore: Dott. Geol. Matteo Del Mastro
Perforazione: Carotaggio a rotazione continua	

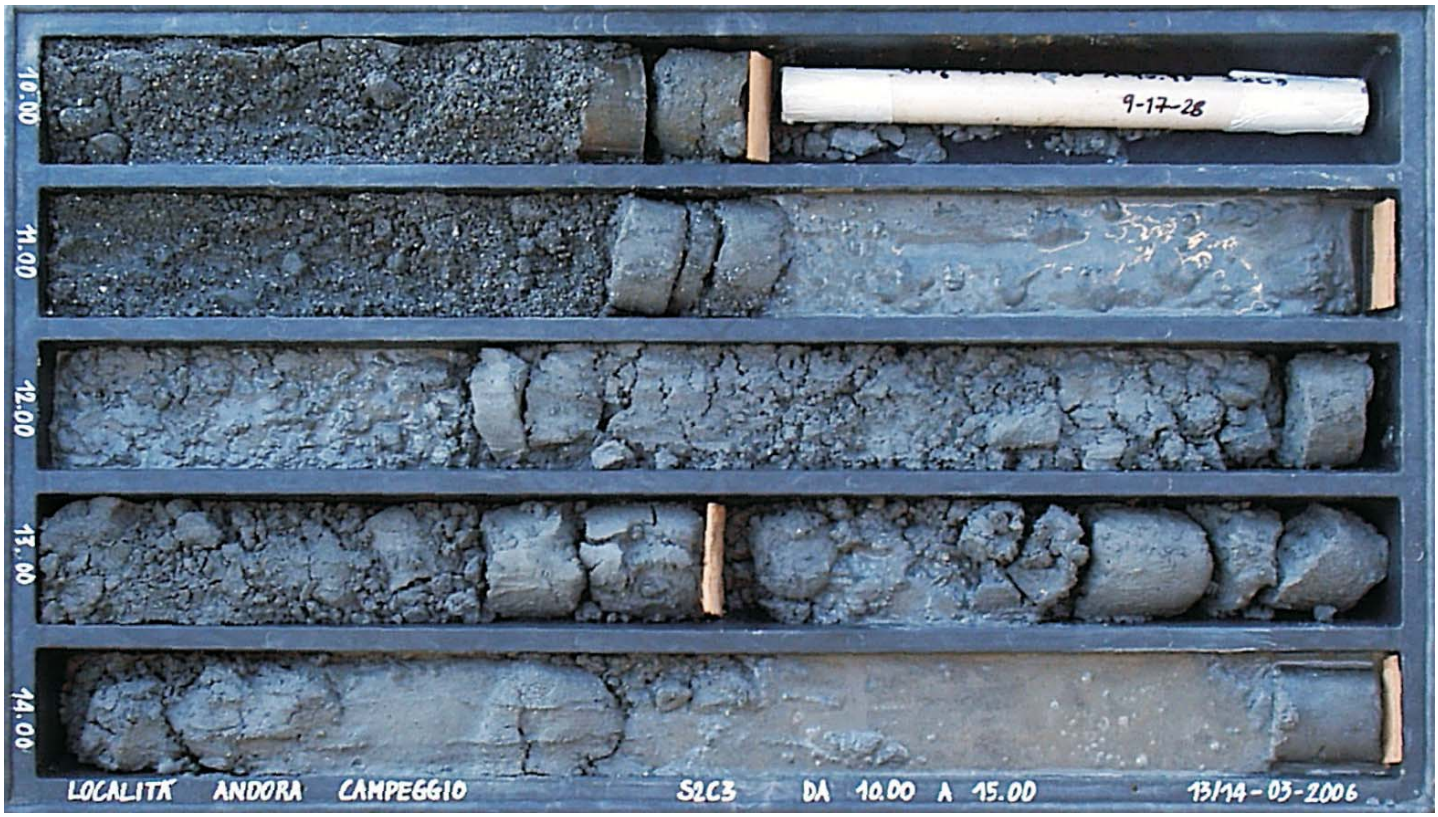
ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	S.P.T. N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					13										Sabbia fine debolmente limosa
					14										
					15									15,0	
					16										Sabbia medio-fine ghiaiosa
					17										
					18										
					19										
					20										
					21										
					22										
101														22,5	



Sondaggio S2 Cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri



Sondaggio S2 Cassetta C2 da 5,00 a 10,00 metri



Sondaggio S2 Cassetta C3 da 10,00 a 15,00 metri



Sondaggio S2 Cassetta C4 da 15,00 a 20,00 metri



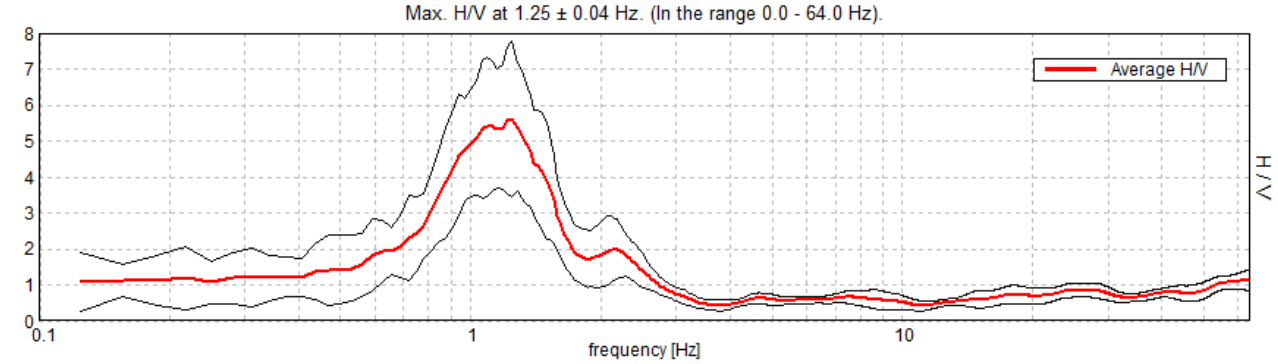
Sondaggio S2 Cassetta C5 da 20,00 a 22,50 metri

MISURA GEOFISICA RAPPORTI SPETTRALI H/V – MISURA N.1
COMUNE DI ANDORA – EX COMPLESSO ARISTON

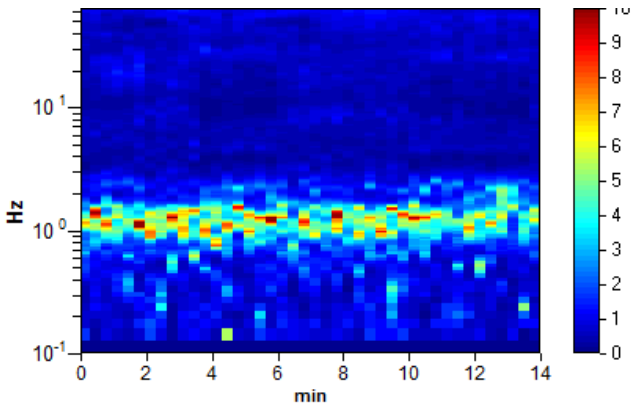
Instrument: TRZ-0015/01-09
Start recording: 20/07/11 10:27:08 End recording: 20/07/11 10:41:09
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

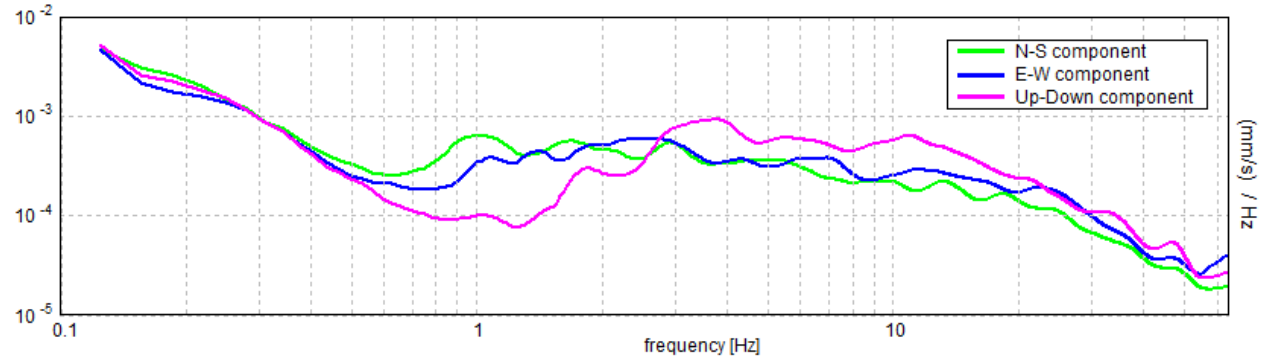
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



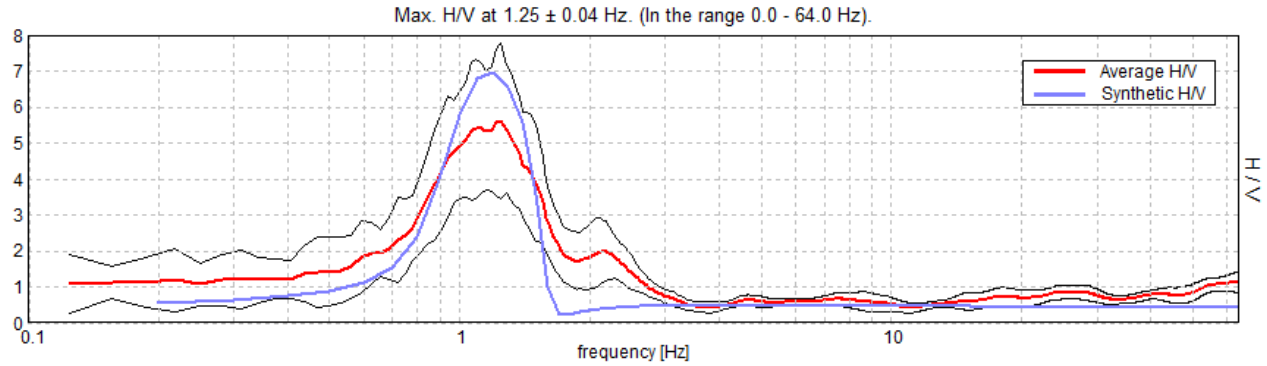
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

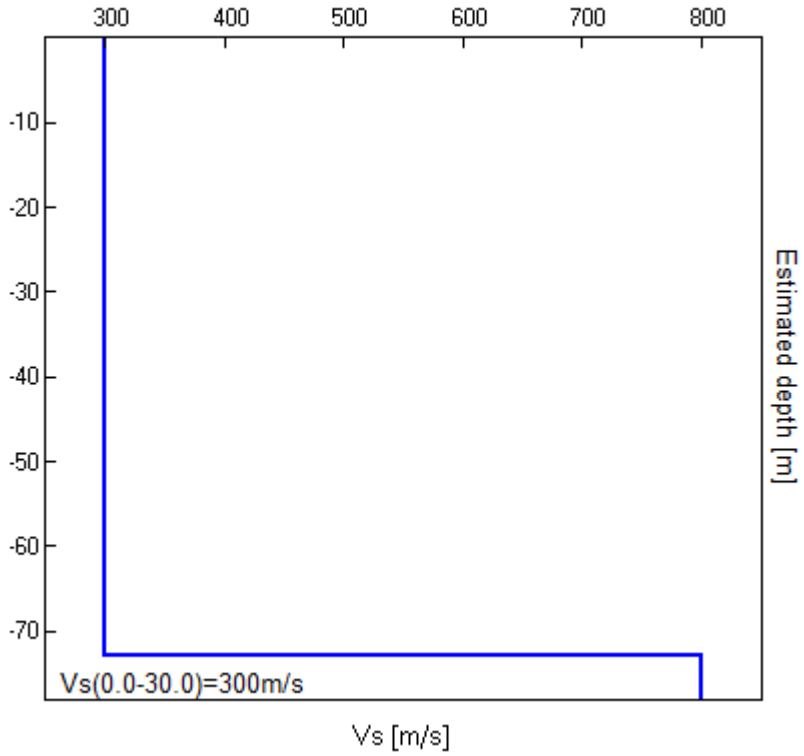


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
73.00	73.00	300	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=300m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 1.25 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.25 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1050.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 2 out of 61 times		NO
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.61 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01651| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.02063 < 0.125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0618 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

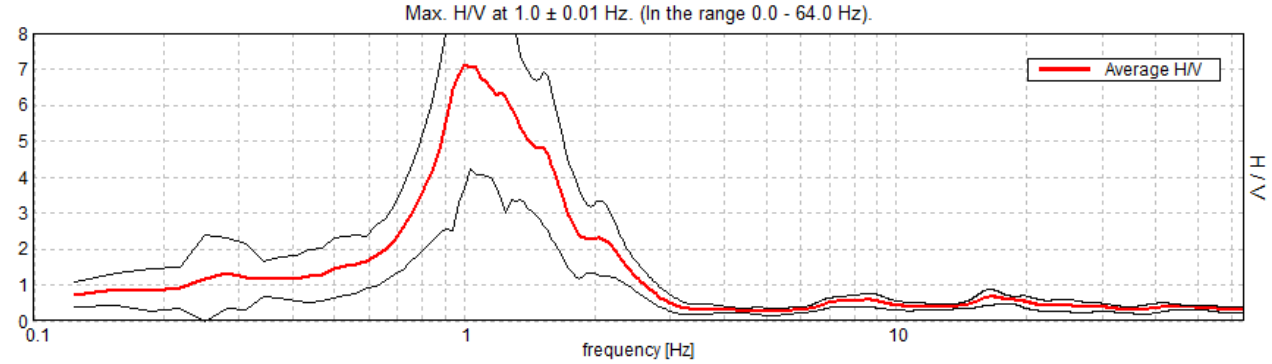
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

MISURA GEOFISICA RAPPORTI SPETTRALI H/V – MISURA N.2
COMUNE DI ANDORA – EX COMPLESSO ARISTON

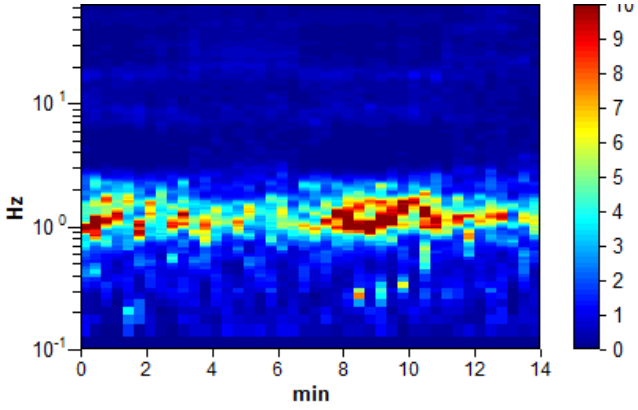
Instrument: TRZ-0015/01-09
Start recording: 20/07/11 10:44:13 End recording: 20/07/11 10:58:14
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

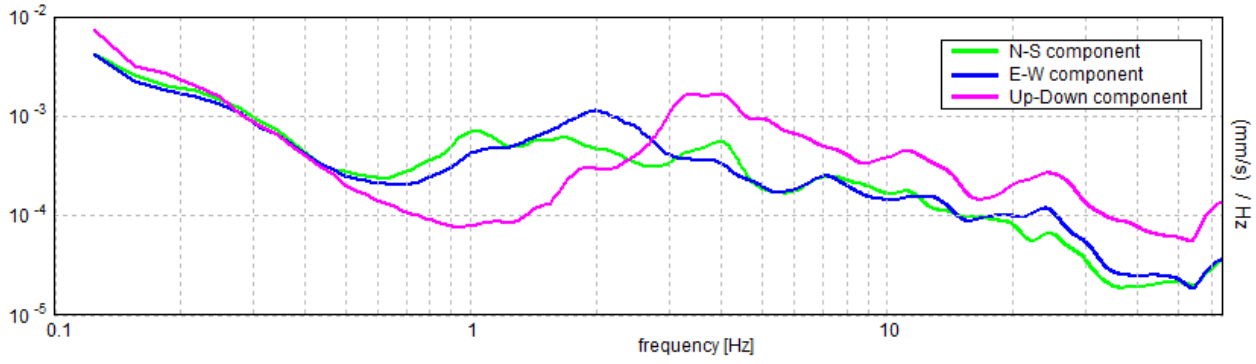
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



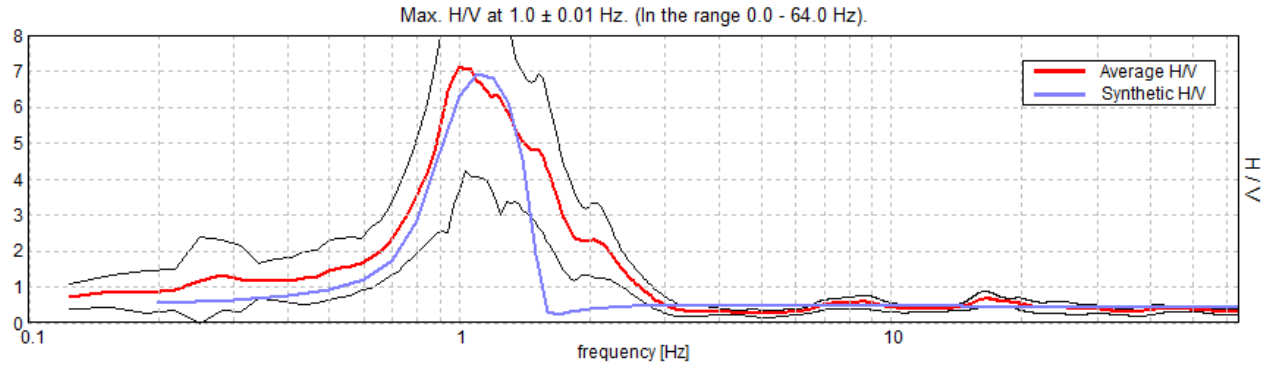
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

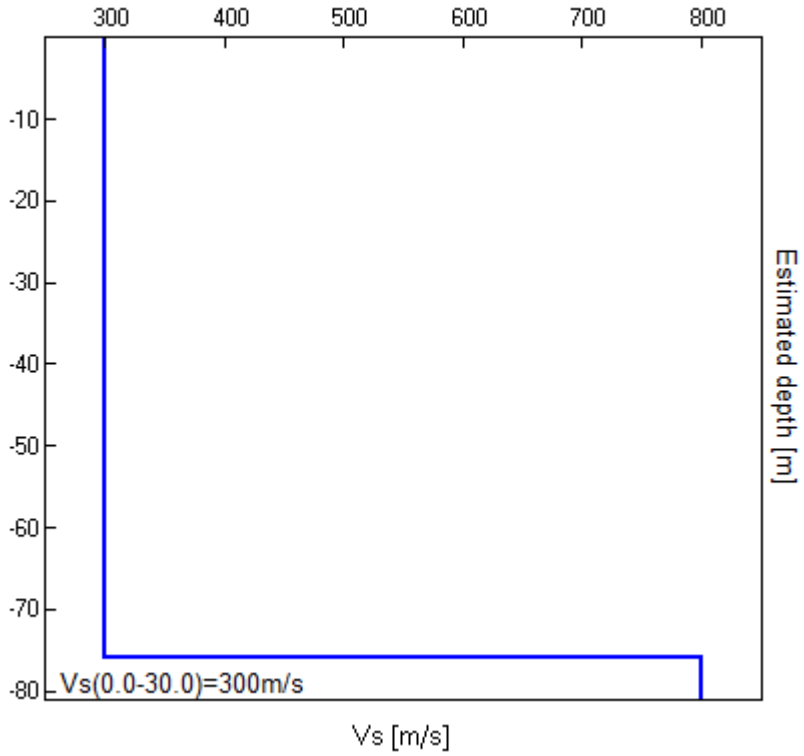


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
76.00	76.00	300	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=300m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

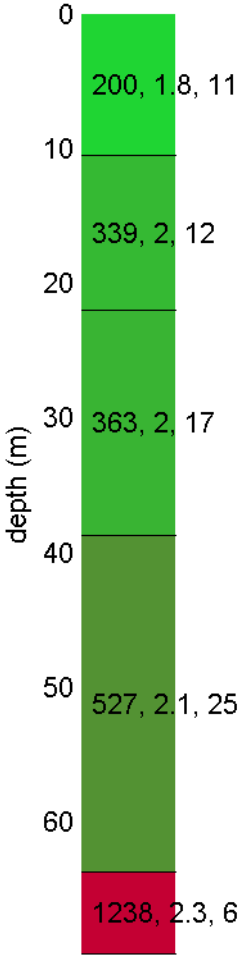
Max. H/V at 1.0 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	840.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 19 out of 49 times		NO
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	7.10 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00446| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00446 < 0.1	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.6641 < 1.78	OK	

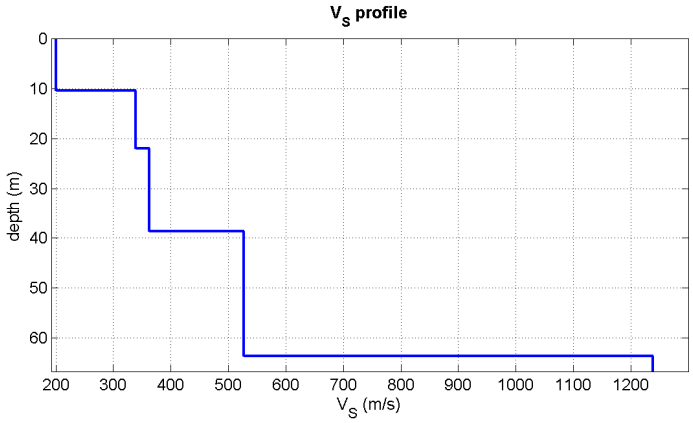
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

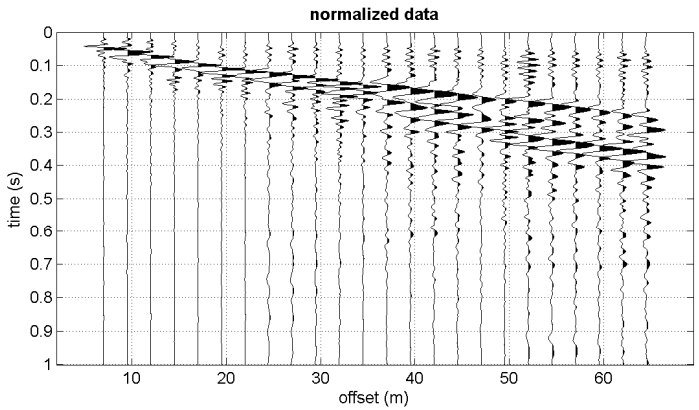
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

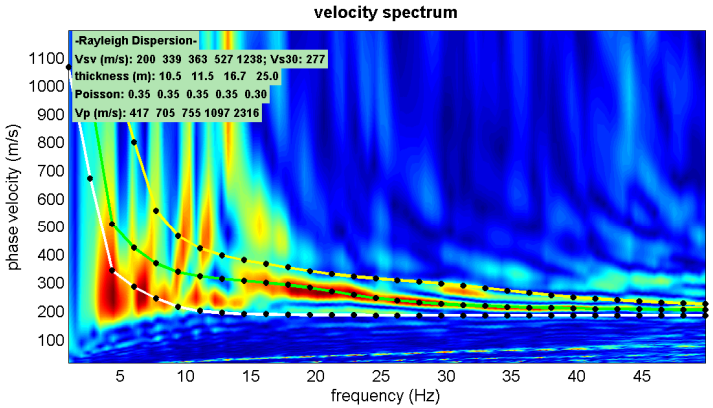
Subsurface model



www.winmasw.com







V_S (m/s)	density (gr/cm^3)	thickness (m)