



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara Marittima, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona

## PORTO DI PESCARA

Realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca

PONTE DEL MARE



PORTO CANALE PE

## PROGETTO ESECUTIVO

Tavola n.

A\_12

RELAZIONE SPECIALISTICA GEOLOGICA  
BANCHINA NORD - BANCHINA SUD

SCALA:

A/4

IL PROGETTISTA

Arch. Piero Pandolfi

Redazione relazione specialistica  
Tecnico Geologo Maria Luisa Milia

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

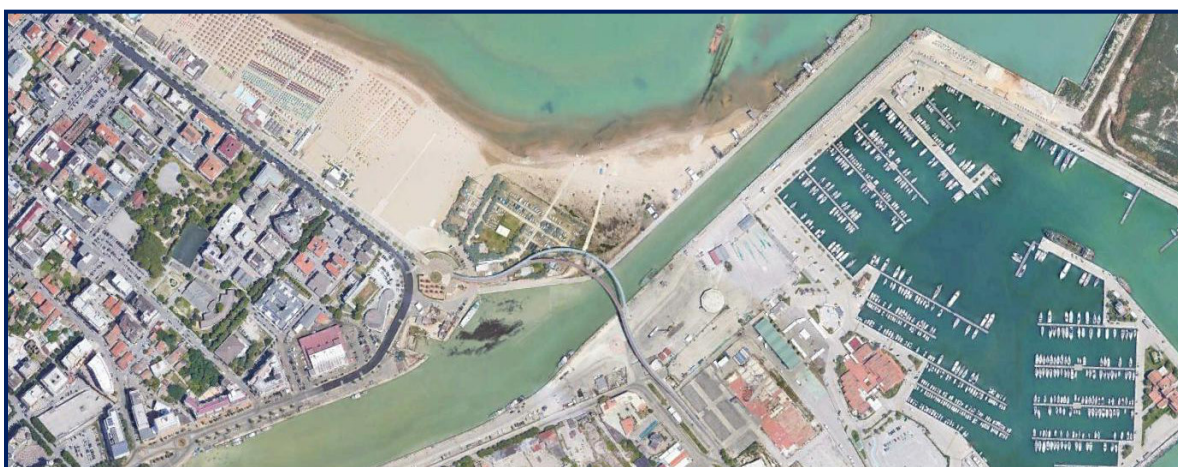
Ing. Gianluca Pellegrini

Ancona, lì 31/07/2019

# COMUNE DI PESCARA

*(Provincia di Pescara)*

## PORTO DI PESCARA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI STRUTTURALI A SOSTEGNO DELLA PESCA



## RELAZIONE GEOLOGICA RELAZIONE SULLE INDAGINI MODELLAZIONE SISMICA

Committente



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara Marittima, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona

Tecnico

**Dott. Geol. Milia Maria Luisa**



**Luglio 2019**

**MARIA LUISA MILIA**  
*geologo*

Via Paolo de Cecco, 70  
65129 - Pescara  
Tel: 338.2908116

email: l.milia@unich.it

pec: l.milia@epap.sicurezzapostale.it

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>13</b>

## **TAVOLE**

TAVOLA 1 - CARTA TOPOGRAFICA

TAVOLA 2 - CARTA GEOLOGICA

TAVOLA 3 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA - P.A.I.

TAVOLA 4 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA - P.S.D.A.

TAVOLA 5 - CARTA GEOLOGICO-TECNICA

TAVOLA 6 - CARTA DELLE MOPS

TAVOLA 7 - UBICAZIONE INDAGINI

## **ALLEGATI**

RELAZIONE TECNICA INDAGINI SISMICHE

## **1 INTRODUZIONE**

La presente relazione illustra i risultati di uno studio geologico realizzato nel Comune di *PESCARA*, commissionato da *AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE* e finalizzato al progetto *PORTO DI PESCARA - REALIZZAZIONE DI INTERVENTI STRUTTURALI A SOSTEGNO DELLA PESCA*; in particolare, il progetto prevede la realizzazione di una serie di piccoli interventi migliorativi in 2 aree distinte poste, rispettivamente, nella banchina nord e nella banchina sud del porto stesso.

Le aree di studio non sono interessate da dissesti ai sensi del *PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO - "FENOMENI GRAVITATIVI E PROCESSI EROSIVI"* - L. 18.05.1989 n. 183, art. 17, comma 6 ter e s.m.i. (TAV. 3), sono poste in corrispondenza di aree a *PERICOLOSITÀ ELEVATA* ai sensi del *PIANO STRALCIO DIFESA ALLUVIONI - P.S.D.A.* (TAV. 4) e sono classificate come zone 2011 - *ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE LOCALE* ai sensi della *CARTA DELLE M.O.P.S.* della Microzonazione Sismica del territorio comunale (TAV. 6).

Lo studio è stato svolto secondo le seguenti fasi:

- Reperimento di dati bibliografici.
- Rilevamento geologico e geomorfologico.
- Esecuzione di n° 3 indagini sismiche a rifrazione.
- Esecuzione di n° 3 indagini sismiche MASW.
- Esecuzione di n° 3 indagini sismiche HVSR.
- Modellazione geologico-tecnica del sito.
- Modellazione sismica del sito.
- Verifica a liquefazione.

A causa delle difficoltà tecniche e logistiche del sito, non è stato possibile realizzare indagini geotecniche di tipo diretto e, quindi, sono stati consultati i dati bibliografici a disposizione realizzati in corrispondenza delle aree di studio; in particolare, sono stati esaminati i sondaggi geognostici realizzati per la costruzione del Ponte sul Mare e pubblicati nello studio geologico a corredo del Piano Regolatore Portuale del Comune di Pescara.

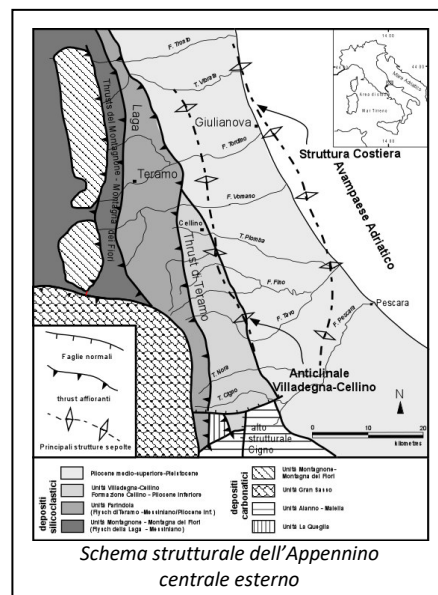
Tutte le suddette fasi sono state ritenute idonee a definire le caratteristiche geologico-tecniche e sismiche del sito, fornendo elementi utili per le soluzioni progettuali ai sensi del *D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.



## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

L'area di studio, compresa nel foglio n° 141 "PESCARA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, nel foglio n° 351 "PESCARA" del Progetto C.A.R.G. in scala 1:50.000 e nel foglio est della Carta Geologica dell'Abruzzo di L. VEZZANI & F. GHISSETTI, è ubicata in un'area costiera del Comune di Pescara.

Da un punto di vista geologico (TAV. 2), il territorio comunale di Pescara è parte del settore più orientale dell'area abruzzese esterna; i depositi presenti in tale zona corrispondono alla successione silicoclastica del Pliocene superiore - Pleistocene inferiore (*Formazione Mutignano*), posti in concordanza ai sottostanti depositi del Pliocene medio - superiore p.p. I depositi affioranti si collocano temporalmente dopo l'ultima fase di migrazione verso l'avampaese del fronte deformativo e del depocentro torbiditico pliocenico. La fase di segmentazione del depocentro principale in depocentri minori avviene in concomitanza della crescita della struttura costiera, databile al Pliocene inferiore terminale; da questo momento, fino al top del Pliocene superiore, le successioni sedimentarie registrano un generale decremento dei tassi di subsidenza tettonica e mostrano una progressiva tendenza *shallowing upward*. Questi caratteri possono essere riferiti ad un contesto evolutivo di bacino di piggy-back. A partire dal Pliocene superiore si impostano condizioni di mare basso, come evidenziato dalla presenza di sistemi di shoreface in corrispondenza della Struttura Costiera che raggiungono la loro massima espressione durante il Pleistocene. I depositi registrano una fase di transizione tra un periodo durante il quale l'architettura delle successioni era controllata da intensa attività tettonica (con sollevamenti a scala locale e progressiva migrazione del depocentro verso l'avampaese adriatico) ed un periodo durante il quale le successioni risultano dominate da importanti variazioni climatiche e da flessurazione a scala regionale. Per effetto di questo fenomeno, che ha avuto intensità progressivamente maggiore verso l'interno della catena, i depositi post-orogenici del versante adriatico hanno assunto un caratteristico assetto monoclinale con immersione verso E-NE, con pendenza progressivamente decrescente in senso O-E. In discordanza sui termini della successione marina Plio-Pleistocenica, affiorano i depositi continentali del Pleistocene medio basale, di ambiente variabile tra conoide alluvionale, piana alluvionale e lago costiero. Il paesaggio continentale era caratterizzato, ai piedi dei rilievi occidentali, da una serie di conoidi alluvionali coalescenti che bordavano un'ampia piana alluvionale, nella quale si sviluppava un reticolo idrografico di tipo braided. I depositi continentali di origine fluviale, ampiamente diffusi nel territorio ad opera del fiume Pescara, sono tradizionalmente suddivisi in quattro ordini di terrazzi e classificati, nella più recente cartografia geologica CARG, all'interno di diversi Sintemi. Le alluvioni del primo e del secondo ordine sono attribuite al Pleistocene inferiore - medio, quelle del terzo ordine al Pleistocene superiore, mentre il quarto ordine appartiene all'Olocene. Dove terminano i rilievi collinari, si sviluppa una fascia litorale relativamente poco estesa, formata da sedimenti di origine



marina di variabile granulometria, da sabbie fini a ghiaie. Solo localmente sono presenti dune di limitate dimensioni, stabilizzate da vegetazione arborea e arbustiva.

Scendendo nel dettaglio, l'area di studio è posta in una zona di transizione fluvio-deltizia caratterizzata dalla presenza sia dei depositi alluvionali del Fiume Pescara sia dei depositi di spiaggia costieri; la ciclica prevalenza dell'uno o dell'altro dominio paleogeografico ha generato la giustapposizione di terreni con caratteristiche variabili in maniera sensibile, sia arealmente che verticalmente.

Da un punto di vista geomorfologico generale, l'area pedemontana Adriatica si sviluppa in tempi sicuramente più recenti, a partire dalla fase di emersione del Pleistocene inferiore. L'assetto morfostrutturale è legato all'evoluzione del dominio di avanfossa adriatico, con successioni litologiche argilloso-sabbioso-conglomeratiche di ambiente marino disposte in assetto monoclinale debolmente inclinato verso NE. Il sollevamento ha determinato l'emersione ed il modellamento di un rilievo solcato da valli conseguenti a direzione circa SO-NE; alcune di esse sono confinate all'area pedemontana, altre si sviluppano dal fronte della catena e le principali nascono dal cuore della catena, attraversando la fascia pedemontana con ampie piane alluvionali; queste sono interessate da depositi fluviali organizzati in una serie di almeno quattro ordini di terrazzi riferibili all'intervallo Pleistocene medio - Olocene, mentre i versanti sono coperti da estese coltri di depositi di frana e colluviali. Le valli secondarie sono caratterizzate da evidenti indizi di morfotettonica quali gomiti fluviali, valli sospese, confluenze contromonte. Le relazioni di interconnessione tra tali indizi ed i terrazzi alluvionali dei diversi ordini, nelle valli principali e secondarie, unitamente alle indicazioni fornite dai dati cronostratigrafici, evidenziano il modellamento di un reticolo idrografico di tipo rettangolare; tale assetto si è sviluppato nella parte finale del Pleistocene medio, condizionato da sistemi di fratture e dislocazioni associate ai processi di sollevamento, a prevalente direzione SW-NE, N-S, NW-SE, ed è stato progressivamente incorporato nella riorganizzazione del reticolo idrografico fino alla configurazione attuale, in cui rimangono evidenti numerose anomalie (orientazioni del reticolo, confluenze contromonte, punti di flesso, catture fluviali, etc.).

In particolare, le aree di studio sono poste in corrispondenza della banchina nord e sud lungo la foce del Fiume Pescara, a poca distanza dalla linea di costa adriatica e presenta, pertanto, una morfologia subpianeggiante.

Da un punto di vista idrogeologico, il territorio comunale di Pescara è parte del Dominio alluvionale del Fiume Pescara, permeabile per porosità; le dimensioni e le capacità idriche dei depositi alluvionali aumentano verso valle parallelamente allo spessore delle alluvioni, che raggiungono anche valori di circa 50 m. Tale acquifero è costituito da ghiaie con ampie lenti di limi-argillosi, da limi-sabbiosi, da sabbie e da sabbie ghiaiose; la distribuzione varia sensibilmente all'interno di ciascun corpo sedimentario, così come risultano molto variabili gli spessori tra le diverse pianure. In generale, procedendo da monte verso valle si individuano due zone con caratteristiche idrogeologiche diverse: nella parte alta predomina un acquifero monostrato con corpi ghiaiosi, spesso affioranti in superficie, e coperture limoso-argillose e limoso-sabbiose generalmente poco spesse; nella parte bassa si hanno invece situazioni molto differenziate con individuazione di acquiferi multistrato nei quali le lenti di materiali fini, tuttavia, non impediscono il contatto idraulico tra i vari corpi ghiaiosi e sabbiosi (di fatto generando un acquifero monostrato).

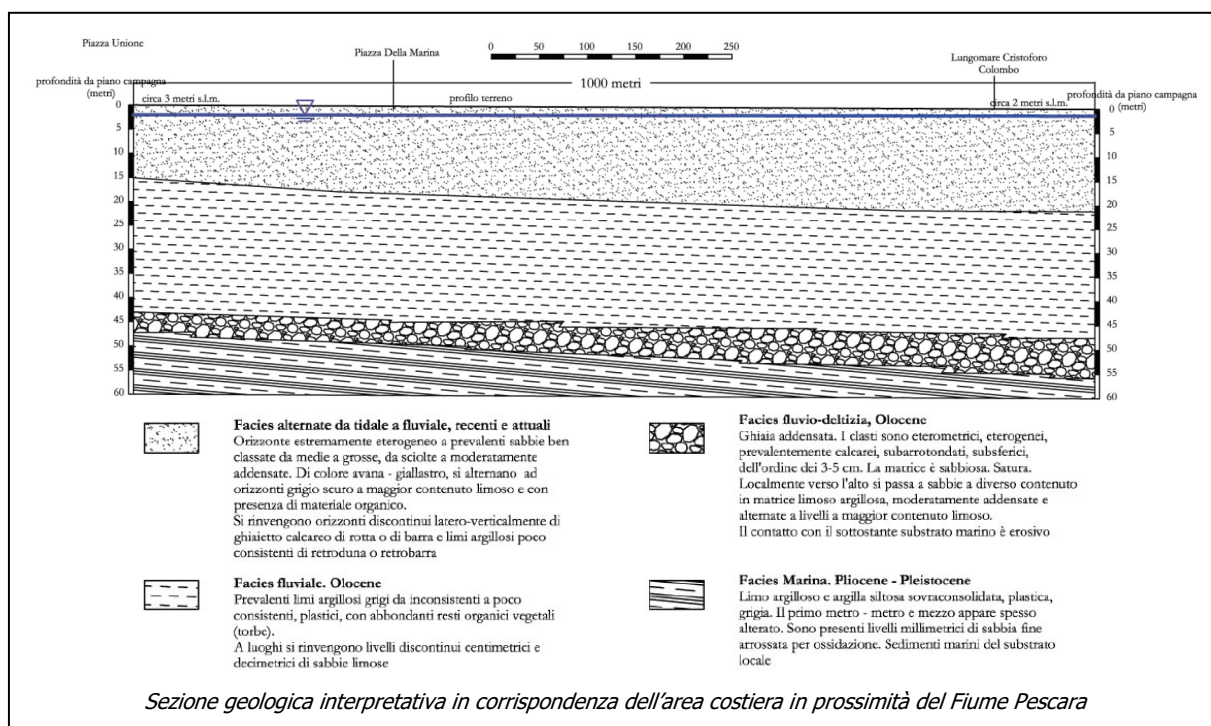
In particolare, nel sito è presente una falda acquifera superficiale a circa 1,5 m di profondità; è importante ricordare che tale livello piezometrico può evidenziare oscillazioni metriche stagionali ed areali al variare delle condizioni meteorologiche ed idrogeologiche.

#### 4 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

Dall'insieme dei dati emersi dal rilevamento geologico-geomorfologico, da quelli bibliografici e dall'esecuzione delle indagini in sito, si è potuto ricostruire l'assetto litostratigrafico e geotecnico del sito indagato. Si precisa che, a causa delle difficoltà tecniche e logistiche del sito, non è stato possibile realizzare indagini geotecniche di tipo diretto e, quindi, sono stati consultati i dati bibliografici a disposizione realizzati in corrispondenza delle aree di studio; in particolare, sono stati esaminati i sondaggi geognostici realizzati per la costruzione del Ponte sul Mare e pubblicati nello studio geologico a corredo del Piano Regolatore Portuale del Comune di Pescara.

L'area di studio si colloca in corrispondenza della zona di transizione fluvio-deltizia del Fiume Pescara, caratterizzata dalla presenza sia dei depositi alluvionali fluviali sia dei depositi di spiaggia costieri; la ciclica prevalenza dell'uno o dell'altro dominio paleogeografico ha generato la giustapposizione di terreni con caratteristiche variabili in maniera sensibile (ghiaie, sabbie, limi e torbe), sia arealmente che verticalmente. Tali depositi sono ricoperti da materiale di riporto costituito da frammenti di pietrisco e terreni limoso sabbiosi, utilizzati per realizzare le banchine poste a nord e a sud del Fiume Pescara. Nel sito è presente una falda acquifera superficiale a circa 1,5 m di profondità; è importante ricordare che tale livello piezometrico può evidenziare oscillazioni metriche stagionali ed areali al variare delle condizioni meteorologiche ed idrogeologiche.

Nella seguente figura è riportata una sezione schematica tipo dell'area costiera in corrispondenza della zona di Portanuova, rappresentativa dell'area di studio.



È possibile schematizzare il terreno nel seguente profilo litotecnico cui il progettista può fare riferimento per le sue valutazioni di carattere tecnico; poiché il progetto prevede la realizzazione di



strutture sia lungo la banchina nord che lungo la banchina sud, vengono riportati i profili al di sotto di entrambe le banchine.

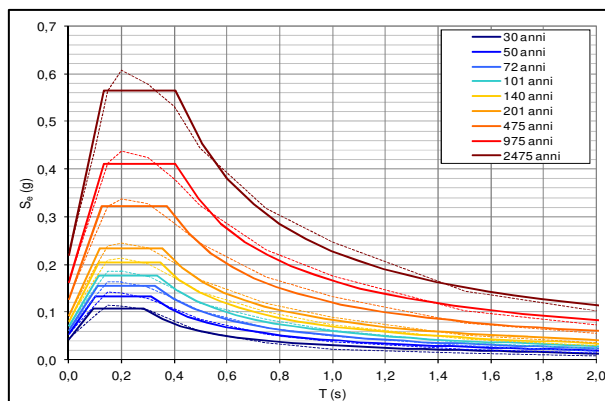
BANCHINA NORD			BANCHINA SUD		
Stratigrafia	Descrizione litologica	Parametri geotecnici	Stratigrafia	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
2,1 m	Terreni di riporto (frammenti di pietrisco, limi e sabbie)		1,6 m	Terreni di riporto (frammenti di pietrisco, limi e sabbie)	
~ 22 m	Sabbie limose con livelli limosi e ghiaiosi	$\gamma' = 1,80 - 1,95 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 25 - 33^\circ$ $c' = 0 - 0,1 \text{ t/m}^2$ $D_r = 50 - 80\%$ $M = 1.000 - 2.500 \text{ t/m}^2$	~ 6 m	Sabbie limose con livelli limosi e ghiaiosi	$\gamma' = 1,80 - 1,90 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 25 - 32^\circ$ $c' = 0 - 0,1 \text{ t/m}^2$ $D_r = 50 - 70\%$ $M = 1.000 - 2.000 \text{ t/m}^2$
~ 47 m	Limi argillosi organici con resti lignei	$\gamma' = 1,70 - 1,90 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 22 - 25^\circ$ $c' = 0 - 0,5 \text{ t/m}^2$ $C_u = 2 - 8 \text{ t/m}^2$ $M = 200 - 1.000 \text{ t/m}^2$	~ 10 m	Ghiaie in matrice sabbiosa	$\gamma' = 2,00 - 2,10 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 33 - 36^\circ$ $c' = 0 \text{ t/m}^2$ $D_r = 70 - 90\%$ $M = 3.000 - 4.000 \text{ t/m}^2$
	Ghiaie in matrice sabbiosa	$\gamma' = 2,00 - 2,10 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 30 - 35^\circ$ $c' = 0 \text{ t/m}^2$ $D_r = 70 - 90\%$ $M > 3.000 \text{ t/m}^2$	~ 20 m	Sabbie limose con livelli limosi e ghiaiosi.	$\gamma' = 1,85 - 1,95 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 28 - 33^\circ$ $c' = 0 - 0,1 \text{ t/m}^2$ $D_r = 60 - 80\%$ $M = 1.500 - 2.500 \text{ t/m}^2$
			~ 47 m	Limi argillosi organici con resti lignei	$\gamma' = 1,70 - 1,90 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 22 - 25^\circ$ $c' = 0 - 0,5 \text{ t/m}^2$ $C_u = 2 - 8 \text{ t/m}^2$ $M = 200 - 1.000 \text{ t/m}^2$
				Ghiaie in matrice sabbiosa	$\gamma' = 2,00 - 2,10 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 30 - 35^\circ$ $c' = 0 \text{ t/m}^2$ $D_r = 70 - 90\%$ $M > 3.000 \text{ t/m}^2$

$\gamma'$  = peso di volume;  $\phi'$  = angolo di attrito;  $c'$  = coesione efficace;  $C_u$  = coesione non drenata;  $D_r$  = densità relativa;  $M$  = modulo edometrico.

## 5 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

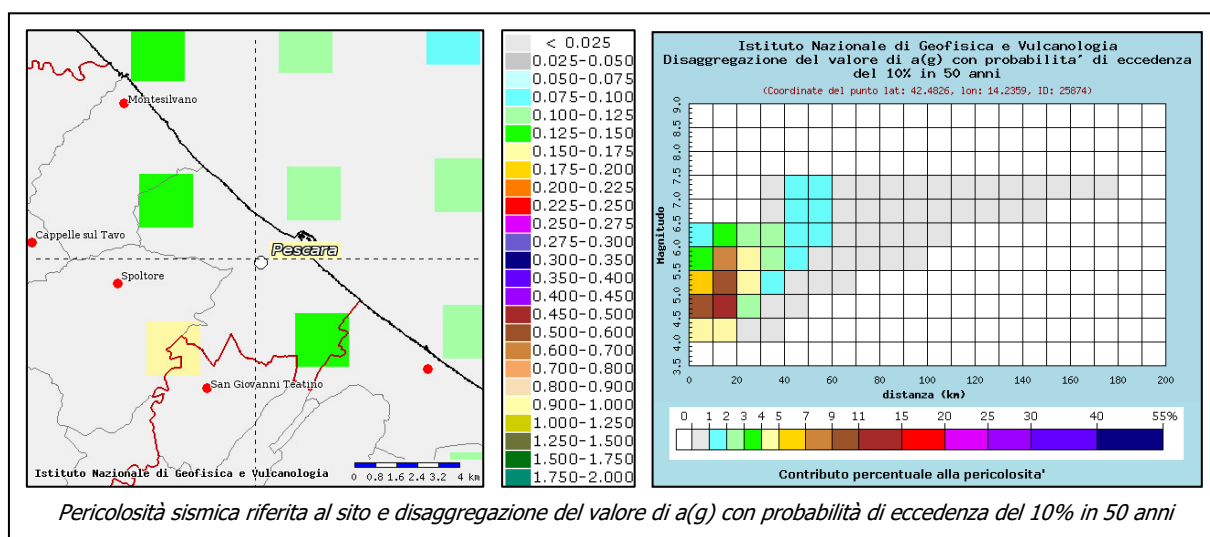
Il sito presenta, in accordo con la procedura prevista nell'allegato A del *D.M. 14/01/2008*, i seguenti parametri sismici con i relativi spettri di risposta elastici, che ne definiscono la *pericolosità sismica di base*.

$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
[anni]	[g]	[-]	[s]
30	0,043	2,487	0,284
50	0,054	2,475	0,310
72	0,062	2,517	0,326
101	0,071	2,500	0,337
140	0,080	2,528	0,346
201	0,093	2,524	0,356
475	0,127	2,549	0,373
975	0,162	2,531	0,402
2475	0,220	2,570	0,404



La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) consente altresì di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza  $R$  capaci di generare terremoti di magnitudo  $M$ . I risultati della disaggregazione dello studio di pericolosità sismica sono disponibili sul sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) per tutto il territorio nazionale, con riferimento ai punti del reticolo in cui esso è stato suddiviso.

Per il sito in esame, il sito web dell'INGV fornisce un valore medio di magnitudo  $M = 5.47$  e distanza epicentrale  $d = 23.2$  km.



Le sismiche a rifrazione evidenziano le seguenti sismostratigrafie delle onde di compressione  $V_p$ :

SR1						
Sismostrato	V <sub>P</sub> minima (m/s)	V <sub>P</sub> media (m/s)	V <sub>P</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	453	507	606	0,6	1,4	2,6
2	696	785	957	5,2	5,9	6,8
3	1.570					
SR2						
Sismostrato	V <sub>P</sub> minima (m/s)	V <sub>P</sub> media (m/s)	V <sub>P</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	473	533	586	1,4	2,1	2,7
2	757	846	923	6,1	6,4	6,9
3	1.654					
SR3						
Sismostrato	V <sub>P</sub> minima (m/s)	V <sub>P</sub> media (m/s)	V <sub>P</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	363	425	464	0,4	1,3	3,0
2	525	647	831	4,6	5,3	5,9
3	1.791					

Le MASW evidenziano i seguenti profili delle onde di taglio V<sub>s</sub>:

MASW1		MASW2		MASW3	
Profondità sismostrato (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Profondità sismostrato (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	Profondità sismostrato (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1,2	193	1,0	190	1,3	138
2,5	198	2,2	199	3,0	171
4,0	203	3,6	194	5,2	177
6,0	173	5,1	188	7,7	218
8,5	239	6,8	222	10,5	253
11,6	245	9,0	232	13,7	259
15,4	253	12,0	243	17,7	262
20,2	259	15,5	253	22,7	266
26,1	264	19,5	261	29,0	277
30,0	274	30,0	267	30,0	284

Di seguito si riportano i valori di V<sub>s,eq</sub> (da p.c.) e Categoria di sottosuolo:

	MASW1	MASW2	MASW3
V <sub>s,eq</sub> (m/s)	240	241	236
Categoria di sottosuolo	C	C	C

Le misure HVSr evidenziano le seguenti frequenze di amplificazione sismica al suolo:

HVSR1	HVSR2	HVSR3
Frequenza (Hz)	Frequenza (Hz)	Frequenza (Hz)
1,5	1,0	1,2
4,1	3,7	
62,4	59,1	

I picchi ad alta frequenza ( $\geq 62,4$  Hz) sono probabilmente legati a lievi amplificazioni stratigrafiche molto superficiali. I picchi a bassa frequenza ( $\leq 1,5$  Hz) sono probabilmente legati ad amplificazioni stratigrafiche molto profonde.

Di seguito si riporta il modello geofisico del terreno:

Sismostrato	Velocità media onde P $V_P$ (m/s)	Velocità media onde S $V_S$ (m/s)	Profondità media (m)	Coefficiente di POISSON dinamico $\nu$	Modulo di YOUNG dinamico $E_d$ (MPa)	Modulo di taglio dinamico $G_d$ (MPa)	Modulo di compressibilità dinamico $K_d$ (MPa)
1	490	180	1,6	0,42	157	55	335
2	760	190	5,9	0,47	191	65	953
3	1.670	260		0,49	382	128	5.128



## 6 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un processo di accumulo della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo, la diminuzione della resistenza e/o rigidità a taglio a seguito dello scuotimento sismico, con possibile raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua, che riempie gli interstizi, eguaglia la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide.

Ai sensi del § 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018 *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, 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  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  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 nelle Figura 7.11.1(a) ed in Figura 7.11.1(b) del capitolo 7 delle *Norme tecniche per le costruzioni*.

La verifica a liquefazione di un terreno viene effettuata attraverso metodi semplificati che si basano sulla stima di un fattore di resistenza alla liquefazione ( $F_s$ ):

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove  $CRR$  (*Cyclic Resistance Ratio*) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e  $CSR$  (*Cyclic Stress Ratio*) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Il valore di  $CSR$  può essere stimato mediante il metodo di *SEED E IDRIS (1971)*:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d \frac{1}{MSF}$$

dove  $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale al suolo,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\sigma_v$  è la tensione verticale litostatica,  $\sigma'_v$  è la tensione verticale litostatica efficace,  $r_d$  è un coefficiente correttivo delle tensioni (funzione della profondità),  $MSF$  è un coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il valore di  $CRR$  può essere stimato da indagini sismiche mediante il metodo di *ANDRUS E STOKOE (1998)*:

$$CRR = 0,03 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[ \frac{1}{(V_{s1})_{CS} - V_{s1}} - \frac{1}{(V_{s1})_{CS}} \right] \quad \text{dove} \quad V_{s1} = V_s \left( \frac{100}{\sigma'_v} \right)^{0,25}$$

dove  $(V_{s1})_{CS} = 220$  se  $FC \leq 5\%$ ,  $220 < (V_{s1})_{CS} \leq 200$  se  $5\% < FC \leq 35\%$ ,  $(V_{s1})_{CS} = 200$  per  $FC > 35\%$ , con  $FC$  che corrisponde alla presenza in fini. Un deposito non è suscettibile a liquefazione se  $F_s > 1$ .

È inoltre importante, al di là dei risultati della verifica, valutare le conseguenze della eventuale liquefazione degli strati sabbiosi, tenendo sempre presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere spessore maggiore di 3 m oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione è più sottile di 3 m.

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle verifiche a liquefazione effettuate, a vantaggio della sicurezza, sui terreni saturi a varie profondità.

FC (%)	Profondità strato (m)	$V_s$ (m/s)	Profondità falda (m)	$a_g$ (g)	Magnitudo	$F_s$	Liquefazione
10	2,0	180	1,5	0,191	5,47	2,69	NO
10	5,0	180	1,5	0,191	5,47	3,55	NO
10	9,0	260	1,5	0,191	5,47	2,60	NO

## 7 CONCLUSIONI

Lo studio è consistito in un rilevamento geologico e geomorfologico finalizzato all'inquadramento delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area interessata dall'opera di progetto; più in particolare, sono state individuate le litologie presenti, l'assetto litostratigrafico e i principali processi morfogenetici in atto e quiescenti.

Successivamente, poiché il progetto prevede la realizzazione di una serie di piccoli interventi migliorativi in 2 aree distinte poste, rispettivamente, nella banchina nord e nella banchina sud del porto stesso, sono state realizzate n° 3 indagini sismiche a rifrazione, n° 3 indagini sismiche MASW e n° 3 indagine sismica HVSR, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica del sito. Si precisa che, a causa delle difficoltà tecniche e logistiche del sito, non è stato possibile realizzare indagini geotecniche di tipo diretto e, quindi, sono stati consultati i dati bibliografici a disposizione realizzati in corrispondenza delle aree di studio; in particolare, sono stati esaminati i sondaggi geognostici realizzati per la costruzione del Ponte sul Mare e pubblicati nello studio geologico a corredo del Piano Regolatore Portuale del Comune di Pescara.

L'area di studio si colloca in corrispondenza della zona di transizione fluvio-deltizia del Fiume Pescara, caratterizzata dalla presenza sia dei depositi alluvionali fluviali sia dei depositi di spiaggia costieri; la ciclica prevalenza dell'uno o dell'altro dominio paleogeografico ha generato la giustapposizione di terreni con caratteristiche variabili in maniera sensibile (ghiaie, sabbie, limi e trobe), sia arealmente che verticalmente. Tali depositi sono ricoperti da materiale di riporto costituito da frammenti di pietrisco e terreni limoso sabbiosi, utilizzati per realizzare le banchine poste a nord e a sud del Fiume Pescara.

Nel sito è presente una falda acquifera superficiale a circa 1,5 m di profondità; è importante ricordare che tale livello piezometrico può evidenziare oscillazioni metriche stagionali ed areali al variare delle condizioni meteorologiche ed idrogeologiche.

Alla luce dei dati emersi dallo studio, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- L'area di studio non è interessata da dissesti ai sensi del P.A.I., quindi non è soggetta ai vincoli di edificabilità previsti dal piano.
- L'area di studio è posta in corrispondenza di un'area a *Pericolosità Elevata* ai sensi del P.S.D.A., per la cui disciplina si rimanda alle relative *Norme di attuazione*.
- Il sito è classificato come *Z11 - ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE LOCALE* ai sensi della *CARTA DELLE M.O.P.S.*
- Al di sotto dei primi 1,5-2,0 m circa di riporto, sono presenti depositi con caratteristiche geologico-tecniche molto variabili, sia in profondità che arealmente.
- Il sito è classificato sismicamente con *Categoria di sottosuolo C* e *Categoria topografica T1*.
- I terreni non sono suscettibili di liquefazione nelle attuali condizioni idrogeologiche; tuttavia, come indicato nello studio di MS di Pescara, in tale zona *“si è in presenza di aree con possibili importanti variazioni tridimensionali alla scala di sito delle caratteristiche*

*geotecniche dei materiali fini alluvionali (es. torbe e argille organiche), che potrebbero determinare fenomeni di cedimenti oltre alla presenza di possibili lenti discontinue di materiale granulare potenzialmente liquefacibile”.*

- Il sito presenta amplificazione sismica al suolo per le frequenze 1,0 Hz, 1,2 Hz, 1,5 Hz, 3,7 Hz, 4,1 Hz, 59,1 Hz e 62,4 Hz; I picchi ad alta frequenza ( $\geq 62,4$  Hz) sono probabilmente legati a lievi amplificazioni stratigrafiche molto superficiali. I picchi a bassa frequenza ( $\leq 1,5$  Hz) sono probabilmente legati ad amplificazioni stratigrafiche molto profonde.
- In caso di opere di scavo, sbancamento e movimento terra si consiglia di verificare ed eventualmente stabilizzare i fronti di scavo.
- Si raccomanda di adottare soluzioni progettuali compatibili con le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche illustrate.

*Dott. Geol. Maria Luisa Milia*

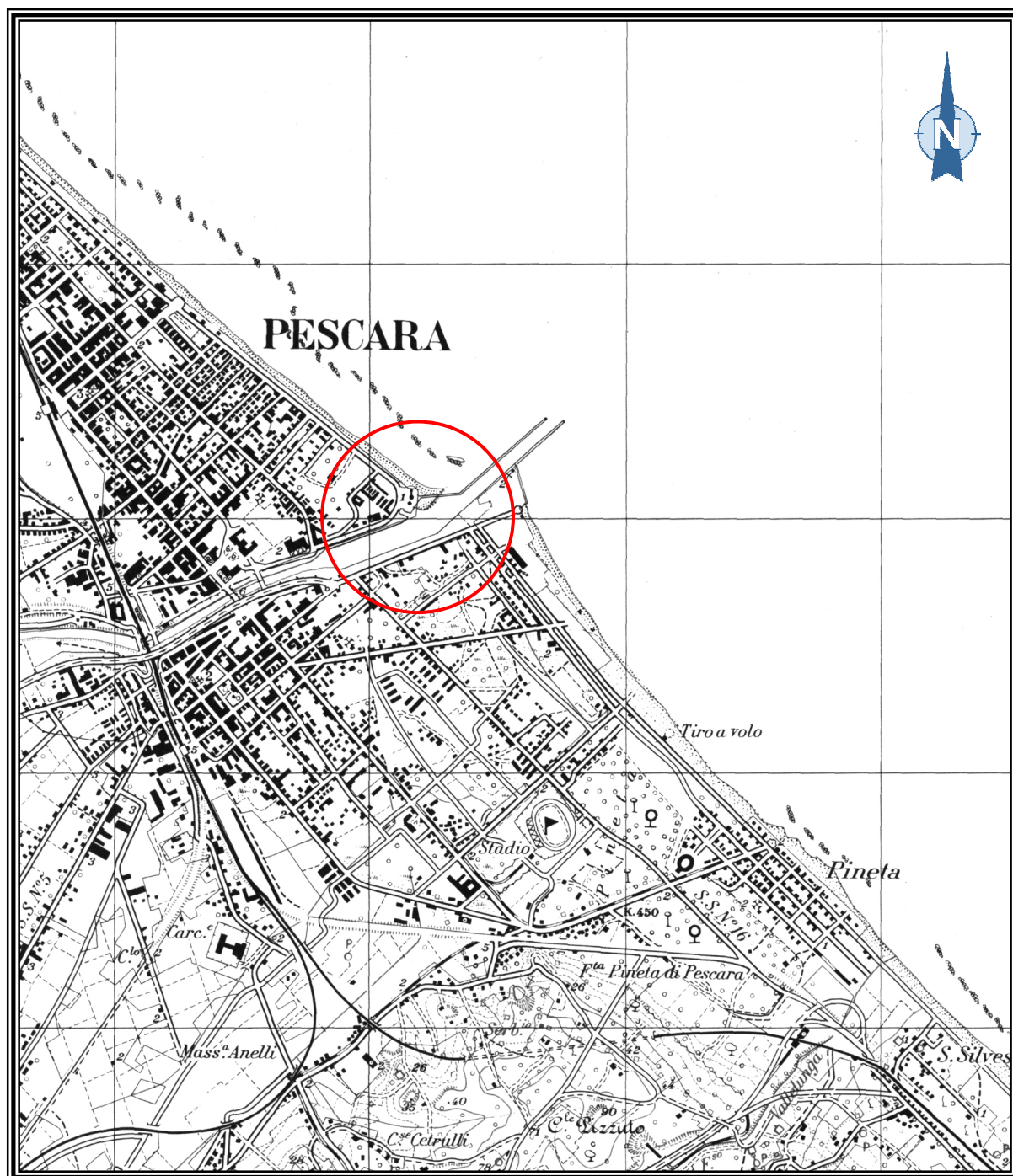




# TAVOLE

# TAVOLA 1 - CARTA TOPOGRAFICA

Scala 1:25.000



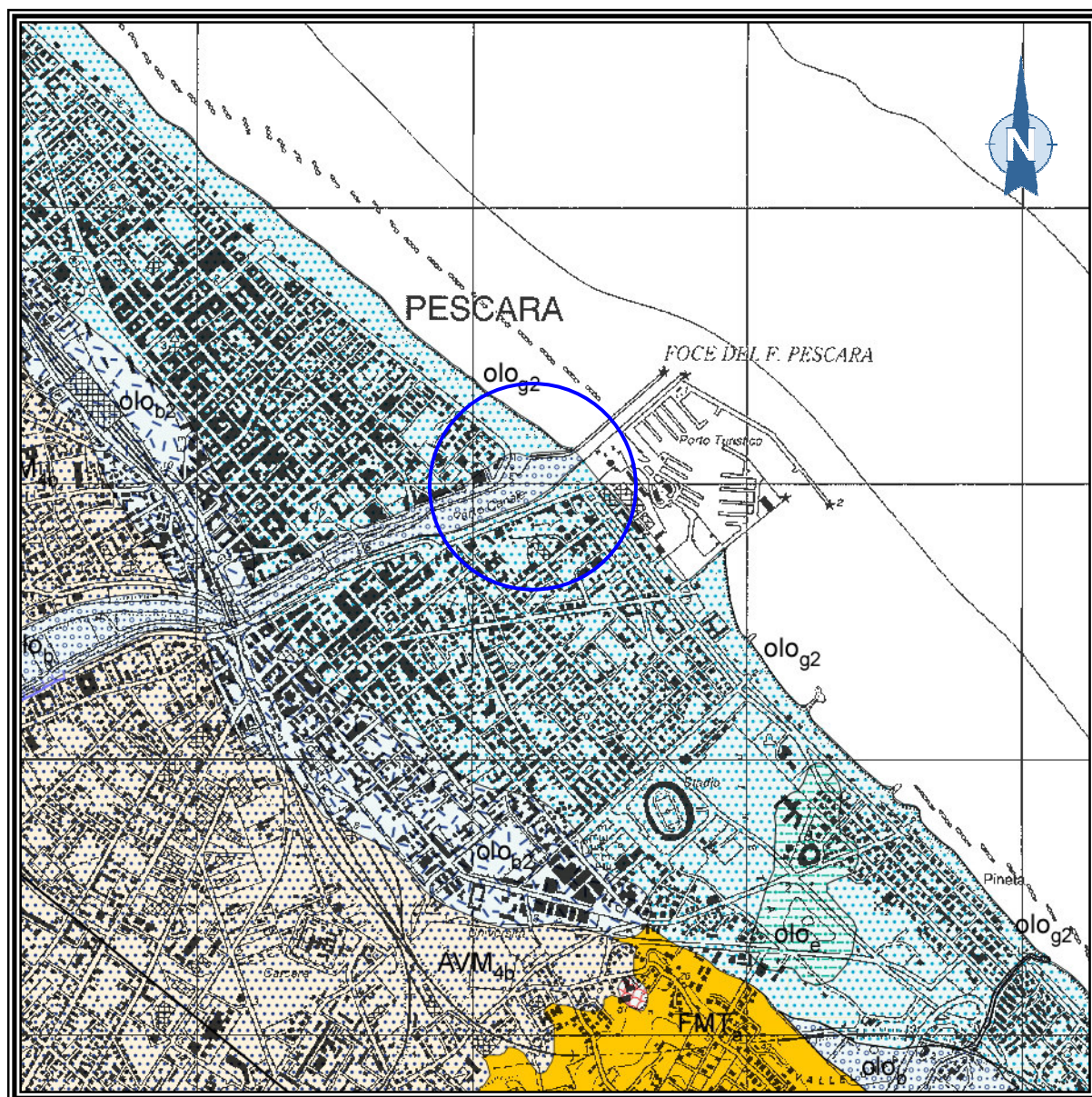
## LEGENDA



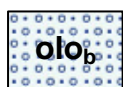
Area di studio

## TAVOLA 2 - CARTA GEOLOGICA

Scala 1:25.000



### LEGENDA



Depositi alluvionali costituiti da sabbie, ghiaie e limi fluviali, con livelli e lenti di argille e torbe  
*Olocene*



Depositi di spiaggia costituiti da sabbie a granulometria medio-fine, sciolte o addensate, e localmente da ghiaie con ciottoli eterometrici  
*Olocene*

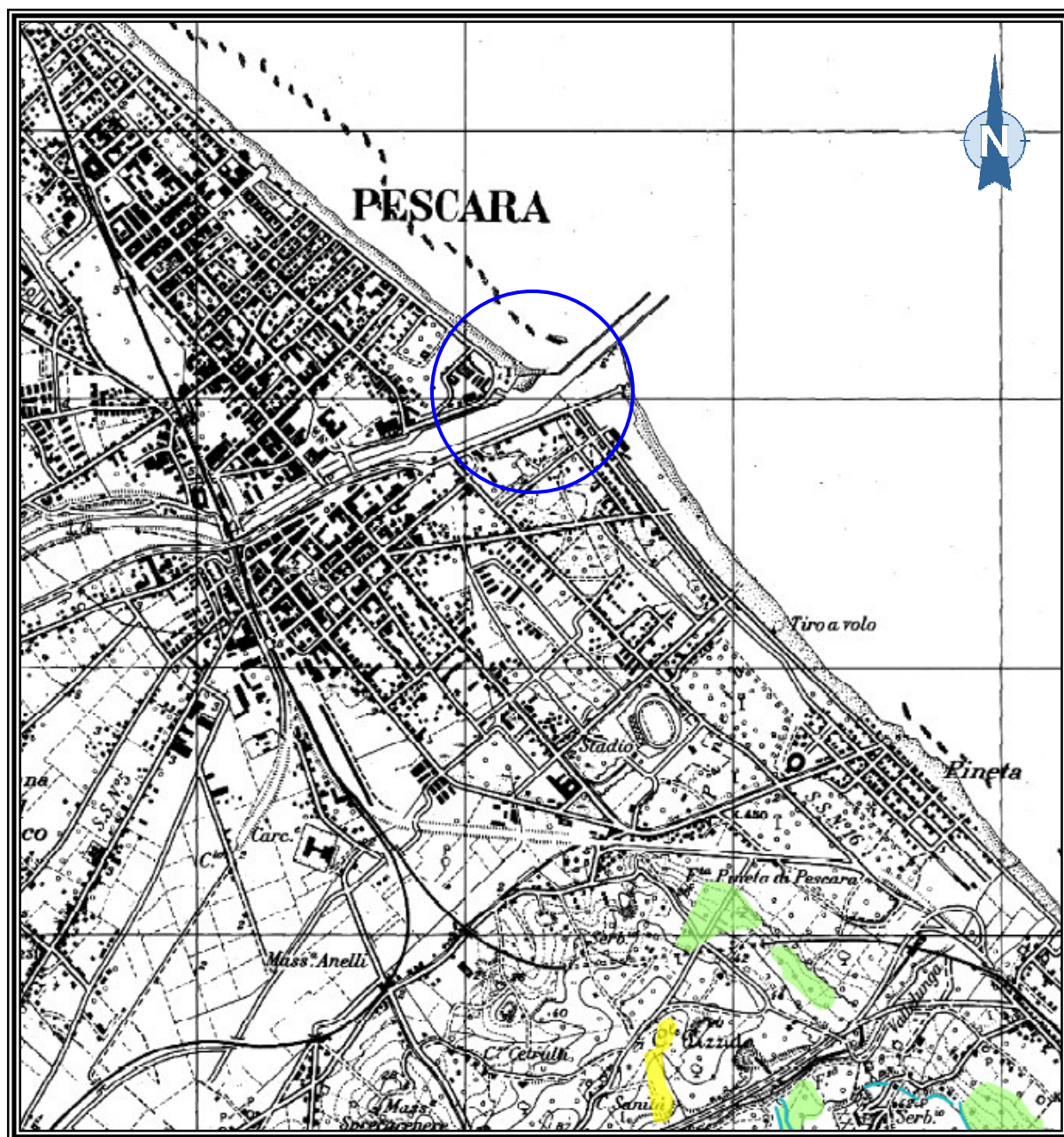


Area di studio



### TAVOLA 3 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA - P.A.I.

Scala 1:25.000



#### LEGENDA



**P1 PERICOLOSITÀ MODERATA**

Aree interessate da Dissesti con bassa possibilità di riattivazione



**P2 PERICOLOSITÀ ELEVATA**

Aree interessate da Dissesti con alta possibilità di riattivazione



**P3 PERICOLOSITÀ MOLTO ELEVATA**

Aree interessate da Dissesti in attività o riattivati stagionalmente



**PS PERICOLOSITÀ DA SCARPATA**

Aree interessate da Dissesti generati da Scarpate

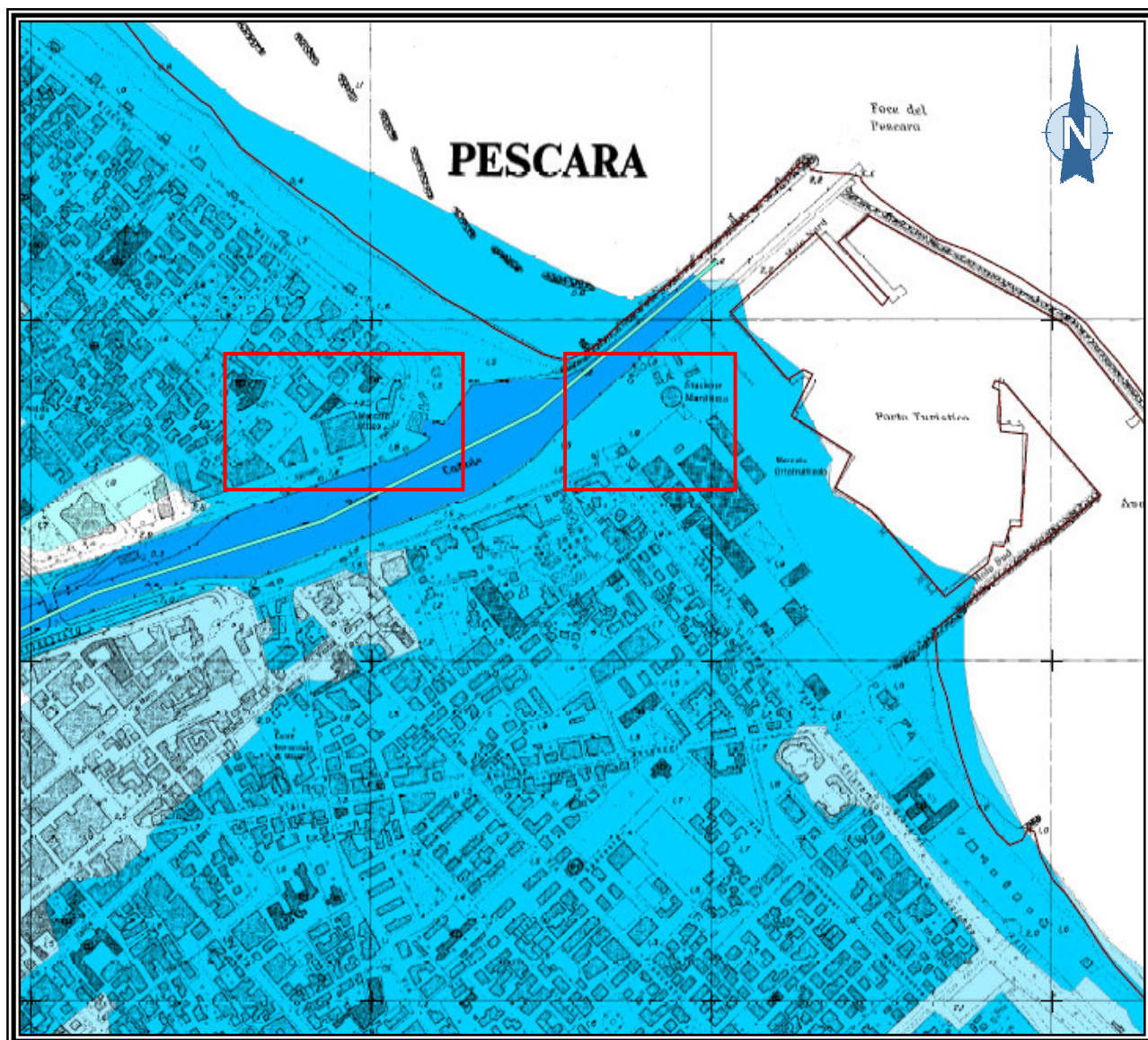


Area di studio








## TAVOLA 4 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA - P.S.D.A.

Scala 1:10.000

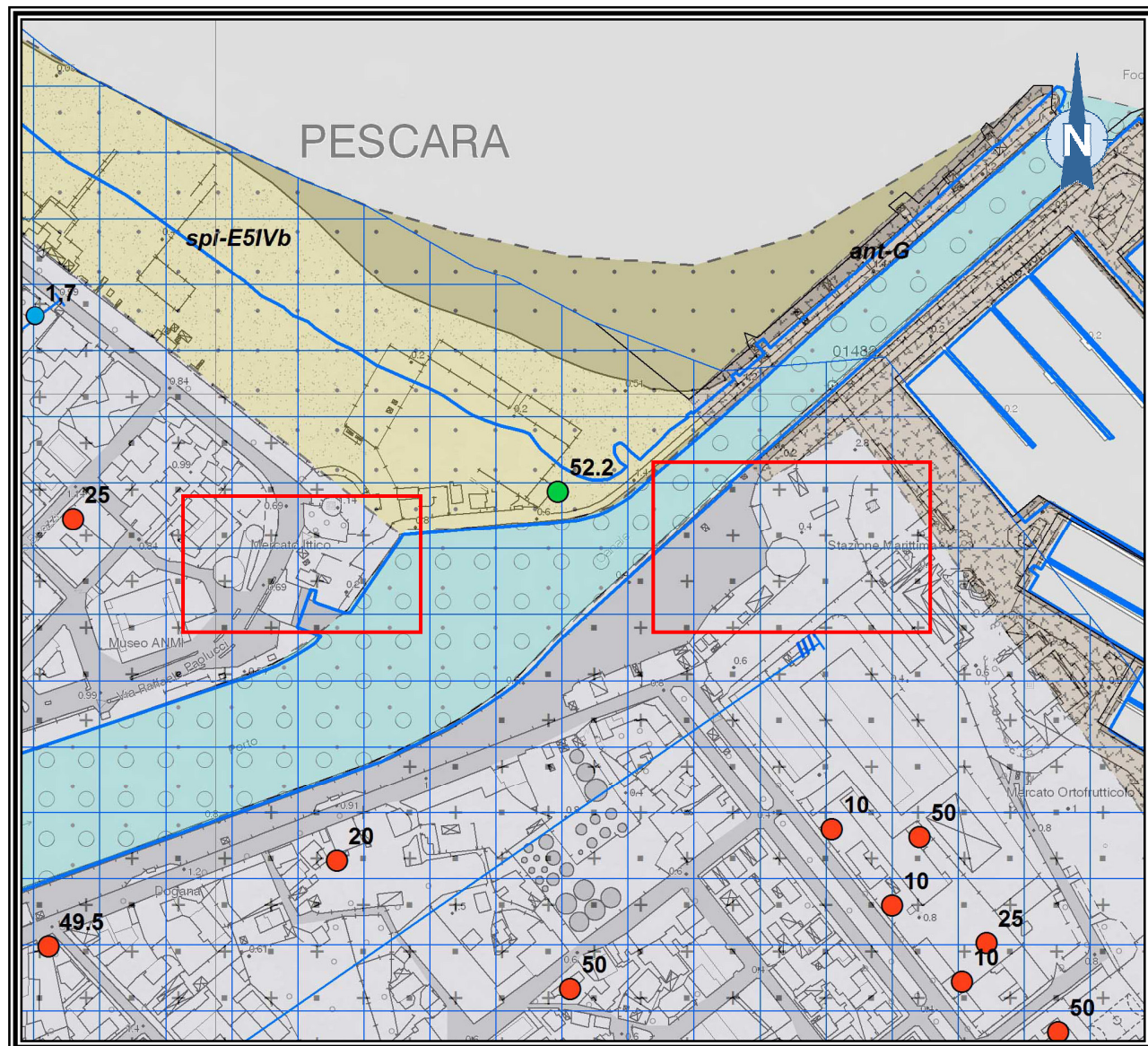


### LEGENDA

-  PERICOLOSITÀ MOLTO ELEVATA  
 $h_{50} > 1 \text{ m} - v_{50} > 1 \text{ m/s}$
-  PERICOLOSITÀ ELEVATA  
 $1 \text{ m} > h_{50} > 0,5 \text{ m} - h_{100} > 1 \text{ m} - v_{100} > 1 \text{ m/s}$
-  PERICOLOSITÀ MEDIA  
 $h_{100} > 0 \text{ m}$
-  PERICOLOSITÀ MODERATA  
 $h_{200} > 0 \text{ m}$
-  Reticolo idrografico
-  Area di studio



**TAVOLA 5 - CARTA GEOLOGICO-TECNICA**  
**(MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PESCARA)**  
*Scala 1:5.000*



**LEGENDA**



ant-G - Depositi antropici  
 Materiale di riporto antropico, rilevati stradali, accumuli residuali di cava, colmate, etc. Età: Olocene.



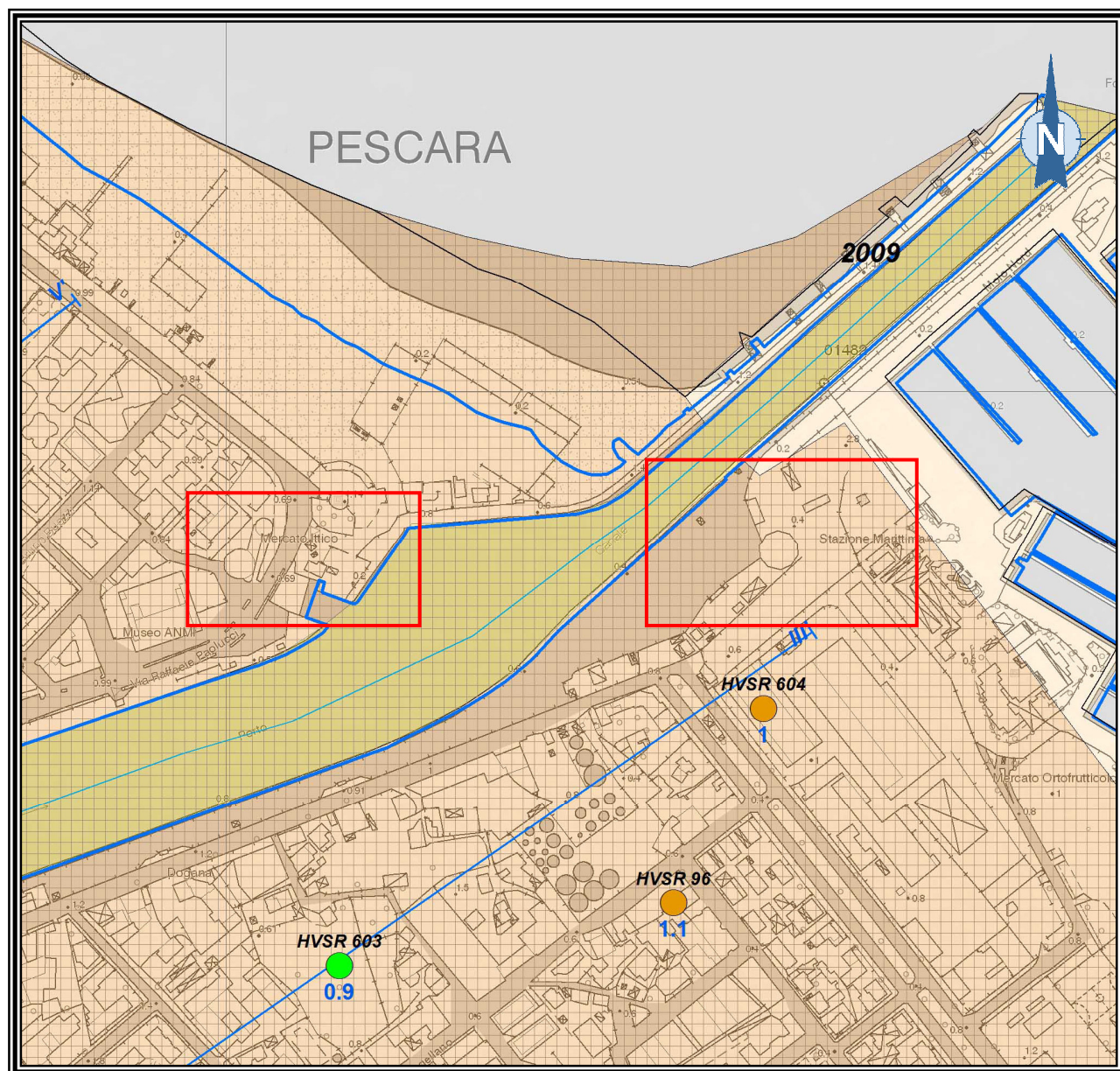
DEL - Depositi di delta  
 Depositi costituiti da sabbie e sabbie-limose con lenti di ghiaie e di torbre sciolte. L'ambiente deposizionale è da attribuirsi all'interazione tra gli apporti sedimentari delle maree e a quelli dovuti all'aflusso fluviale.  
 Età: Olocene



Area di studio

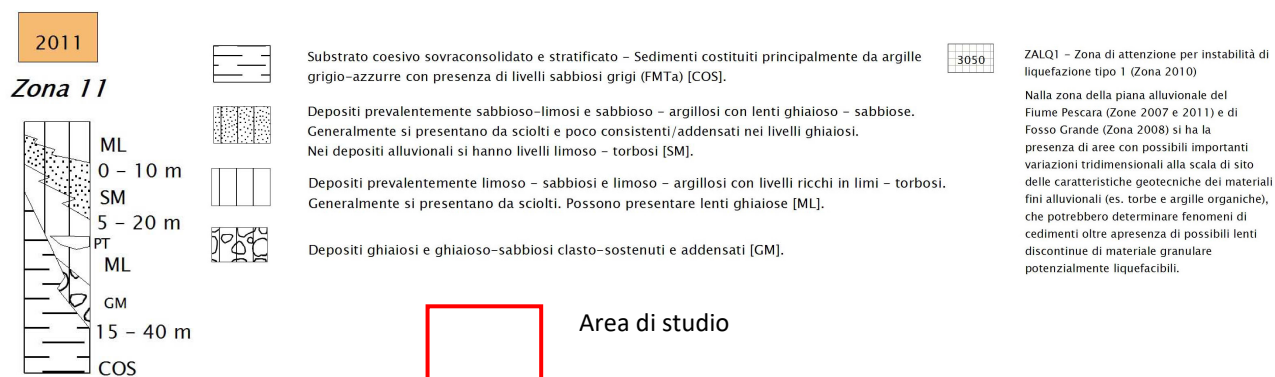


**TAVOLA 6 - CARTA DELLE MOPS**  
**(MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PESCARA)**  
*Scala 1:5.000*



**LEGENDA**

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**





## TAVOLA 7 - UBICAZIONE INDAGINI

Scala 1:2.000



# **RELAZIONE TECNICA INDAGINI SISMICHE**

## ***INDICE***

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	2
<b>2</b>	<b>INDAGINI SISMICHE</b>	3
<b>2.1</b>	<b><i>Sismica a rifrazione</i></b>	3
2.1.1	Cenni teorici	3
2.1.2	Acquisizione ed interpretazione dati	4
<b>2.2</b>	<b><i>MASW</i></b>	6
2.2.1	Cenni teorici	6
2.2.2	Acquisizione ed interpretazione dati	6
<b>2.3</b>	<b><i>HVSR</i></b>	7
2.3.1	Cenni teorici	7
2.3.2	Acquisizione ed interpretazione dati	7
<b>2.4</b>	<b><i>Moduli elastici dinamici</i></b>	8
<b>2.5</b>	<b><i>Categorie di sottosuolo</i></b>	9
<b>3</b>	<b>RISULTATI E CONCLUSIONI</b>	10

## **ELABORATI**

UBICAZIONE INDAGINI  
SISMICA A RIFRAZIONE SR1  
TABULATI SR1  
DROMOCRONE SR1  
SISMOGRAMMI SR1  
SISMICA A RIFRAZIONE SR2  
TABULATI SR2  
DROMOCRONE SR2  
SISMOGRAMMI SR2  
SISMICA A RIFRAZIONE SR3  
TABULATI SR3  
DROMOCRONE SR3  
SISMOGRAMMI SR3  
MASW1  
SISMOGRAMMI MASW1  
MASW2  
SISMOGRAMMI MASW2  
MASW3  
SISMOGRAMMI MASW3  
HVSR1  
HVSR2  
HVSR3

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati di *INDAGINI SISMICHE PER REALIZZAZIONE DI INTERVENTI STRUTTURALI A SOSTEGNO DELLA PESCA*, realizzate nel Comune di *PESCARA* e commissionate da *AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO CENTRALE*.

Di seguito si riportano le specifiche tecniche delle indagini eseguite.

SISMICA A RIFRAZIONE					
Linea sismica	Energizzazione	Geofoni	Distanza intergeofonica	Lunghezza linea	Shots
SR1	Onde P	12	3 m	36 m	3
SR2	Onde P	12	3 m	36 m	3
SR3	Onde P	12	3 m	36 m	3
MASW					
Linea sismica	Energizzazione	Geofoni	Distanza intergeofonica	Lunghezza linea	Shots
MASW1	Onde P	12	3 m	39 m	2
MASW2	Onde P	12	3 m	39 m	2
MASW3	Onde P	12	3 m	39 m	2
HVSr					
Microtremori	Ubicazione	Frequenza di campionamento		Tempo di registrazione	
HVSr1	Suolo	128 Hz		20 min	
HVSr2	Suolo	128 Hz		20 min	
HVSr3	Suolo	128 Hz		20 min	

Le indagini sono state programmate cercando un giusto compromesso tra la necessità di investigare le zone d'interesse, le difficoltà logistiche, le profondità massime da esplorare e la risoluzione del metodo.

Le indagini hanno permesso di ottenere informazioni sismostratigrafiche utili alla corretta caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni ed alla valutazione della categoria di sottosuolo ai sensi del *D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.

La presente relazione tecnica è da intendersi esclusivamente come un rapporto tecnico sulle indagini effettuate e costituisce, quindi, un elaborato specialistico di descrizione delle indagini ed analisi dei dati acquisiti.



## 2 INDAGINI SISMICHE

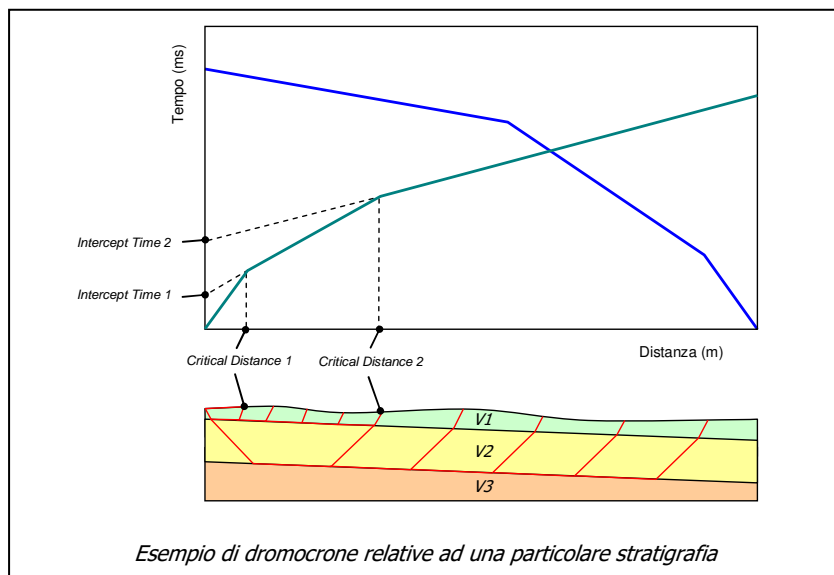
### 2.1 Sismica a rifrazione

#### 2.1.1 Cenni teorici

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura del tempo necessario affinché una perturbazione di origine elastica si trasmetta dalla sorgente (*shot point*) ai ricevitori (*geofoni*), i quali rilevano gli arrivi delle onde sismiche ed inviano i segnali ad un'unità di acquisizione (*sismografo*) che registra i sismogrammi.

Rappresentando in un sistema di assi cartesiani i tempi di arrivo delle onde sismiche ai geofoni in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze (*dromocrone*) funzione delle caratteristiche geologiche locali.

Nella seguente figura sono rappresentate le dromocrone relative alle onde dirette e rifratte nel caso di una semplice struttura geologica.



Considerando il diagramma spazio-tempo, si nota che ad una certa distanza dallo scoppio (*Critical Distance 1*) le onde dirette arrivano contemporaneamente alle onde rifratte sulla prima interfaccia. Per i geofoni posti ad una distanza minore di tale punto, il primo arrivo è rappresentato da un'onda diretta che viaggia nel primo mezzo, a velocità  $V1$ . Per distanze maggiori della *Critical Distance 1*, il primo arrivo corrisponde all'onda rifratta sulla prima interfaccia, che viaggia ad una velocità  $V2$ . Tale condizione si mantiene fino a quando, oltre la *Critical Distance 2*, il primo arrivo corrisponde all'onda rifratta sulla seconda interfaccia, che viaggia a velocità  $V3$ .

Si possono costruire dromocrone anche nel caso di  $n$  strati, purché le velocità aumentino sempre con la profondità. Ogni punto angolare indica il passaggio da uno strato al successivo e le velocità sono indicate dall'inverso della pendenza dei rispettivi rami di dromocrone; se gli strati sono poco potenti e con velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi ed anche la corrispondente dromocrona risulterà curva.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere informazioni nel caso di strutture geologiche caratterizzate da uno strato compatto

rifrangente (*bedrock*) posto al di sotto di una serie stratigrafica dotata di velocità di propagazione delle onde sismiche inferiore.

Nella maggior parte dei casi, la prospezione sismica individua uno strato superficiale definito *aerato*, rappresentato da un sistema misto costituito dal terreno e dall'aria presente nei vuoti intergranulari. L'aerato è uno strato dotato di una forte attenuazione sismica e spesso presenta velocità sismiche inferiori alla velocità del suono ( $\cong 340$  m/s); questo fenomeno, tipico dei *porous media*, dipende dal fatto che nei primi metri di terreno si ha un'interferenza distruttiva tra le onde elastiche (a traiettoria principalmente orizzontale) che si propagano nello scheletro solido e quelle che si propagano nell'aria intergranulare; il fenomeno, reso molto complesso da parametri quali la disposizione spaziale dei granuli e la sinuosità delle traiettorie sismiche, fa sì che la velocità sismica del sistema terreno-aria possa risultare inferiore a quella delle singole fasi.

I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità di propagazione delle onde sismiche decrescente con la profondità. In tal caso, l'onda rifratta dallo strato sottostante meno veloce subisce una flessione verso il basso e non può tornare in superficie; in tale situazione, lo strato sottostante meno veloce è definito *orizzonte muto*. Altra limitazione si ha in presenza di strati profondi di modesto spessore; in questo caso, l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocroni e non è quindi rilevabile.

Riferendosi inoltre alla correlazione con i contatti litostratigrafici individuati in sondaggi geognostici, si precisa che l'identificazione degli strati rilevati con la prospezione sismica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico; infatti, spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di degradazione al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori della velocità delle onde sismiche. Per tale motivo, non sempre le discontinuità fisiche rilevate con l'indagine sismica corrispondono a semplici limiti stratigrafici e geologici.

### 2.1.2 *Acquisizione ed interpretazione dati*

Come generatore di onde sismiche è stato utilizzato un martello di 10 kg che, tramite un operatore, batte su una piastra metallica per generare onde P e/o S. Per ogni *shot point* viene preparata nel terreno una piazzola, asportando i primi centimetri di suolo vegetale scadente, in cui si posiziona la piastra; in questo modo si ottiene una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

Come sensori sono stati utilizzati geofoni verticali da 4,5-14 Hz (onde P) e/o geofoni orizzontali da 10 Hz (onde S), infissi nel terreno o poggiati sulla pavimentazione ad intervalli costanti ( $\leq 5$  m) e collegati tramite cavi elettrici multipolari all'unità di acquisizione dati; quest'ultima è costituita da un sismografo modello Ambrogeo ECHO 24 a 12-24 canali, collegato ad un notebook.

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno (o pavimentazione), collegati questi tramite morsetti bipolari ai cavi elettrici e questi ultimi al sismografo, sono stati realizzati alcuni *shots* di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo ed impostazione delle amplificazioni dei canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione sismica effettuando l'energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun

punto d'impatto (inizio, fine linea e posizioni intermedie). L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è inviato allo strumento da uno *shock-sensor* (*hammer switch*) posto direttamente sul martello (*trigger*).



I sismogrammi acquisiti sono stati, in primo luogo, sottoposti ad una fase di *processing* digitale consistente in filtri (*band-pass, high-cut, low-cut*), amplificazioni (*gain, amplitude factor*) ed equalizzazioni (*trace equalisation*), al fine di ridurre rumori di fondo e strumentali dai sismogrammi, aumentando il rapporto segnale/rumore ed esaltando i primi arrivi delle onde sismiche.

Successivamente si è passati alla fase d'interpretazione consistente, inizialmente, nell'individuazione dei primi arrivi (*First Break Point* o *FBP*) delle onde sulle tracce sismiche; da questi sono state ottenute le dromocrone. L'interpretazione delle dromocrone è stata effettuata utilizzando, in un primo tempo, il metodo *Intercept time* per definire le velocità reali dei mezzi e le profondità dei rifrattori sotto i punti di scoppio; per determinare con esattezza la velocità sismica del *bedrock* (il sismostrato più profondo), si è utilizzato il metodo *True velocity*. Successivamente sono stati usati i metodi *Delay Time*, *Generalized Reciprocal Method (GRM)* e *Ray Tracing* tomografico per avere una migliore interpretazione dei dati acquisiti.

Il metodo d'interpretazione *Delay Time* fa uso della sovrapposizione degli arrivi provenienti dal medesimo rifrattore, ottenuti dalla comparazione delle registrazioni omologhe in linea; in questo modo, si calcola il tempo di ritardo (*Delay Time*) con il quale può essere stimata la profondità del rifrattore in questione sotto ogni singolo geofono dello stendimento sismico.

Il metodo d'interpretazione *Generalized Reciprocal Method (GRM, PALMER, 1980)* è una generalizzazione del metodo *Delay Time* ed è utilizzato per una migliore ricostruzione della geometria del *bedrock*.

Il metodo d'interpretazione *Ray Tracing* consente di effettuare una tomografia sismica del terreno, affinando le interpretazioni ottenute dai precedenti metodi; partendo, infatti, dal modello di terreno elaborato attraverso i metodi classici, il *Ray Tracing* scompone il mezzo in celle a differente velocità sismica, quindi vengono simulate, attraverso un metodo d'inversione iterativa, le traiettorie dei raggi sismici nel terreno e si ricostruiscono le relative dromocrone, arrivando alla definizione di un modello di terreno le cui dromocrone calcolate si avvicinano a quelle misurate.

## 2.2 MASW

### 2.2.1 Cenni teorici

Il metodo *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) studia la propagazione delle onde superficiali dalla sorgente (*shot point*) ai ricevitori (*geofoni*) e permette di definire il profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ). Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di *Rayleigh*, le quali risultano essere soggette al fenomeno della *dispersione*: in un mezzo stratificato, onde con diversa lunghezza d'onda si propagano con diverse velocità di fase. Tale fenomeno è dovuto al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati superficiali lenti (quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo) mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati profondi veloci (quindi danno informazioni sugli strati più profondi).

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio regolare e con stratificazione parallela, per cui una limitazione alla sua applicabilità è rappresentata da strati significativamente pendenti (più di 20-30°) e topografia irregolare.

La determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ) tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) e S (26%).

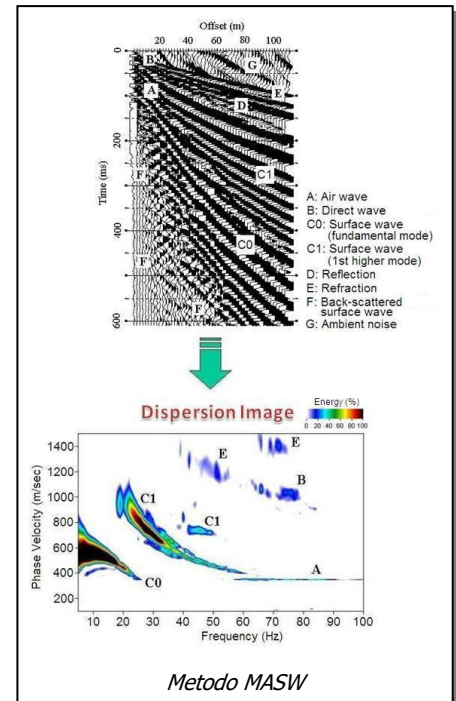
I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

### 2.2.2 Acquisizione ed interpretazione dati

Le onde sismiche sono state generate come per la sismica a rifrazione, mentre come sensori sono stati utilizzati geofoni verticali da 4,5 Hz, posizionati a terra e collegati come descritto per la sismica a rifrazione. Le energizzazioni sono state effettuate ad inizio e/o fine linea, ad una distanza dal 1° geofono (*offset*) pari a 1-5 volte la distanza intergeofonica.

I sismogrammi acquisiti sono stati, in primo luogo, sottoposti ad una fase di *processing* digitale (*stacking, dc remove, cuttings, trace killing*), al fine di ridurre i rumori di fondo e strumentali dai sismogrammi, aumentando il rapporto segnale/rumore ed esaltando le onde di superficie.

Successivamente si è passati alla fase d'interpretazione consistente, inizialmente, nell'analisi spettrale dei sismogrammi ed estrazione della curva di dispersione mediante *picking* nel dominio  $FK$  e  $FV$ ; infine, attraverso un metodo d'inversione iterativa, si arriva alla definizione di un profilo di  $V_S$  ottimale, per il quale si ha la migliore corrispondenza tra curva di dispersione calcolata e misurata.

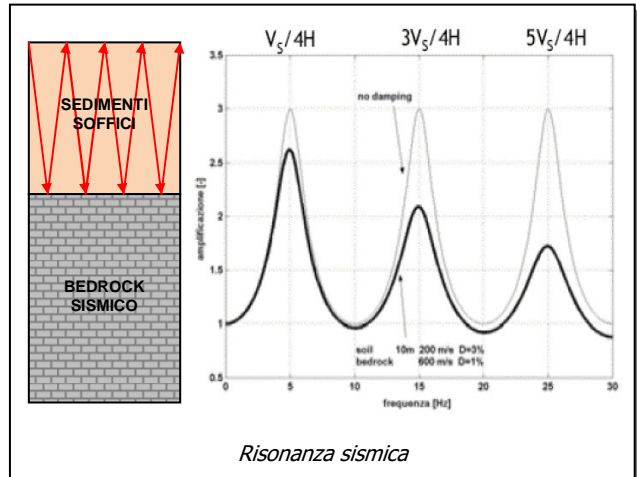


## 2.3 HVSR

### 2.3.1 Cenni teorici

Il rumore sismico ambientale (*noise*), presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre; tale rumore è definito *microtremore* in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15}$  [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> in termini di accelerazione) e molto inferiori a quelle indotte dai terremoti.

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura, dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche; tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



In generale, nel tragitto dalla sorgente ad un sito in superficie, le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato; nei microtremori, quindi, è presente una parte debolmente correlata nel segnale che contiene informazioni relative ai mezzi attraversati. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene un'informazione nascosta all'interno del rumore casuale e che può essere estratta attraverso opportune metodologie.

### 2.3.2 Acquisizione ed interpretazione dati

L'acquisizione dei microtremori è stata effettuata con tromografo digitale Micromed TROMINO®.

Le indagini sono state effettuate posizionando il tromografo sul terreno (asportando i primi centimetri di suolo al fine di ottenere un buon accoppiamento) e/o sulla struttura ed effettuando una registrazione di durata pari a 10-20 minuti.

L'archiviazione ed elaborazione dati è stata effettuata attraverso il software *Grilla*, il quale permette di suddividere ognuna delle 3 componenti del segnale registrato in finestre temporali (es. 20 s), per ognuna delle quali vengono calcolati gli spettri in frequenza, vengono lisciati con una



Esecuzione della misura HVSR

funzione di *smoothing* (es. *Triangular windows* 10%) e vengono mediati al fine di limitare i disturbi indotti da rumori transitori.

L'analisi che si è maggiormente consolidata nello studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale o *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), applicata da NOGOSHI e IGARASHI (1970) e resa popolare principalmente da NAKAMURA (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Il metodo di NAKAMURA si basa sulle seguenti ipotesi:

- le sorgenti dei microtremori sono locali, trascurando qualsiasi contributo dovuto a sorgenti profonde;
- le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base;
- la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.

In un sistema bistrato, in cui una coltre sedimentaria con velocità delle onde di taglio  $V_S$  sovrasta un *bedrock*, la somma tra onde incidenti e riflesse genera ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari  $n$ ) lo spessore  $H$  del primo strato. La curva *HVSR* mostrerà un picco per la frequenza fondamentale di risonanza  $f$  pari a:

$$f = n \cdot \frac{V_S}{4H}$$

In un sistema multistrato, con alternanza tra strati di spessore  $h_i$  e con velocità  $V_{Si}$ , la frequenza fondamentale di risonanza  $f$  è pari a:

$$f = \frac{1}{4 \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Attraverso un metodo d'inversione, si determina un profilo di  $V_S$  ottimale, per il quale si ha la migliore corrispondenza tra curva *HVSR* calcolata e misurata.

Al fine di definire le frequenze proprie di vibrazione (*modi*) di un edificio, si utilizza l'analisi *Standard Spectral Ratio (SSR)*, ovvero il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali misurate a vari livelli (piani) e le medesime componenti al livello di base (piano terra); in generale, la curva risultante mostrerà il massimo picco in corrispondenza del modo flessionale fondamentale dell'edificio ed eventuali picchi meno evidenti in corrispondenza dei modi superiori.

## 2.4 Moduli elastici dinamici

Di seguito si riportano le formule dei moduli elastici di un terreno, noti i valori di velocità delle onde P e S ( $V_P$  e  $V_S$ ) e della densità ( $\rho$ ).

Coefficiente di Poisson dinamico

$$\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1}$$

### Modulo di taglio dinamico

$$G_d = \rho \cdot V_S^2$$

### Modulo di YOUNG dinamico

$$E_d = \rho \cdot V_S^2 \cdot \frac{3V_P^2 - 4V_S^2}{V_P^2 - V_S^2}$$

### Modulo di compressibilità dinamico

$$K_d = \rho \cdot \left( V_P^2 - \frac{4}{3} V_S^2 \right)$$

## **2.5 Categorie di sottosuolo**

- 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.

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dall'espressione:

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

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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



### 3 RISULTATI E CONCLUSIONI

L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni.

- ✓ Le sismiche a rifrazione evidenziano le seguenti sismostratigrafie delle onde di compressione  $V_p$ :

SR1						
Sismostrato	V <sub>p</sub> minima (m/s)	V <sub>p</sub> media (m/s)	V <sub>p</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	453	507	606	0,6	1,4	2,6
2	696	785	957	5,2	5,9	6,8
3	1.570					
SR2						
Sismostrato	V <sub>p</sub> minima (m/s)	V <sub>p</sub> media (m/s)	V <sub>p</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	473	533	586	1,4	2,1	2,7
2	757	846	923	6,1	6,4	6,9
3	1.654					
SR3						
Sismostrato	V <sub>p</sub> minima (m/s)	V <sub>p</sub> media (m/s)	V <sub>p</sub> massima (m/s)	Profondità minima (m)	Profondità media (m)	Profondità massima (m)
1	363	425	464	0,4	1,3	3,0
2	525	647	831	4,6	5,3	5,9
3	1.791					

- ✓ Le MASW evidenziano i seguenti profili delle onde di taglio  $V_s$ :

MASW1		MASW2		MASW3	
Profondità sismostrato (m)	$V_s$ (m/s)	Profondità sismostrato (m)	$V_s$ (m/s)	Profondità sismostrato (m)	$V_s$ (m/s)
1,2	193	1,0	190	1,3	138
2,5	198	2,2	199	3,0	171
4,0	203	3,6	194	5,2	177
6,0	173	5,1	188	7,7	218
8,5	239	6,8	222	10,5	253
11,6	245	9,0	232	13,7	259
15,4	253	12,0	243	17,7	262
20,2	259	15,5	253	22,7	266
26,1	264	19,5	261	29,0	277
30,0	274	30,0	267	30,0	284

- ✓ Di seguito si riportano i valori di  $V_{s,eq}$  (da p.c.) e Categoria di sottosuolo:

	MASW1	MASW2	MASW3
$V_{s,eq}$ (m/s)	240	241	236
Categoria di sottosuolo	C	C	C

- ✓ Le misure HVSR evidenziano le seguenti frequenze di amplificazione sismica al suolo:

HVSR1	HVSR2	HVSR3
Frequenza (Hz)	Frequenza (Hz)	Frequenza (Hz)
1,5	1,0	1,2
4,1	3,7	
62,4	59,1	

I picchi ad alta frequenza ( $\geq 62,4$  Hz) sono probabilmente legati a lievi amplificazioni stratigrafiche molto superficiali. I picchi a bassa frequenza ( $\leq 1,5$  Hz) sono probabilmente legati ad amplificazioni stratigrafiche molto profonde.

✓ Di seguito si riporta il modello geofisico del terreno:

Sismostrato	Velocità media onde P $V_P$ (m/s)	Velocità media onde S $V_S$ (m/s)	Profondità media (m)	Coefficiente di Poisson dinamico $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$ (MPa)	Modulo di taglio dinamico $G_d$ (MPa)	Modulo di compressibilità dinamico $K_d$ (MPa)
1	490	180	1,6	0,42	157	55	335
2	760	190	5,9	0,47	191	65	953
3	1.670	260		0,49	382	128	5.128

# TAVOLE

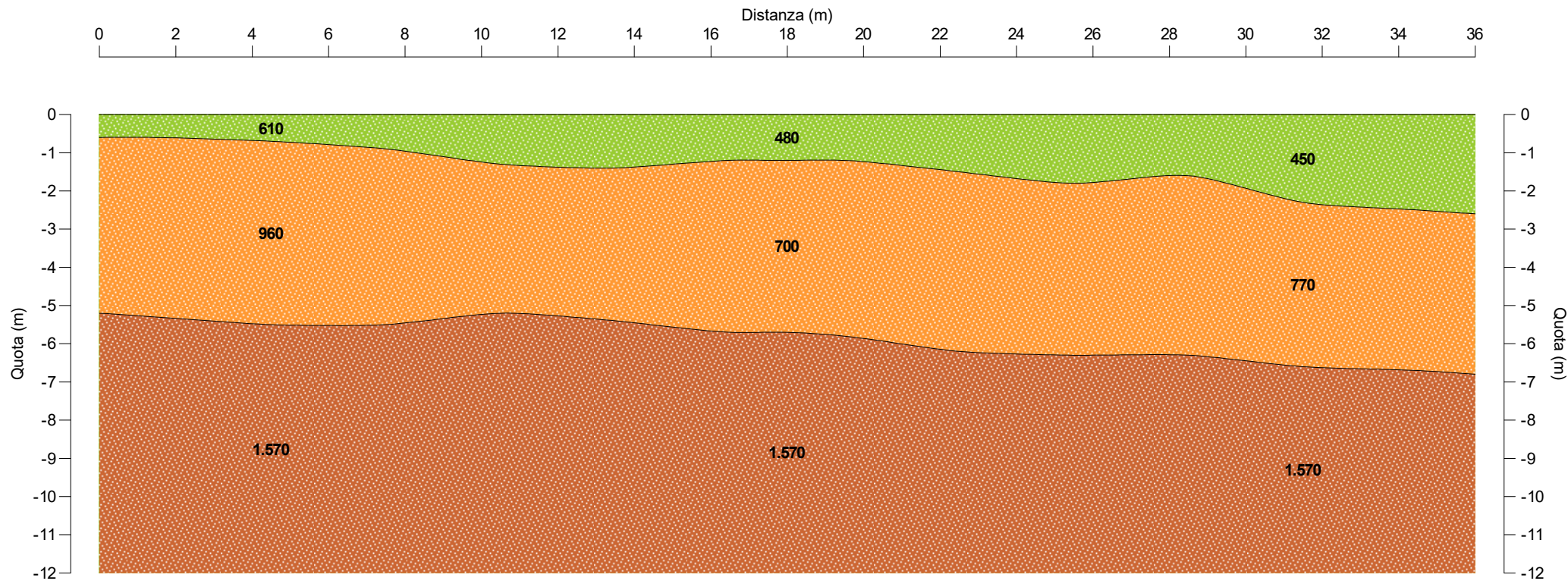
# UBICAZIONE INDAGINI

Scala 1:2.000



# SISMICA A RIFRAZIONE SR1

Scala 1:150



## LEGENDA



Sismostrato 1

610

Velocità onde P (m/s)



Sismostrato 2



Sismostrato 3

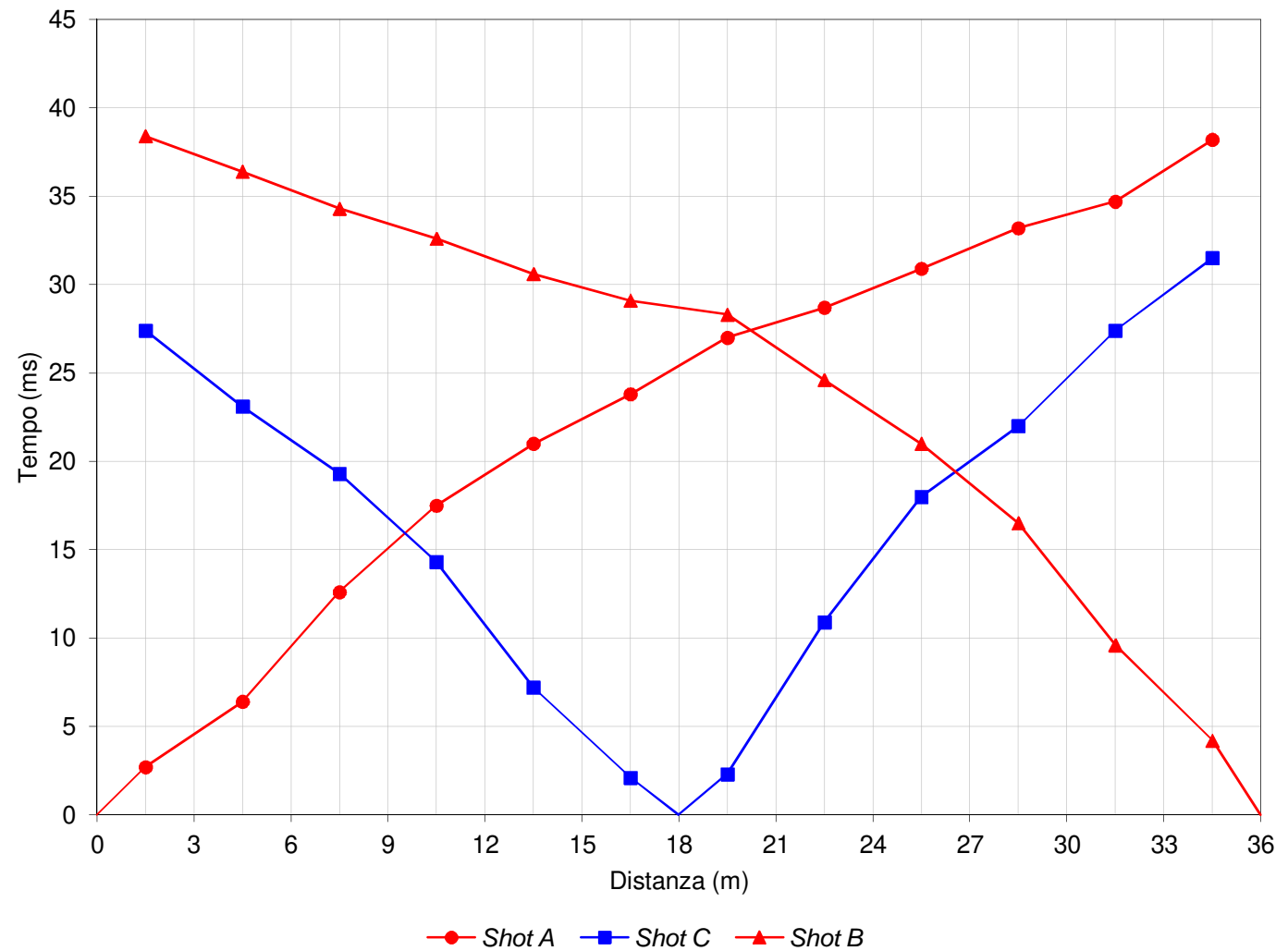


## TABULATI SR1

Shots Geofoni	Distanza (m)	Quota (m)	V <sub>p</sub> 1 (m/s)	V <sub>p</sub> 2 (m/s)	V <sub>p</sub> 3 (m/s)	Prof. 1 (m)	Prof. 2 (m)
<b>A</b>	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>606</b>	<b>957</b>	<b>1.570</b>	<b>0,6</b>	<b>5,2</b>
G1	1,5	0,00	596	935	1.570	0,6	5,3
G2	4,5	0,00	575	892	1.570	0,7	5,5
G3	7,5	0,00	554	848	1.570	0,9	5,5
G4	10,5	0,00	534	805	1.570	1,3	5,2
G5	13,5	0,00	513	761	1.570	1,4	5,4
G6	16,5	0,00	492	718	1.570	1,2	5,7
<b>C</b>	<b>18,0</b>	<b>0,00</b>	<b>482</b>	<b>696</b>	<b>1.570</b>	<b>1,2</b>	<b>5,7</b>
G7	19,5	0,00	480	702	1.570	1,2	5,8
G8	22,5	0,00	475	714	1.570	1,5	6,2
G9	25,5	0,00	470	726	1.570	1,8	6,3
G10	28,5	0,00	465	737	1.570	1,6	6,3
G11	31,5	0,00	460	749	1.570	2,3	6,6
G12	34,5	0,00	455	761	1.570	2,5	6,7
<b>B</b>	<b>36,0</b>	<b>0,00</b>	<b>453</b>	<b>767</b>	<b>1.570</b>	<b>2,6</b>	<b>6,8</b>

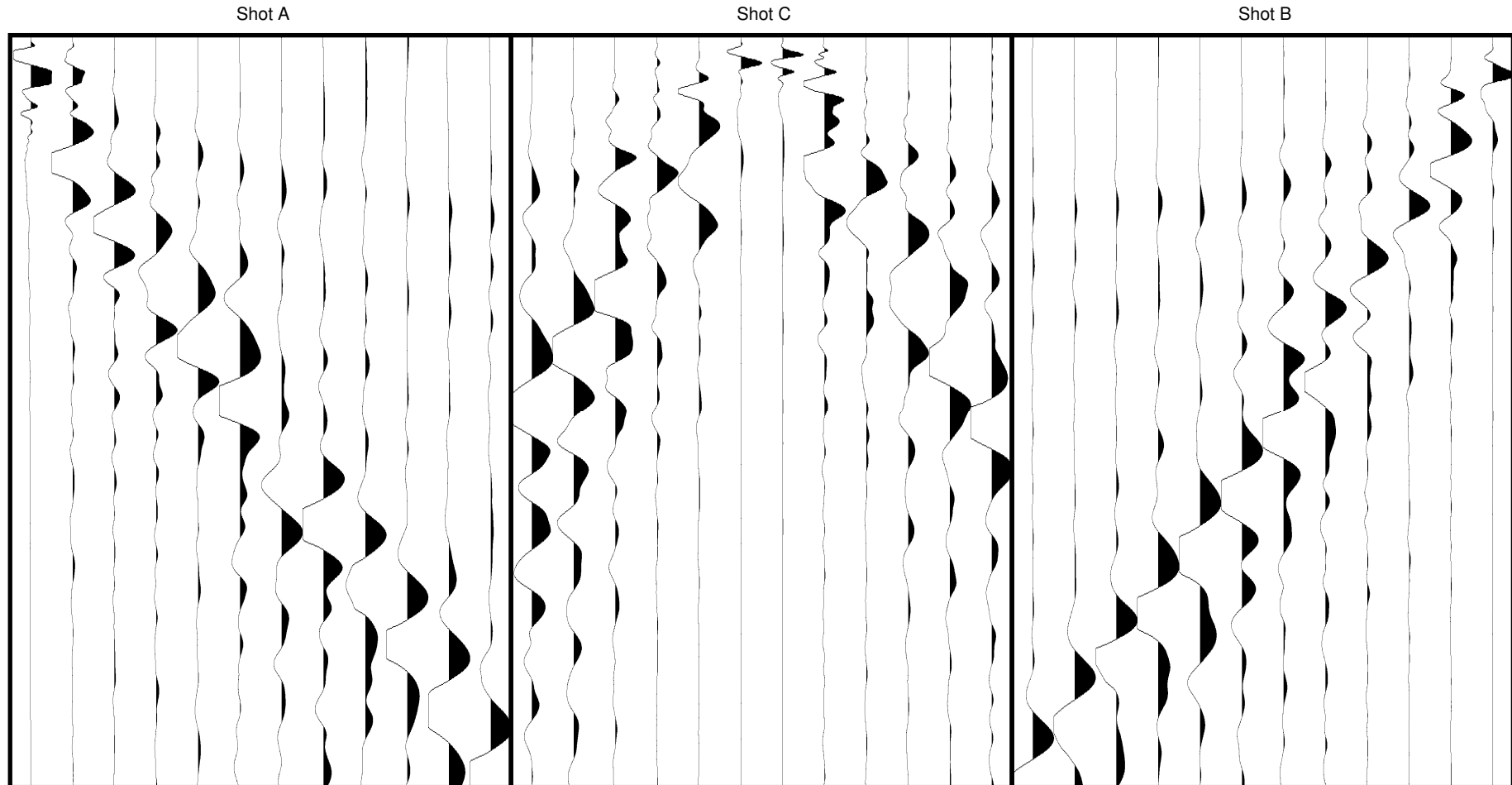
## DROMOCRONE SR1

Geof.	Dist. (m)	Shot A (ms)	Shot C (ms)	Shot B (ms)
G1	1,5	2,7	27,4	38,4
G2	4,5	6,4	23,1	36,4
G3	7,5	12,6	19,3	34,3
G4	10,5	17,5	14,3	32,6
G5	13,5	21,0	7,2	30,6
G6	16,5	23,8	2,1	29,1
G7	19,5	27,0	2,3	28,3
G8	22,5	28,7	10,9	24,6
G9	25,5	30,9	18,0	21,0
G10	28,5	33,2	22,0	16,5
G11	31,5	34,7	27,4	9,6
G12	34,5	38,2	31,5	4,2





## SISMOGRAMMI SR1



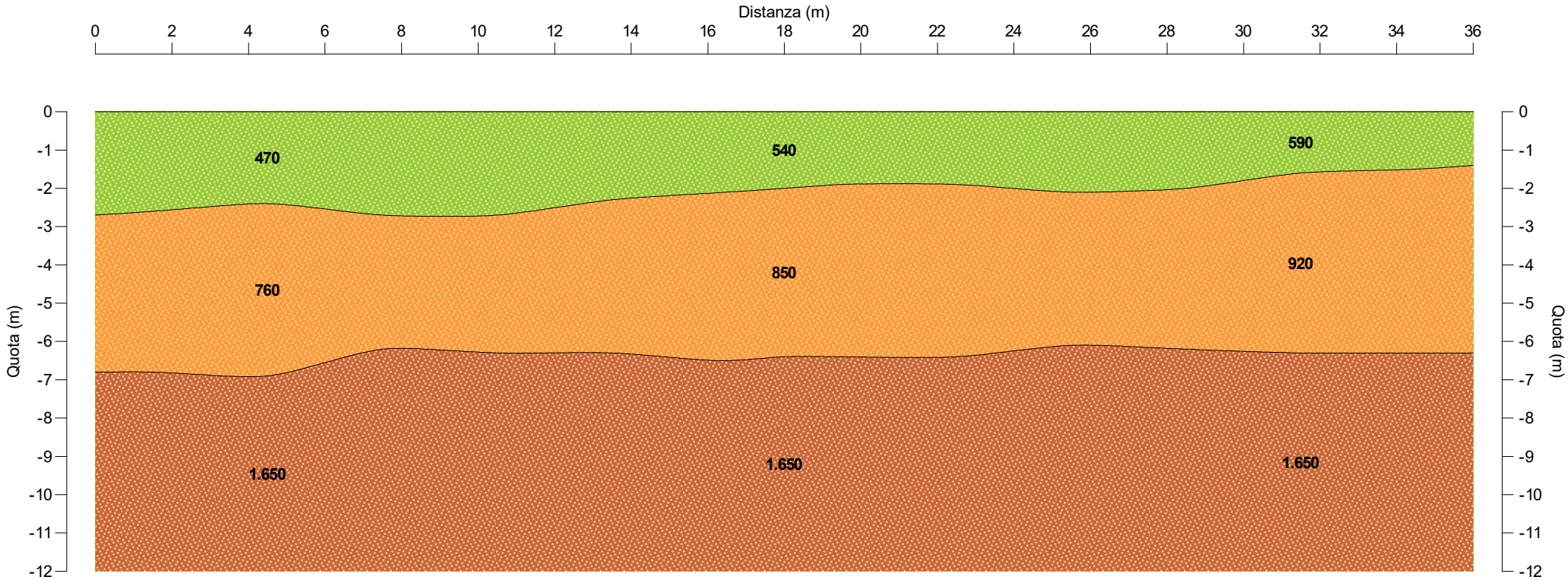
Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

Lunghezza linea: 36 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 3

Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 200 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 1530  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: 200 Hz

# SISMICA A RIFRAZIONE SR2

Scala 1:150



## LEGENDA



Sismostrato 1

470

Velocità onde P (m/s)



Sismostrato 2



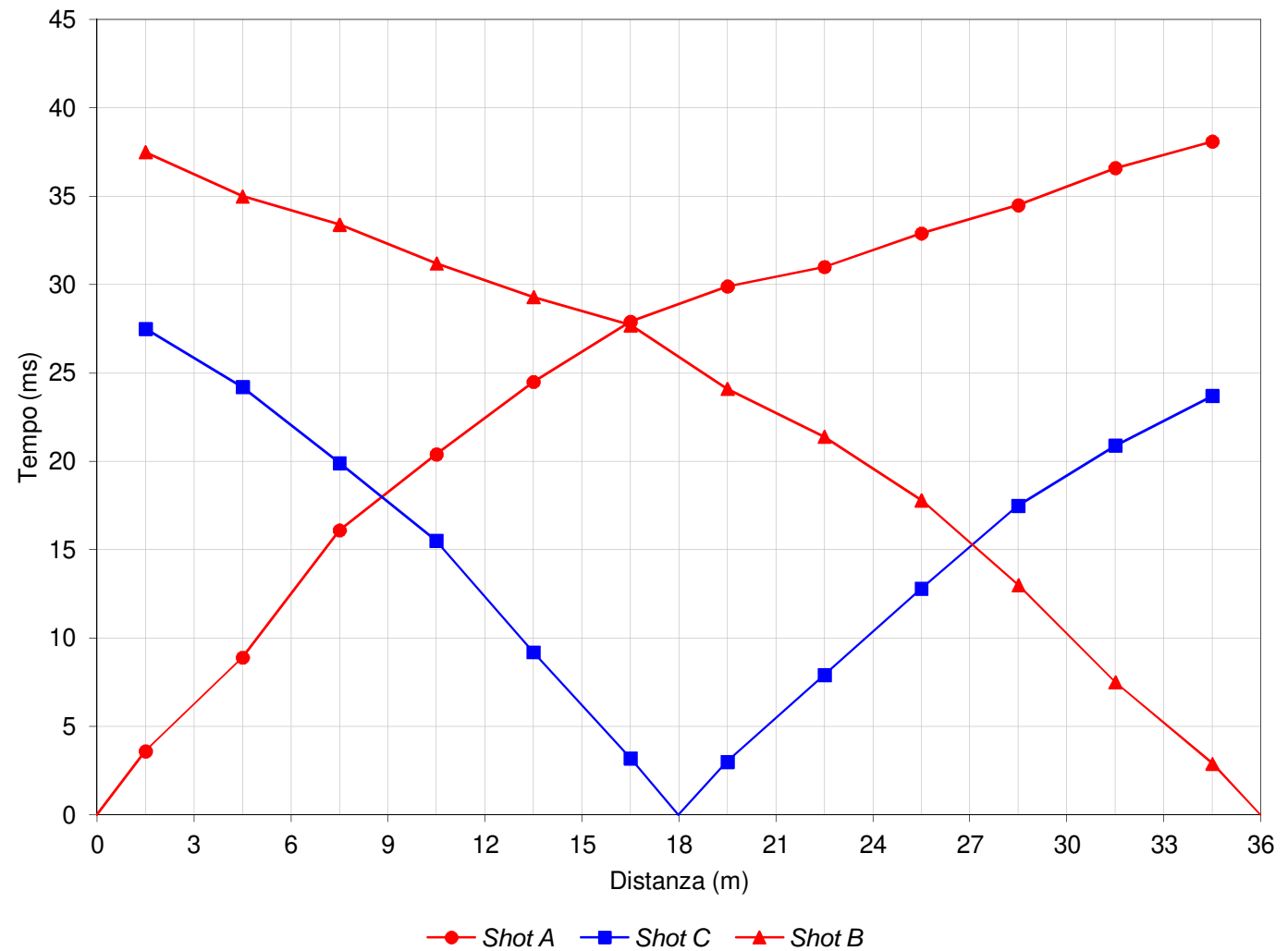
Sismostrato 3

## TABULATI SR2

Shots Geofoni	Distanza (m)	Quota (m)	V <sub>p</sub> 1 (m/s)	V <sub>p</sub> 2 (m/s)	V <sub>p</sub> 3 (m/s)	Prof. 1 (m)	Prof. 2 (m)
<b>A</b>	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>473</b>	<b>757</b>	<b>1.654</b>	<b>2,7</b>	<b>6,8</b>
G1	1,5	0,00	478	765	1.654	2,6	6,8
G2	4,5	0,00	489	781	1.654	2,4	6,9
G3	7,5	0,00	500	797	1.654	2,7	6,2
G4	10,5	0,00	511	813	1.654	2,7	6,3
G5	13,5	0,00	522	829	1.654	2,3	6,3
G6	16,5	0,00	533	845	1.654	2,1	6,5
<b>C</b>	<b>18,0</b>	<b>0,00</b>	<b>538</b>	<b>853</b>	<b>1.654</b>	<b>2,0</b>	<b>6,4</b>
G7	19,5	0,00	542	859	1.654	1,9	6,4
G8	22,5	0,00	550	871	1.654	1,9	6,4
G9	25,5	0,00	558	882	1.654	2,1	6,1
G10	28,5	0,00	566	894	1.654	2,0	6,2
G11	31,5	0,00	574	906	1.654	1,6	6,3
G12	34,5	0,00	582	917	1.654	1,5	6,3
<b>B</b>	<b>36,0</b>	<b>0,00</b>	<b>586</b>	<b>923</b>	<b>1.654</b>	<b>1,4</b>	<b>6,3</b>

## DROMOCRONE SR2

Geof.	Dist. (m)	Shot A (ms)	Shot C (ms)	Shot B (ms)
G1	1,5	3,6	27,5	37,5
G2	4,5	8,9	24,2	35,0
G3	7,5	16,1	19,9	33,4
G4	10,5	20,4	15,5	31,2
G5	13,5	24,5	9,2	29,3
G6	16,5	27,9	3,2	27,7
G7	19,5	29,9	3,0	24,1
G8	22,5	31,0	7,9	21,4
G9	25,5	32,9	12,8	17,8
G10	28,5	34,5	17,5	13,0
G11	31,5	36,6	20,9	7,5
G12	34,5	38,1	23,7	2,9

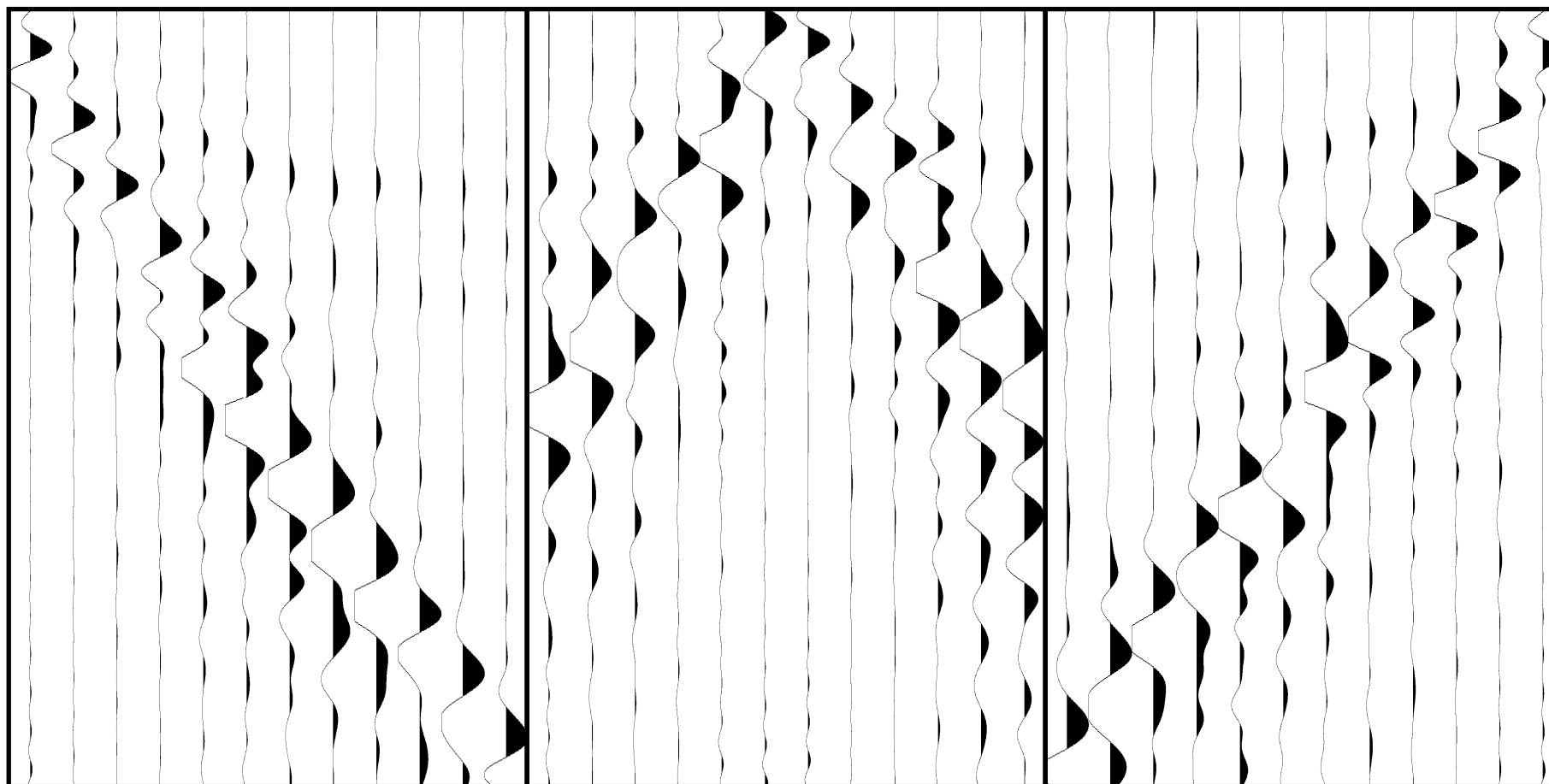


## SISMOGRAMMI SR2

Shot A

Shot C

Shot B



Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

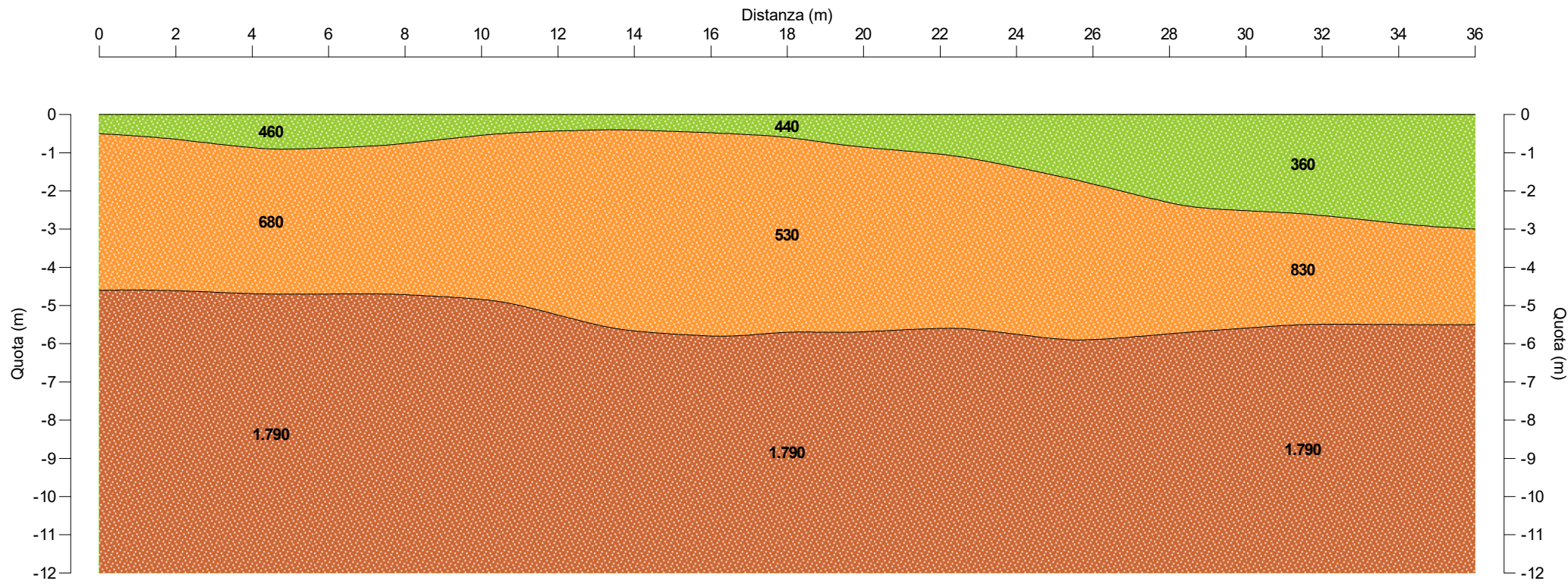
Lunghezza linea: 36 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 3

Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 200 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 1530  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: 200 Hz






# SISMICA A RIFRAZIONE SR3

Scala 1:150



## LEGENDA

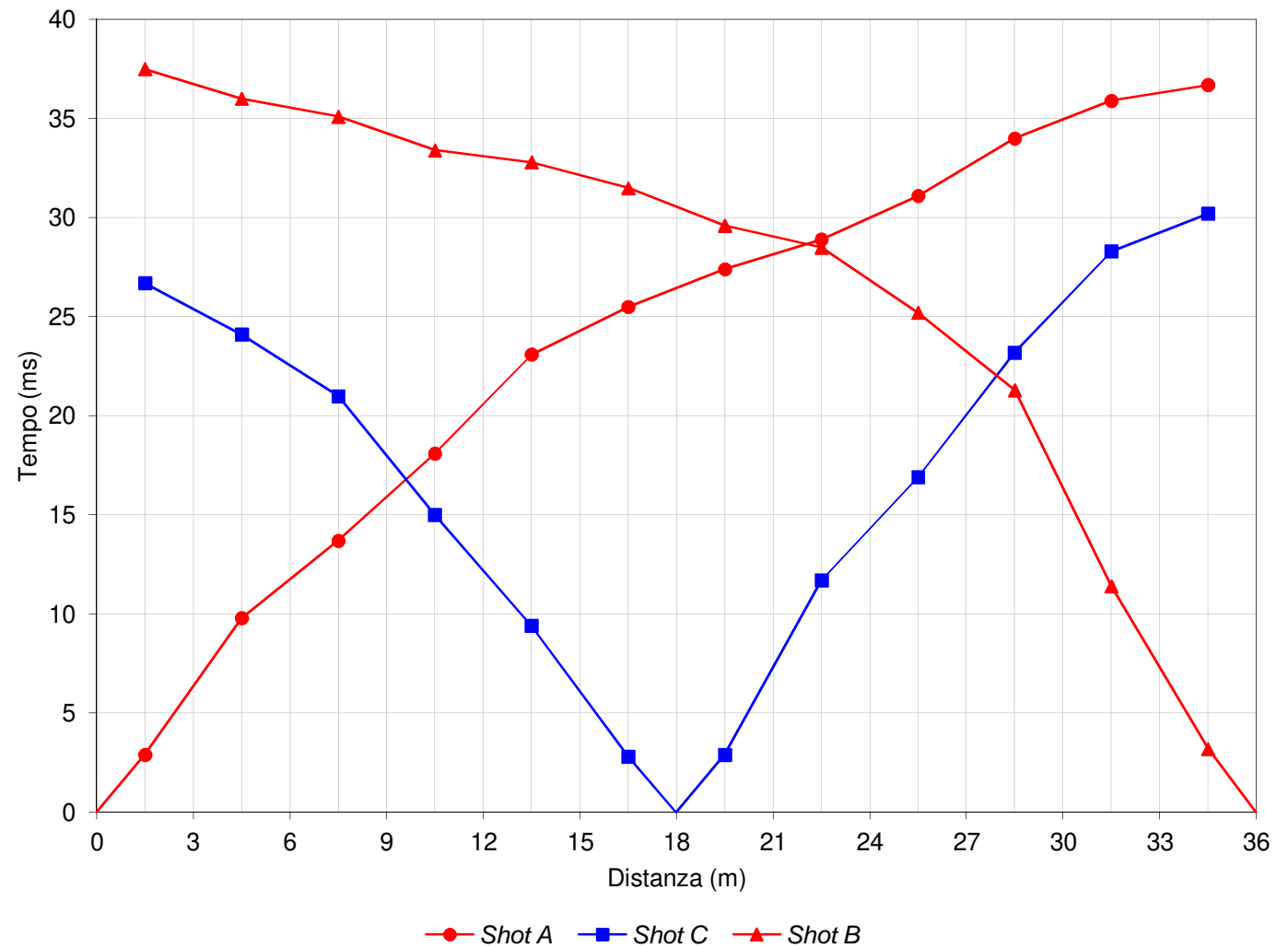
- |   |               |     |                       |
|---|---------------|-----|-----------------------|
|  | Sismostrato 1 | 460 | Velocità onde P (m/s) |
|  | Sismostrato 2 |     |                       |
|  | Sismostrato 3 |     |                       |

## TABULATI SR3

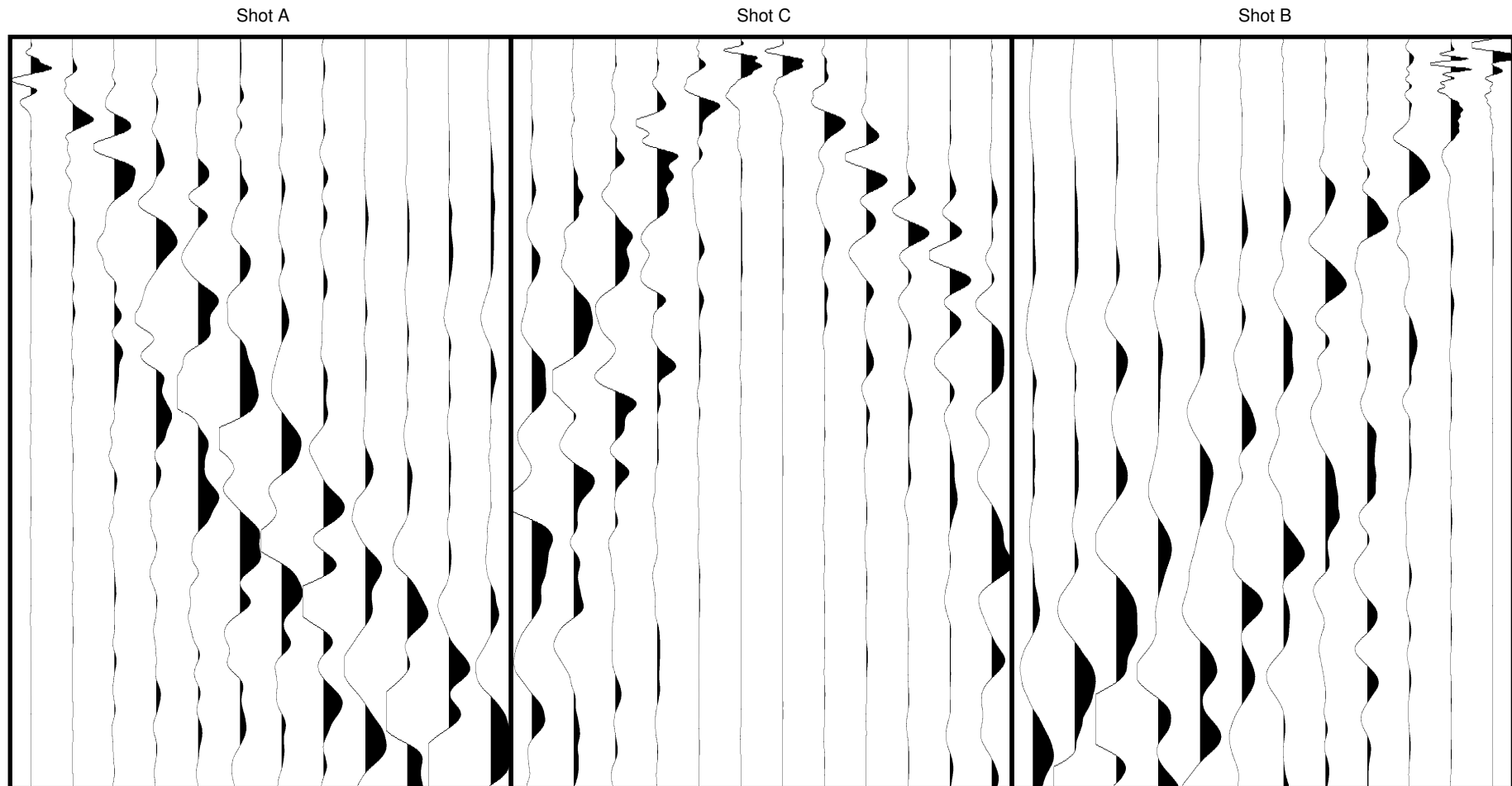
Shots Geofoni	Distanza (m)	Quota (m)	V <sub>p</sub> 1 (m/s)	V <sub>p</sub> 2 (m/s)	V <sub>p</sub> 3 (m/s)	Prof. 1 (m)	Prof. 2 (m)
<b>A</b>	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>464</b>	<b>675</b>	<b>1.791</b>	<b>0,5</b>	<b>4,6</b>
G1	1,5	0,00	462	663	1.791	0,6	4,6
G2	4,5	0,00	458	638	1.791	0,9	4,7
G3	7,5	0,00	453	613	1.791	0,8	4,7
G4	10,5	0,00	449	588	1.791	0,5	4,9
G5	13,5	0,00	445	563	1.791	0,4	5,6
G6	16,5	0,00	440	538	1.791	0,5	5,8
<b>C</b>	<b>18,0</b>	<b>0,00</b>	<b>438</b>	<b>525</b>	<b>1.791</b>	<b>0,6</b>	<b>5,7</b>
G7	19,5	0,00	432	551	1.791	0,8	5,7
G8	22,5	0,00	419	602	1.791	1,1	5,6
G9	25,5	0,00	407	653	1.791	1,7	5,9
G10	28,5	0,00	394	704	1.791	2,4	5,7
G11	31,5	0,00	382	755	1.791	2,6	5,5
G12	34,5	0,00	369	806	1.791	2,9	5,5
<b>B</b>	<b>36,0</b>	<b>0,00</b>	<b>363</b>	<b>831</b>	<b>1.791</b>	<b>3,0</b>	<b>5,5</b>

## DROMOCRONE SR3

Geof.	Dist. (m)	Shot A (ms)	Shot C (ms)	Shot B (ms)
G1	1,5	2,9	26,7	37,5
G2	4,5	9,8	24,1	36,0
G3	7,5	13,7	21,0	35,1
G4	10,5	18,1	15,0	33,4
G5	13,5	23,1	9,4	32,8
G6	16,5	25,5	2,8	31,5
G7	19,5	27,4	2,9	29,6
G8	22,5	28,9	11,7	28,5
G9	25,5	31,1	16,9	25,2
G10	28,5	34,0	23,2	21,3
G11	31,5	35,9	28,3	11,4
G12	34,5	36,7	30,2	3,2



## SISMOGRAMMI SR3



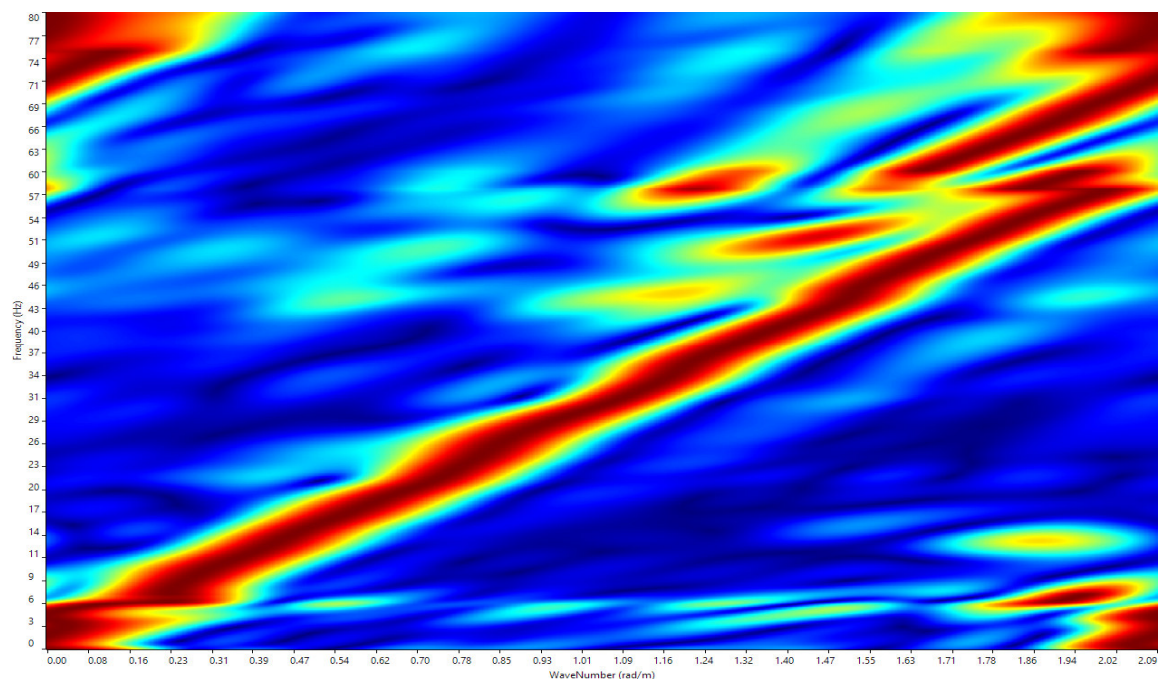
Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

Lunghezza linea: 36 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 3

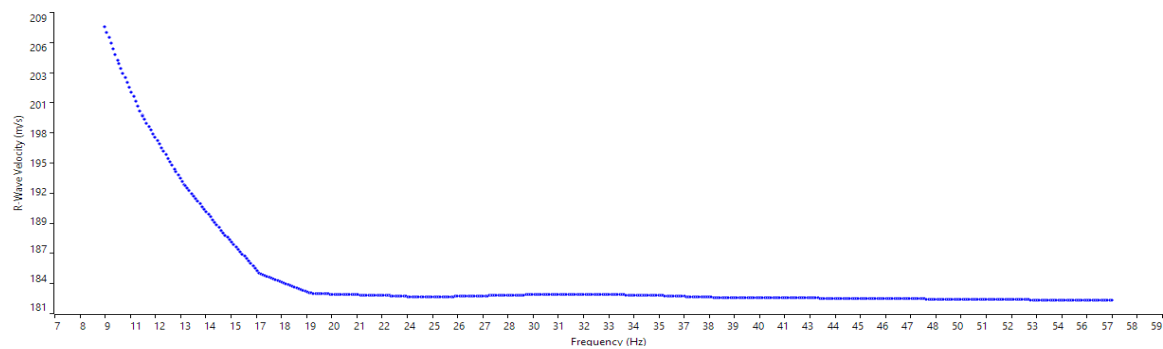
Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 200 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 1530  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: 200 Hz

# MASW1

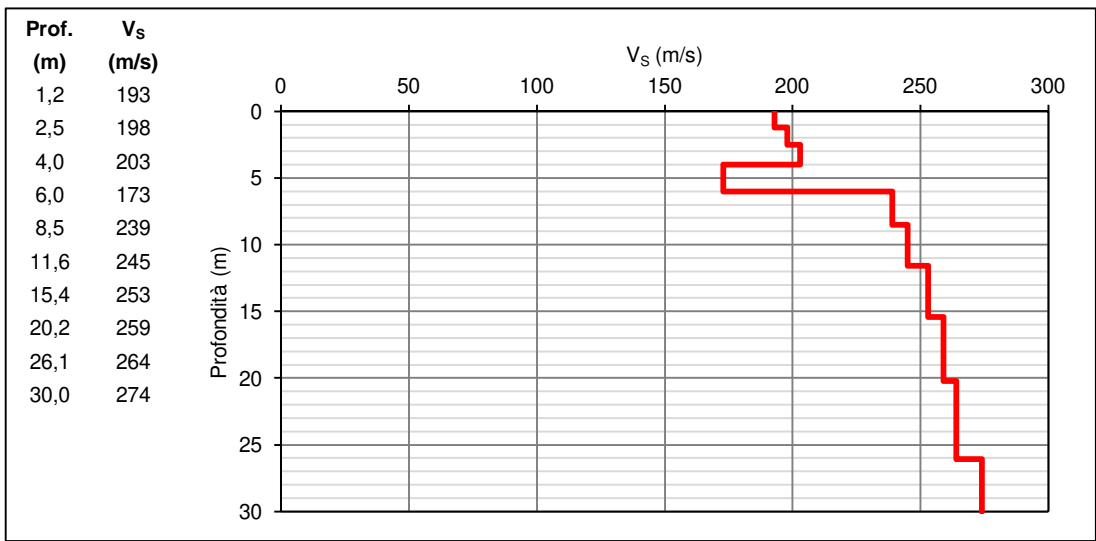
## Dominio FK



## Curva di dispersione

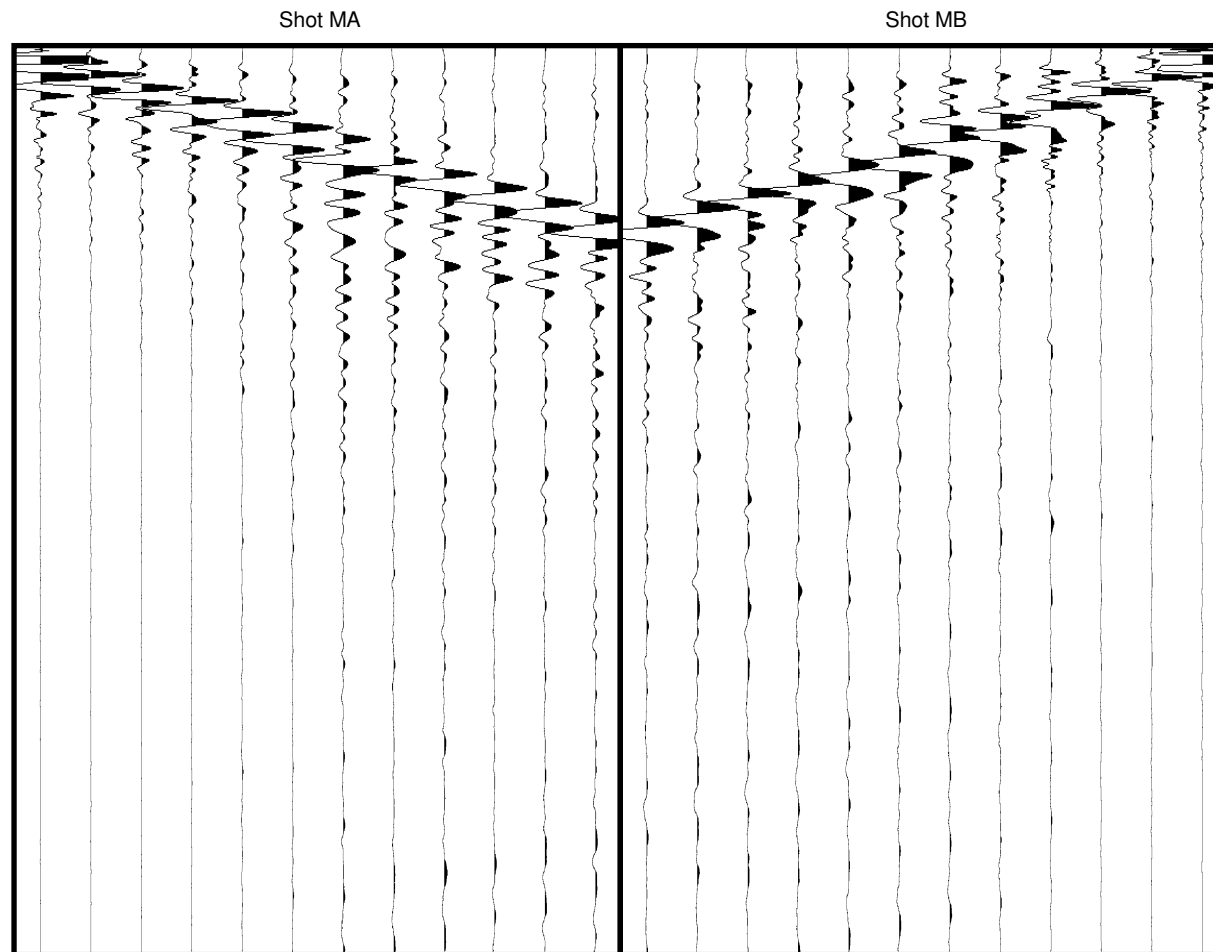


## Profilo onde di taglio $V_s$





## SISMOGRAMMI MASW1



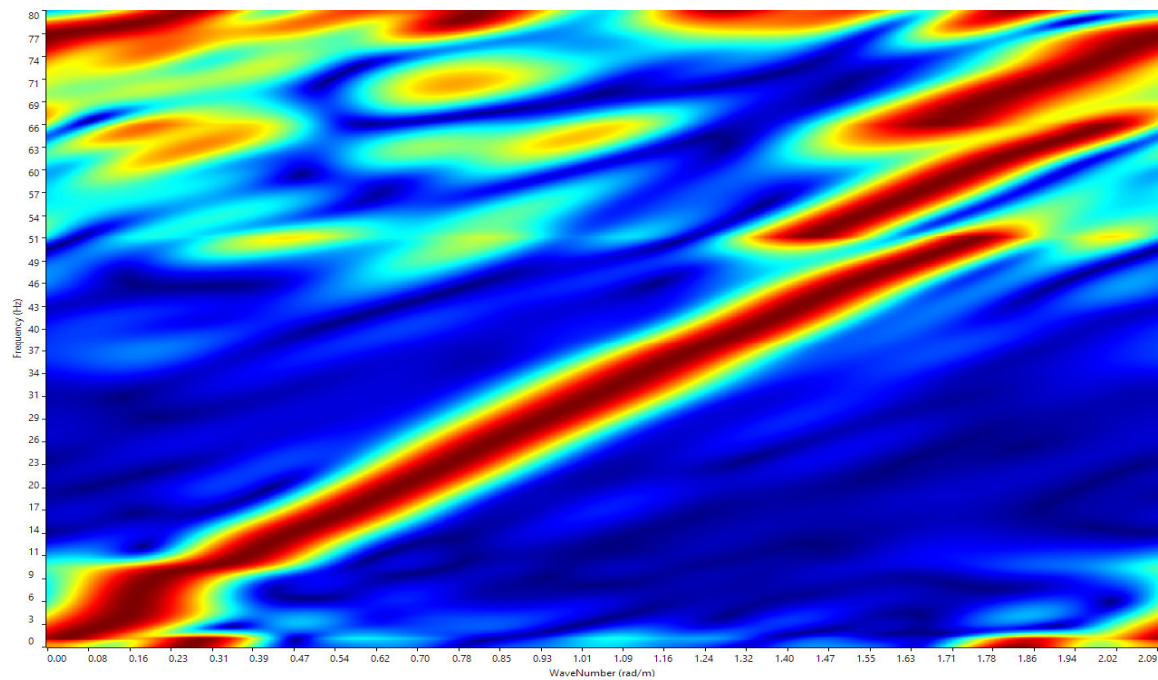
Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

Lunghezza linea: 39 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 2

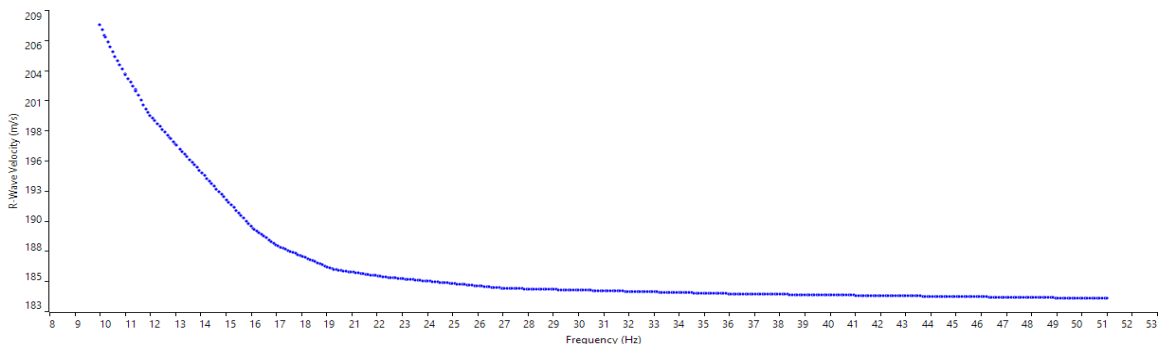
Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 1000 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 7650  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: No

MASW2

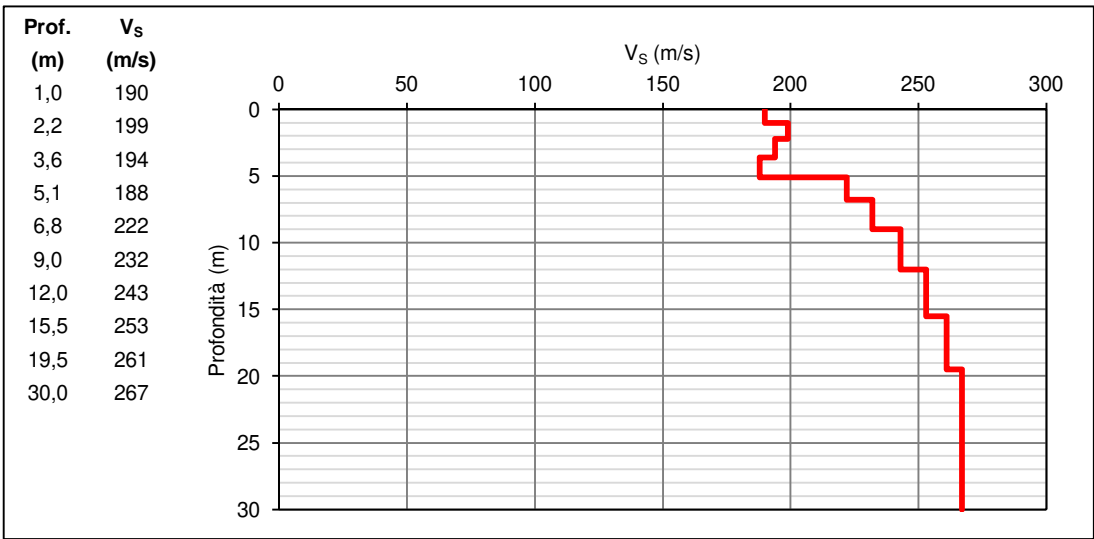
Dominio FK



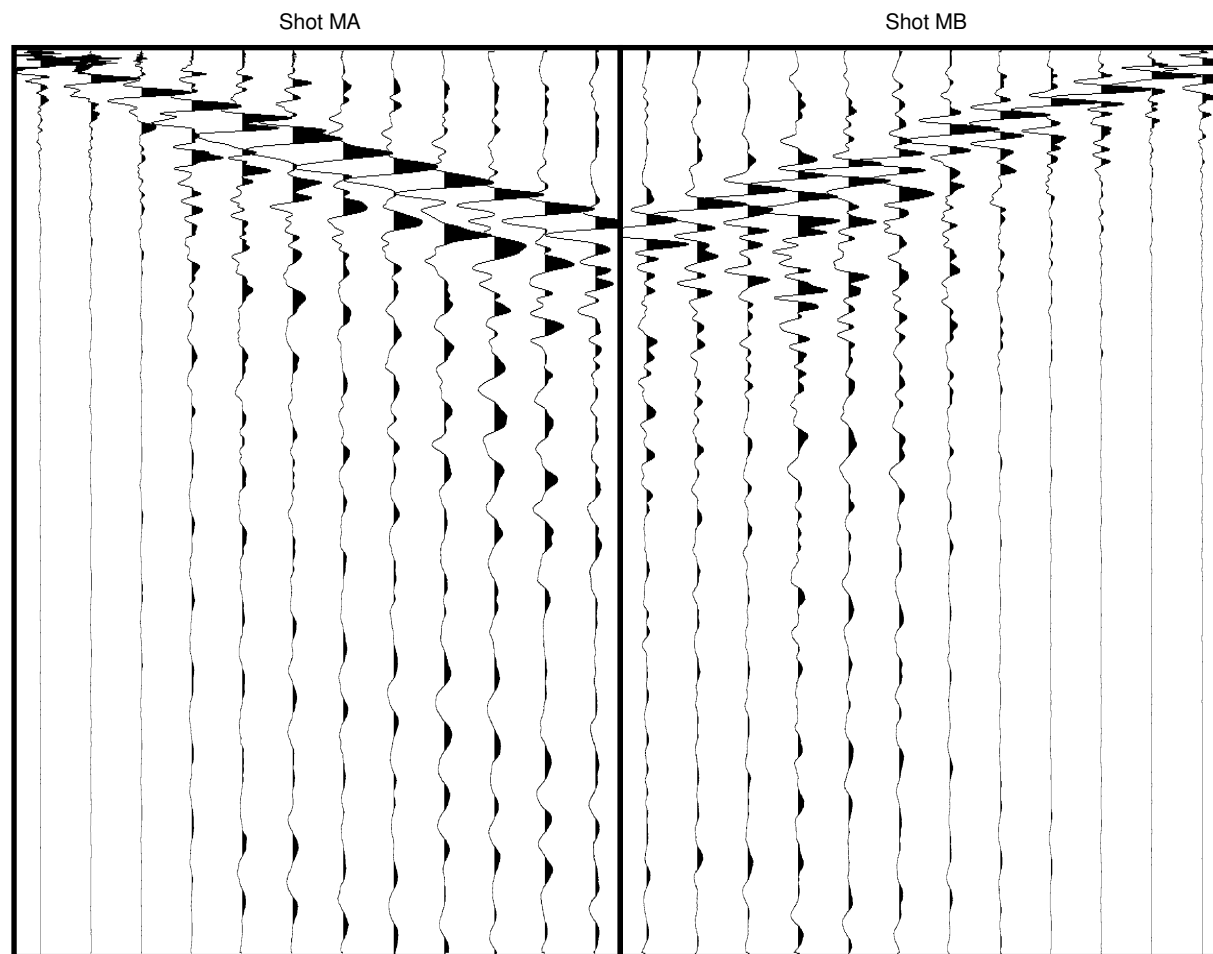
Curva di dispersione



Profilo onde di taglio  $V_s$



## SISMOGRAMMI MASW2



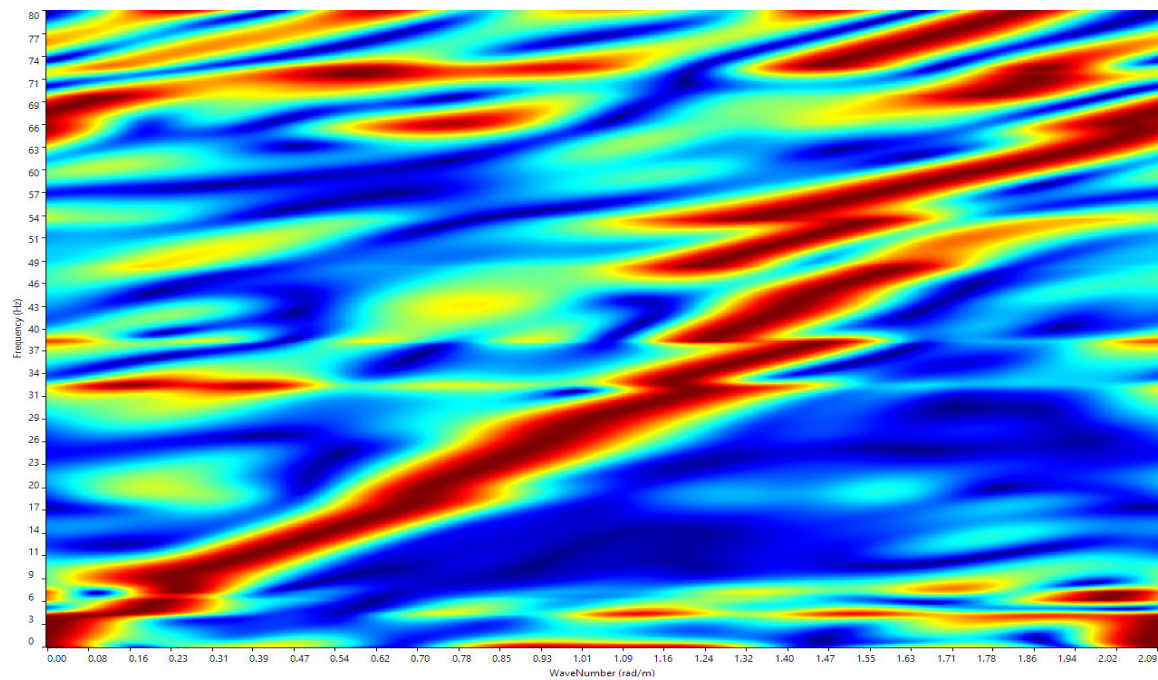
Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

Lunghezza linea: 39 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 2

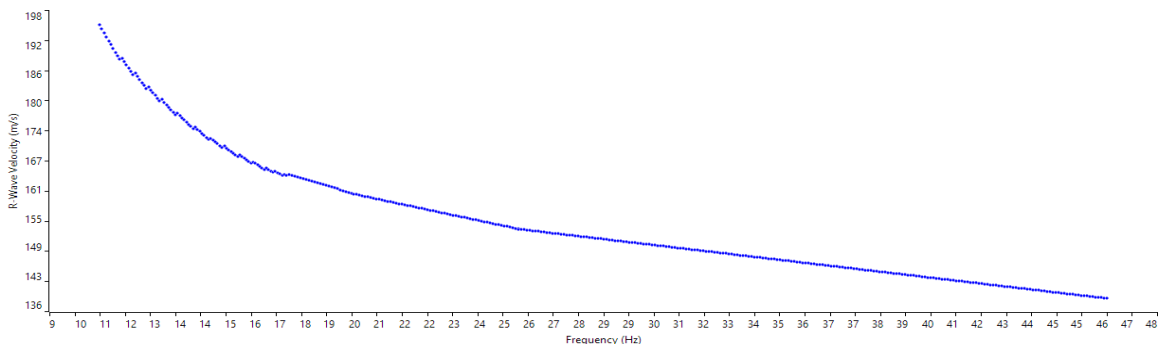
Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 1000 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 7650  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: No

# MASW3

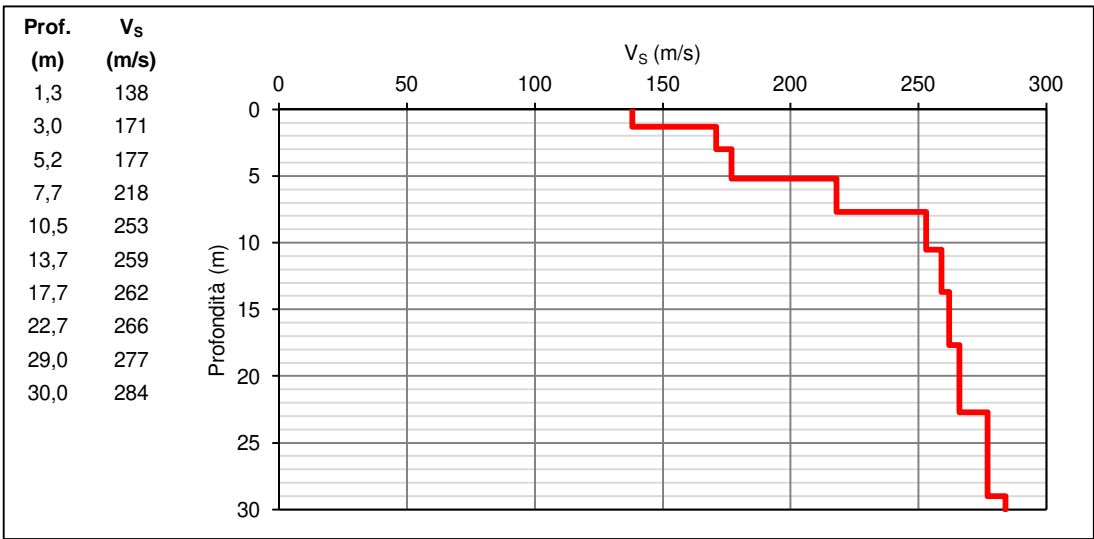
## Dominio FK



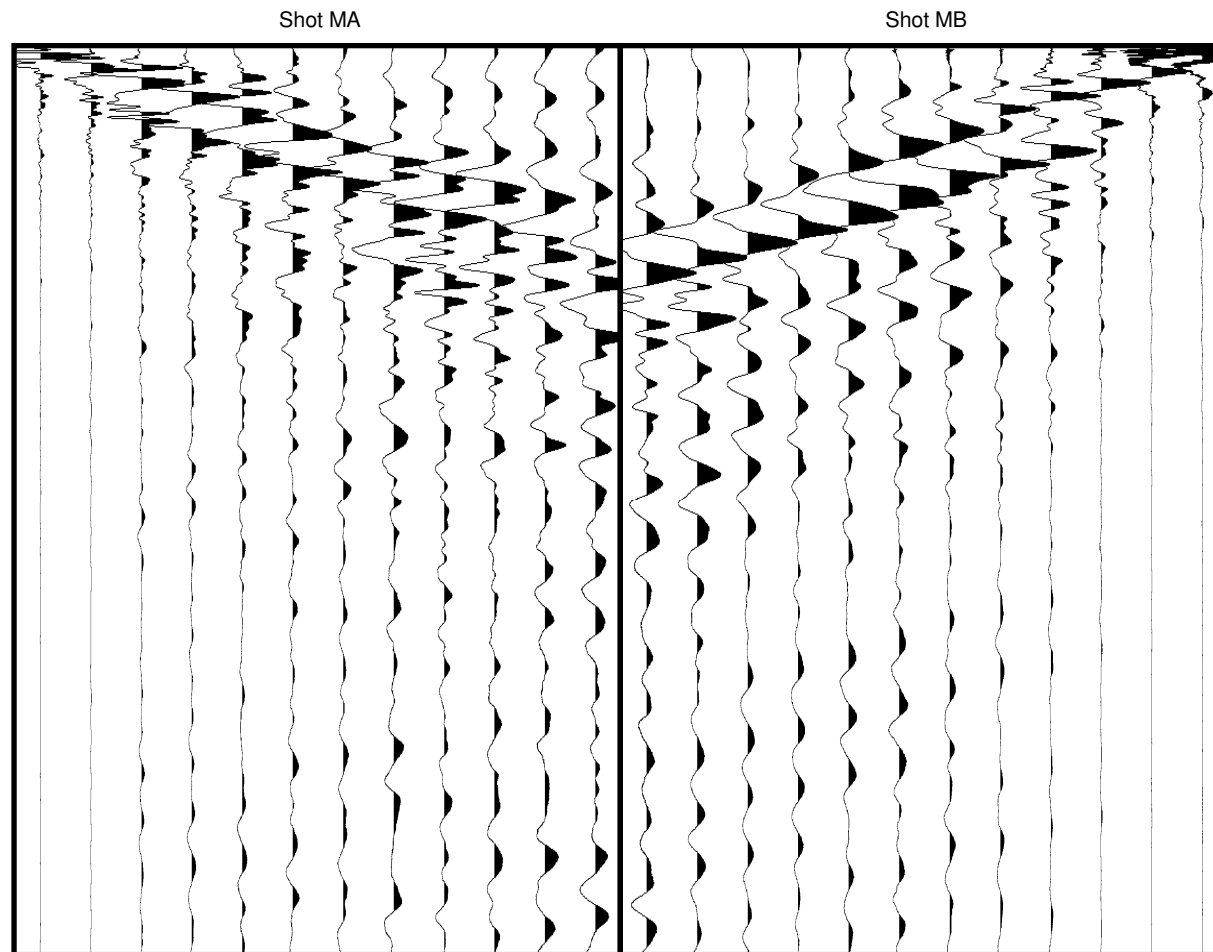
## Curva di dispersione



## Profilo onde di taglio $V_s$



## SISMOGRAMMI MASW3



Comune: Pescara  
Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale  
Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca  
Data: 16/07/2019

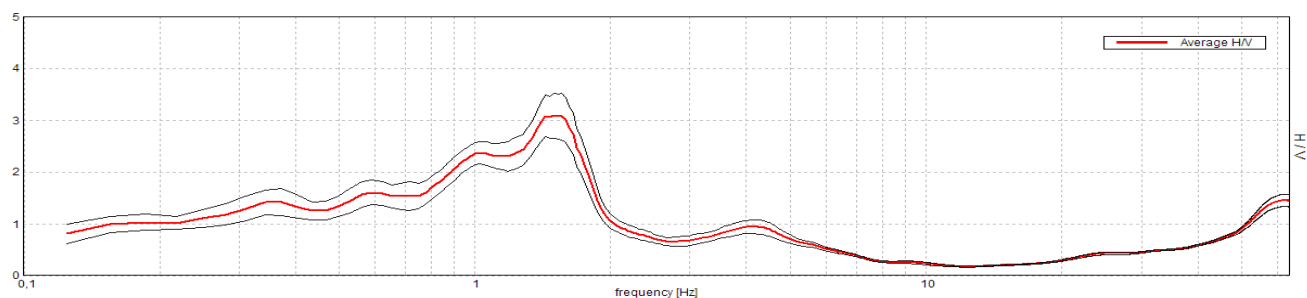
Lunghezza linea: 39 m  
Geofoni: 12  
Distanza intergeofonica: 3 m  
Shots: 2

Sismografo: ECHO 12-24  
Tempo di registrazione: 1000 ms  
Sample interval: 0,13 ms - Samples: 7650  
Trace equalization: Si - Filtro high-cut: No

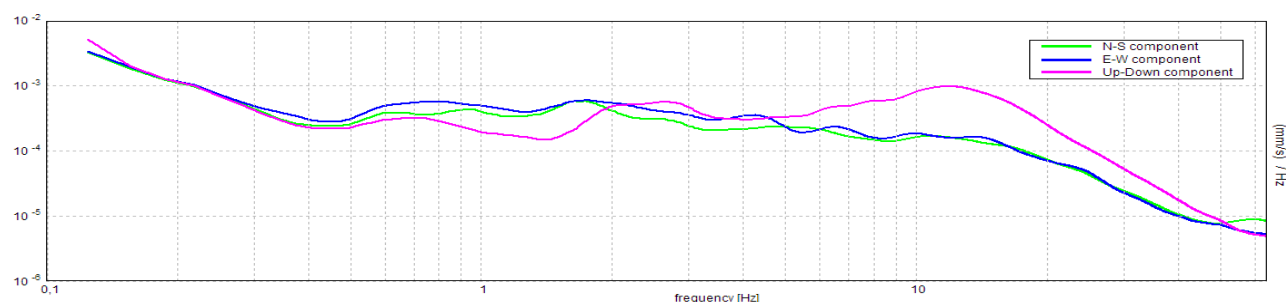


# HVSR1

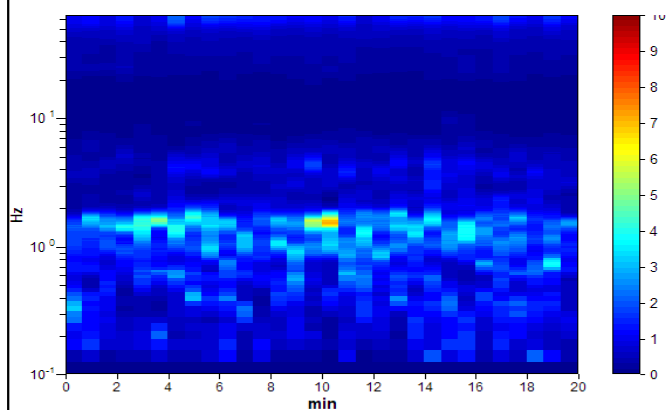
## HVSR



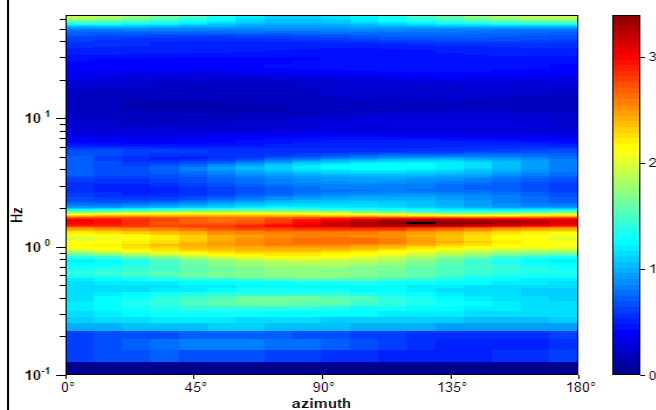
## Spettri delle componenti



## Serie temporale HVSR



## HVSR direzionale



## Criteri linee guida SESAME

### Picco massimo HVSR (Hz)

1,5

Criteri di affidabilità curva HVSR

$$f_0 > 10 / L_w$$

OK

$$n_c(f_0) > 200$$

OK

$$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0,5f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 > 0,5\text{Hz}$$

OK

Criteri di affidabilità picco HVSR

$$\text{Esiste } f' \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$$

OK

$$\text{Esiste } f^+ \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

OK

$$A_0 > 2$$

OK

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

OK

$$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$$

OK

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

OK

Comune: Pescara

Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale

Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca

Data: 16/07/2019

Tromografo: Tromino TRZ-0014/01-09

Tempo di registrazione: 20 min

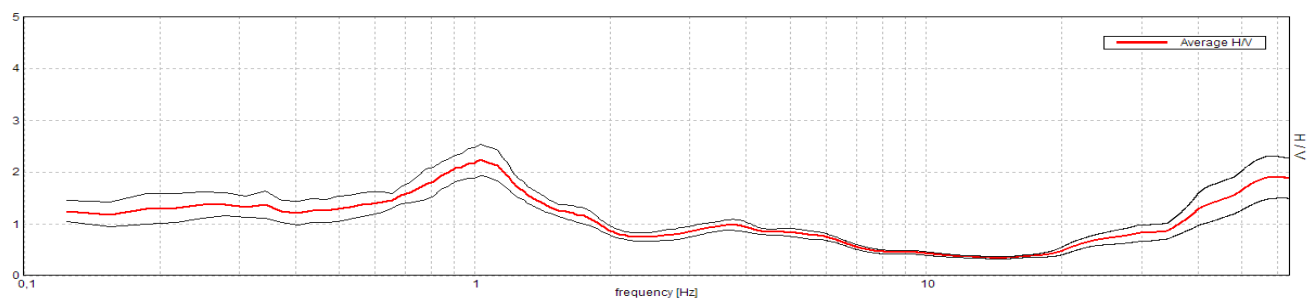
Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 40 s

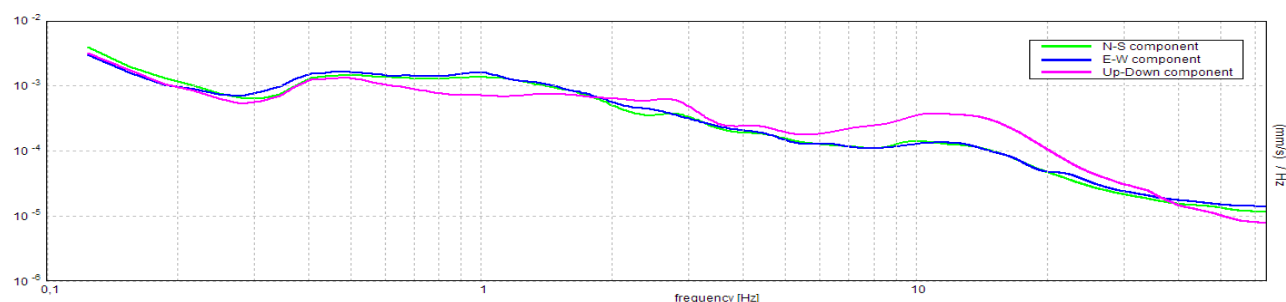
Lisciamento: Triangular window 15%

# HVSR2

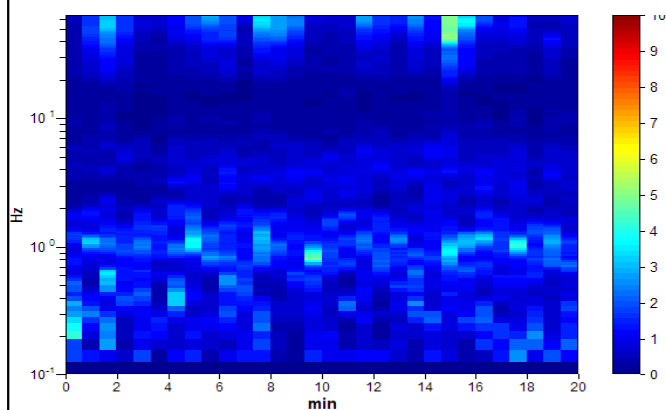
## HVSR



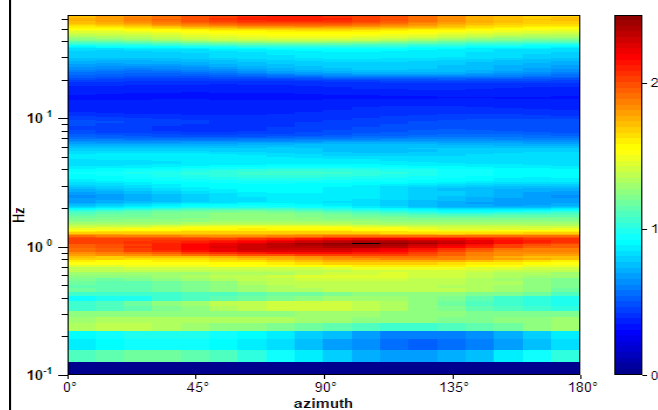
## Spettri delle componenti



## Serie temporale HVSR



## HVSR direzionale



## Criteri linee guida SESAME

### Picco massimo HVSR (Hz)

1,0

Criteri di affidabilità curva HVSR

$$f_0 > 10 / L_w$$

OK

$$n_c(f_0) > 200$$

OK

$$\sigma A(f) < 2 \text{ per } 0,5f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 > 0,5\text{Hz}$$

OK

Criteri di affidabilità picco HVSR

$$\text{Esiste } f' \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$$

NO

$$\text{Esiste } f^+ \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

OK

$$A_0 > 2$$

OK

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

OK

$$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$$

OK

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

OK

Comune: Pescara

Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale

Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca

Data: 16/07/2019

Tromografo: Tromino TRZ-0014/01-09

Tempo di registrazione: 20 min

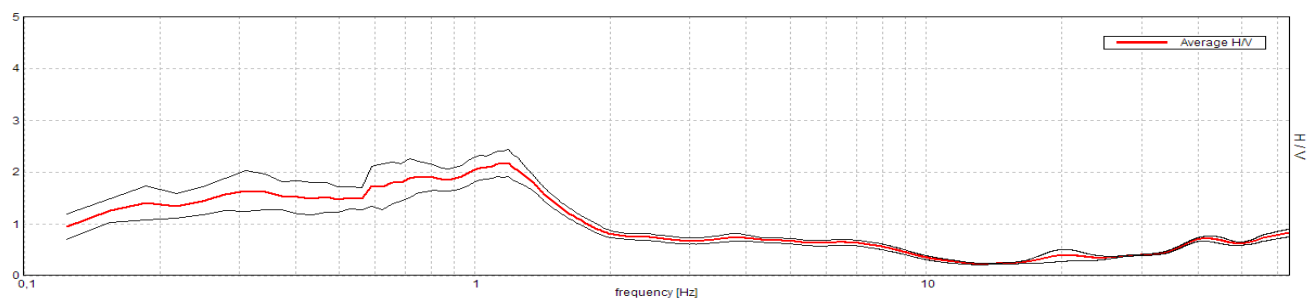
Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 40 s

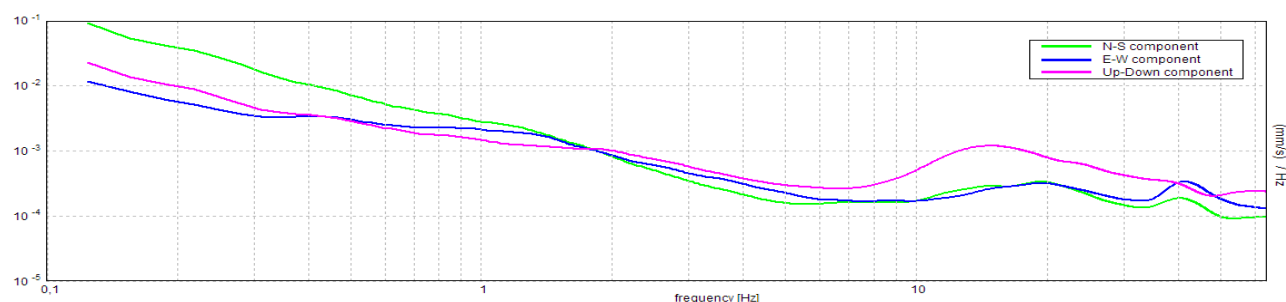
Lisciamento: Triangular window 15%

# HVSR3

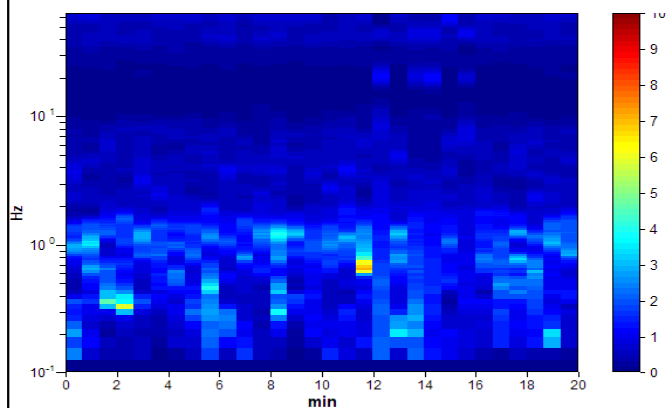
## HVSR



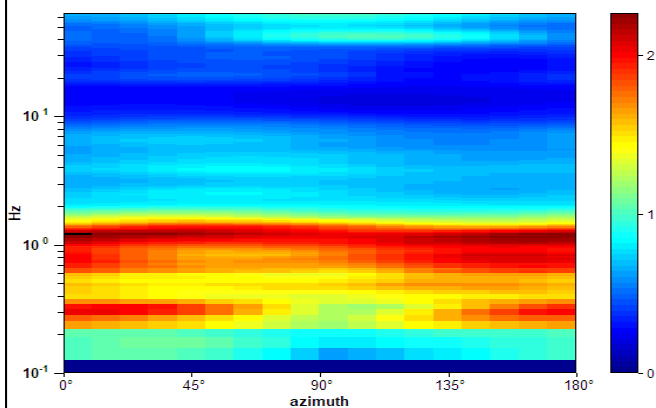
## Spettri delle componenti



## Serie temporale HVSR



## HVSR direzionale



## Criteri linee guida SESAME

### Picco massimo HVSR (Hz)

1,2

Criteri di affidabilità curva HVSR

$$f_0 > 10 / L_w$$

OK

$$n_c(f_0) > 200$$

OK

$$\sigma A(f) < 2 \text{ per } 0,5f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 > 0,5\text{Hz}$$

OK

Criteri di affidabilità picco HVSR

$$\text{Esiste } f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$$

NO

$$\text{Esiste } f^+ \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

OK

$$A_0 > 2$$

OK

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

NO

$$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$$

OK

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

OK

Comune: Pescara

Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale

Oggetto: Indagini sismiche per realizzazione di interventi strutturali a sostegno della pesca

Data: 16/07/2019

Tromografo: Tromino TRZ-0014/01-09

Tempo di registrazione: 20 min

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 40 s

Lisciamento: Triangular window 15%