



REGIONE SICILIA
CITTÀ DI MILAZZO

(Città Metropolitana di Messina)

4° Settore

6° Servizio - Politica del Territorio

**VARIANTE AL PIANO REGOLATORE
GENERALE IN ESECUZIONE
DELLA SENTENZA T.A.R. DI CATANIA
N.452/2020**

- adempimenti "VERBALE SVOLGIMENTO ATTIVITÀ DEL COMMISSARIO AD ACTA"

Ditta proprietaria

N.C.T. FOGLIO n.6 PARTICELLE n.23 - 1121-1122-1123-1124-1125

IMPELLIZZERI ED EREDI

ELABORATI

Punto b) Verbale Commissario ad Acta del 26.02.2021

**RELAZIONE
GEOMORFOLOGICA**

IL TECNICO

Dott. Geol. Fortunato Perrone

Scala

RELAZIONE

B

Milazzo, li

VISTO:

IL COMMISSARIO AD ACTA
Ing. Antonio Cardia

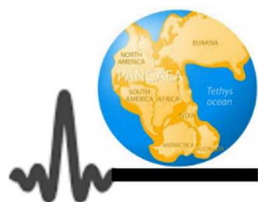
VISTO:

Il Responsabile del Procedimento
Arch. Ferdinando Torre

Allegato alla deliberazione del Commissario ad Acta n° _____ del _____

IL SEGRETARIO GENERALE

IL COMMISSARIO AD ACTA
Ing. Antonio Cardia



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE
Geologo Dott. Fortunato Perrone
Via Quasimodo, n 2 - 98050 - TERME VIGLIATORE (ME)
Tel. 0909781860 - 3406237410 studiogeologiaperrone@gmail.com
C.F. : PRRFTN78M21M210U - P.I. : 02826330835

COMUNE DI MILAZZO

(Città Metropolitana di Messina)

DITTA: IMPELLIZZERI ed EREDI

RELAZIONE GEOLOGICA

OGGETTO: — *Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020.*

GEOLOGO FORTUNATO PERRONE (ORGS 2734)



Marzo 2021

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
2.	QUADRO MORFOLOGICO	5
3.	CATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI	8
4.	QUADRO GEOLOGICO	13
	5.1 Descrizione litologica.....	15
5.	QUADRO IDROGEOLOGICO	16
6.	QUADRO LITOTECNICO	Errore. Il segnalibro non è definito.
7.	QUADRO SISMICO	21
8.	DESCRIZIONE DELLE CARTE TEMATICHE	55
9.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	59

1. PREMESSA

Nella presente relazione, redatta dal sottoscritto Dott. Geologo Fortunato Perrone (iscritto all'Albo Regionale dei Geologi di Sicilia al n° 2734) ai sensi della Circolare prot. n° 28807 del 20.06.2014 emanata dall'*Assessorato del Territorio e dell'Ambiente* della Regione Sicilia, si espone quanto scaturito da uno studio geologico a supporto della "***Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020***", su dei terreni di proprietà della ditta "**Impellizzeri ed Eredi**" ed ubicati nel Comune di Milazzo (ME).

Lo studio di che trattasi é stato condotto, previa consultazione dei dati della letteratura geologica esistente, mediante accurati rilievi di superficie (rilevamento geologico) estesi ad un areale ben più ampio e significativo rispetto all'area su cui sarà realizzata la variante urbanistica al P.R.G., prestando particolare attenzione alla geometria delle eventuali superfici di discontinuità fisica, ai caratteri morfologici salienti, alla valutazione delle condizioni di equilibrio dell'area, ai rapporti stratigrafico-strutturali tra le varie formazioni litologiche riscontrate ed alla presenza di eventuali corpi idrici superficiali (misurazioni piezometriche per la determinazione del livello statico della falda idrica all'interno di derivazioni idriche esistenti nell'hinterland).

Dovendo, inoltre, inquadrare l'area dal punto di vista sismico secondo quanto previsto dalla summenzionata Circolare A.R.T.A. prot. n° 28807 del 20.06.2014, nonché, dal *DM 2018 Norme Tecniche sulle Costruzioni*, al fine di determinare lo spessore delle eventuali coltri di copertura (terreno vegetale, di riporto, di alterazione, detriti, ecc.) verificare la reale consistenza e ottenere¹ la caratterizzazione

¹Sulla scorta anche di precedenti indagini geognostiche eseguite su campioni di analoga facies litologica, in occasione di precedenti studi condotti in aree limitrofe.

morfologica, geologico-strutturale, idrogeologica, sismica e fisico-meccanica dei terreni in oggetto, è stata altresì effettuata una campagna d'indagini geognostiche (vedi planimetria allegata), consistente in n°3 indagini sismiche passive HVSR.

Ciò ha permesso di abbozzare modelli preliminari sul rischio sismico locale (*vulnerabilità, esposizione, pericolosità sismica di base e risposta sismica locale*), di definire la categoria sismica di sottosuolo e la categoria topografica, ed eventuali prescrizioni esecutive.

Inoltre è stata valutata la suscettibilità nei confronti della liquefazione dei terreni interessati alla variante allo strumento urbanistico.

La presente relazione, tenendo conto di quanto prescritto dalla suddetta Circolare prot. n° 28807 del 20.06.2014, risulta corredata dai seguenti elaborati grafici:

- corografia in scala 1:25.000;
- stralcio catastale in scala 1:2.000;
- planimetria di progetto in scala 1:1.000;
- stralci cartografia P.A.I. in scala 1:5.000;
- carta geomorfologica in scala 1:2.000;
- carta geologica in scala 1:2.000;
- carta idrogeologica in scala 1:2.000;
- carta delle indagini in scala 1:5.000;
- carta litotecnica in scala 1:2.000;
- carta della pericolosità geologica in scala 1:2000;
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:2.000;
- carta delle prescrizioni e indicazioni esecutive in scala 1:2.000;
- report indagini hvsr.

Lo studio, in questa fase, pur fornendo informazioni geologiche dettagliate sulle caratteristiche dell'area oggetto riveste carattere di massima, in quanto non può sostituire gli studi geologici inerenti i

singoli progetti. Pertanto le tematiche in esso affrontate verranno successivamente ampliate ed approfondite, con l'ausilio di appropriate indagini geognostiche a carattere puntuale, nella successiva fase esecutiva immediatamente precedente l'edificazione delle varie opere progettate.

2.0 QUADRO MORFOLOGICO

L'area oggetto del presente studio é ubicata nell'abitato di Milazzo, a nord-ovest dell'ex linea ferroviaria e a est della via Spiaggia di Ponente. In cartografia ufficiale (Carta d'Italia in scala 1:25.000 edita dall'I.G.M.I.) la porzione di territorio in esame risulta localizzabile nella parte nord-occidentale della tavoletta MILAZZO – F° 253 I S.O. (vedi corografia allegata). Facendo riferimento all'ellissoide WGS84 adoperato da Google Earth™, per la localizzazione del sito in esame, considerando come posizione media la parte centrale dell'area oggetto di lottizzazione, avremo le seguenti coordinate geografiche:

Lat. 38.218194° N.

Long. 15.233563° E.

Dal punto di vista morfologico territoriale ci troviamo nell'ambito dei terreni alluvionali che costituiscono la Piana alluvionale di Milazzo.

- La piana alluvionale costiera, compresa fra Capo Milazzo e Capo Tindari ed interposta tra il Mar Tirreno e le estreme propaggini settentrionali della Catena Peloritana é caratterizzata da una morfologia pianeggiante con debole inclinazione verso la linea di costa (nord ovest).

I terreni che formano detta piana sono dati da sedimenti recenti, di origine fluvio-marina dalle caratteristiche granulometriche

eterogenee. Si tratta di sedimenti clastici e incoerenti provenienti dall'erosione e dalla degradazione delle rocce affioranti nelle zone distali e mediane dei bacini imbriferi del torrente Mela e del torrente Floripotema–Corriolo, successivamente trasportati e depositati o nei tratti vallivi, dove è minore la pendenza degli alvei ed i corsi d'acqua dissipano gli eccessi d'energia, o direttamente nel Tirreno. I depositi alluvionali accumulatisi durante l'ultima era geologica hanno colmato un'ampia depressione causata, probabilmente da una dislocazione tettonica di tipo distensivo. Un fattore fondamentale nella genesi della pianura alluvionale ha assunto il promontorio della penisola di Milazzo, costituito da rocce di altissimo grado metamorfico del tutto simili a quelle che si rinvencono nei contrafforti di questo settore della dorsale peloritana.

Tale rilievo, isolato, ha costituito una barriera marina che, limitando la velocità di trasporto delle correnti marine, ha favorito la deposizione dei clasti trasportati dalle fiumare in mare i quali andavano via via a colmare la depressione e si veniva così a creare l'attuale pianura alluvionale. Nel processo di formazione della pianura alluvionale un altro importante ruolo ha giocato la tettonica quaternaria, caratterizzata da sommovimenti epirogenetici, che ha provocato il recente e non ancora sopito sollevamento della regione.

- Per quanto concerne i caratteri idrografici c'è da sottolineare che localmente non si riscontrano aste idrografiche significative, giacché siamo in pieno centro abitato e l'area è totalmente antropizzata.

2.1 Caratteristiche morfologiche del sito

L'area oggetto di variante urbanistica è collocata a una quota compresa tra i 5 e i 7 metri s.l.m., prospiciente alla linea di costa, a circa 130 mt., in un contesto generale totalmente antropizzato dal

momento che siamo in pieno centro abitato e presenta una morfologia pressoché pianeggiante, leggermente declive verso la linea di costa (da E a O), con pendenze variabili intorno all'1%. Le pendenze topografiche non sono eccessive e le variazioni di quota si sviluppano con sufficiente gradualità. Lungo tutta l'area di interesse progettuale, alla data di stesura della presente relazione, non si ravvisano gravi indizi di instabilità, né sono ipotizzabili altre fenomenologie naturali in grado di influire in maniera significativa sull'attuale equilibrio geomorfologico e sulla buona stabilità generale del sito. Nell'hinterland sono presenti edifici recenti a due÷tre elevazioni f.t., in cui non si notano lesioni riconducibili a cedimenti del substrato di fondazione, né si ravvisano fenomeni di rifluimento o liquefazione dei terreni circostanti. Localmente non si segnalano incisioni idrografiche di particolare rilievo, mentre le acque meteoriche o di ruscellamento in genere scorrono liberamente sul terreno, ma senza produrre effetti considerevoli, per via della buona capacità di drenaggio dei litotipi ivi affioranti e per le opere di urbanizzazione presenti. Lungo l'area di interesse progettuale non sono stati riscontrati dissesti idrogeologici in atto, né gravano vincoli idrogeologici imposti dal P.A.I. (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana), pertanto, per i suesposti caratteri morfologici e per l'assenza di vistosi processi morfoevolutivi in atto, si può quindi asserire che il sito in esame possiede un assetto stabile e dunque delle caratteristiche morfologiche complessive compatibili con la realizzazione delle opere previste in progetto. Nonostante la vicinanza alla linea di costa non sussistono elementi di rischio così come riportato negli stralci in allegato del P.A.I. *Unità Fisiografica n°21 da Capo Calavà a Capo Milazzo.*

3.0 CATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI

Il clima dell'area considerata è di tipo mediterraneo, caratterizzato da un semestre invernale piovoso e non molto freddo e da un'estate calda e decisamente asciutta. Tali contrasti stagionali del clima causano una grande variabilità delle condizioni idrologiche secondo le stagioni, tanto nel regime dei corsi d'acqua, quanto nella circolazione dell'acqua nel suolo e nel sottosuolo.

Un aspetto dominante del clima è dato dall'incostanza delle piogge, variabili come quantità da un anno all'altro e spesso concentrate con elevate intensità orarie e giornaliere.

Al fine di ricostruire un quadro complessivo delle condizioni climatiche del territorio in esame, sono stati presi in considerazione i seguenti parametri: la temperatura dell'aria, le precipitazioni atmosferiche e l'indice climatico.

Dati termometrici

Per le caratteristiche termometriche sono stati utilizzati i dati misurati alle stazioni termometriche di Messina, Ganzirri, Tindari e Floresta, riportati nel vol. 3 "Climatologia della Sicilia" pubblicato dall'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste, che prende in considerazione il trentennio che va dal 1965 al 1994, sulla base dei dati già pubblicati dal Servizio Idrografico dell'Assessorato LL.PP. della Regione Siciliana.

Per la stazione termometrica di Torregrotta, sono stati utilizzati i dati forniti dalla S.O.A.T N°1 di Spadafora (Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste) che prende in considerazione il periodo febbraio 1991 – marzo 2005.

L'esiguità dei dati termometrici riguardanti il territorio in studio, non consente di effettuare un'analisi molto dettagliata della situazione locale. Le stazioni per le quali si dispone di serie storiche adeguatamente lunghe sono infatti solo quattro, come si evince della

tabella n. 1. Esse sono ubicate, comunque, a differenti quote e distanze dal mare; per tale ragione, si può tuttavia tentare un approccio di comparazione tra i diversi areali.

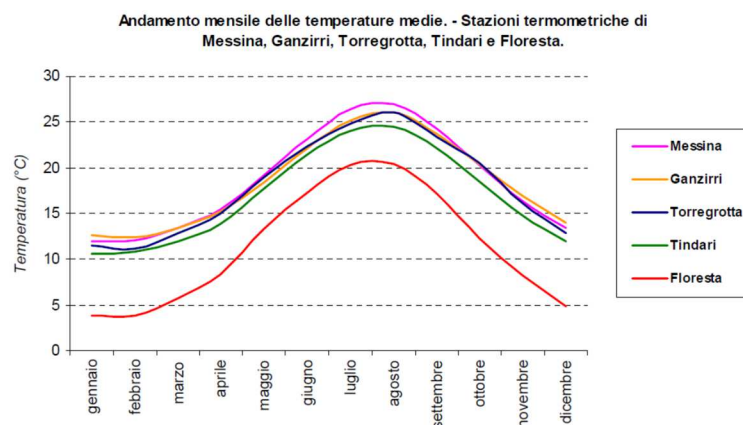
Partendo dai valori medi annuali, si possono definire tre aggregazioni territoriali principali: una bassa area costiera, con valori di temperatura media annua intorno ai 18 – 19 °C (Messina, Ganzirri e Torregrotta); un'area intermedia di collina costiera e bassa montagna (Tindari), in cui le medie annuali scendono gradualmente intorno ai 17 °C; infine, un'area di media–alta montagna con temperature comprese fra i 13 °C e i 17 °C.

La stazione di Floresta (1250 m. s.l.m.) rappresenta, invece, una fascia di alta montagna interna, dove il valore medio annuo arriva fino a circa 11° C.

STAZIONE	QUOTA (m.s.l.m.)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Temp. media annua
Messina	54	12,0	12,1	13,4	15,4	19,2	23,1	26,4	27,0	24,3	20,3	16,4	13,4	18,6
Ganzirri	1	12,6	12,4	13,4	15,2	18,4	22,1	25,2	26,0	23,7	20,4	16,9	14,0	18,4
Torregrotta (1991-2005)	43	11,1	11,0	12,6	14,9	18,9	22,3	24,6	25,8	22,9	20,5	16,0	13,0	17,8
Tindari	280	10,6	10,8	11,9	13,9	17,7	21,4	24,0	24,5	22,1	18,5	14,8	12,0	16,9
Floresta	1250	3,8	3,8	5,7	8,3	13,3	17,3	20,3	20,4	17,1	12,3	8,2	4,9	11,3

Valori medi mensili e annui delle Temperature, espressi in °C. (1965-1994)

Dalla comparazione fra i dati delle varie stazioni termometriche, emerge che l'andamento annuale della temperatura raggiunge il suo massimo nel periodo estivo e lungo la fascia costiera per diminuire gradualmente verso l'interno, alle quote più elevate.



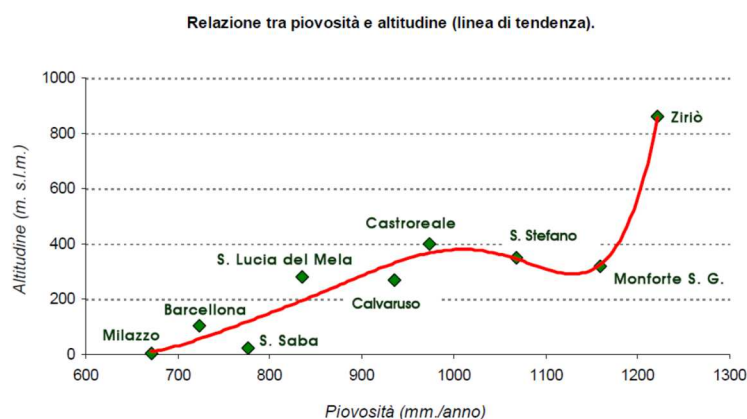
Dati pluviometrici

Per lo studio delle precipitazioni ci si è avvalsi dei dati misurati alle stazioni pluviometriche di Calvaruso, S. Saba, Ziriò, Monforte S. G., S. Lucia del Mela, Milazzo, Castoreale, Barcellona e S. Stefano di Briga, riguardanti le medie delle precipitazioni mensili ed annue tratte dalla pubblicazione “Le precipitazioni in Sicilia nel cinquantennio 1921–1970 e Carta delle Isoiete” (C.N.R. – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica). Tali dati rispecchiano un andamento delle precipitazioni concentrato soprattutto nel periodo autunnale e invernale.

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Precip. media annua
Calvaruso	270	48	132	104	82	55	42	28	12	20	64	112	151	134	936
S. Saba	24	40	107	79	66	40	37	19	9	26	50	100	120	123	776
Ziriò (C.F.)	860	12	179	122	115	66	54	31	18	24	77	157	144	235	1222
Monforte S. G.	320	43	160	124	119	75	51	28	18	25	70	125	186	178	1159
S. Lucia del Mela	280	41	124	89	81	49	35	24	10	20	55	85	126	137	835
Milazzo	2	35	94	66	62	45	34	20	9	18	40	73	103	107	671
Castroreale	399	50	147	105	101	61	43	23	11	21	67	109	144	142	974
Barcellona	104	47	108	73	67	40	37	16	8	18	60	88	109	99	723
S. Stefano di Briga	350	47	174	118	103	60	34	20	9	17	77	131	153	172	1068

Valori medi mensili e annui delle precipitazioni, espressi in mm. (1921-1970)

Con riferimento ai valori di piovosità analizzati è possibile dedurre che i valori minimi si osservano in prossimità della costa e aumentano man mano che ci si sposta verso le località più interne e più elevate in relazione a "fattori locali" di difficile quantizzazione (quali l'esposizione dei versanti e/o direzione predominante dei venti umidi) in assenza di una rete capillare di pluviografi.



Dall'analisi dei valori delle precipitazioni medie-annue nel cinquantennio considerato, si evince che il territorio in esame è

compreso tra le isoiete di 800 mm/anno e 1100 mm/anno e che il regime pluviometrico è di tipo torrentizio, massimo durante i mesi invernali, maggiormente piovosi, minimo durante il periodo estivo.

Indice climatico

L'indice climatico schematizza le condizioni climatiche di un territorio, utilizzando i parametri meteorologici della temperatura media annua (°C) e delle precipitazioni medie annue (mm).

L'analisi climatica è stata condotta utilizzando la “Carta climatica della Sicilia” pubblicata dall'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste – Unità operativa di Agrometeorologia della Regione Siciliana.

La metodologia che interpreta meglio la reale situazione locale è quella dell'indice di aridità proposta De Martonne. La formula proposta dall'autore è la seguente:

$$I_a = P / T + 10$$

P = precipitazioni medie annue (mm)

T = temperature medie annue (°C)

Dall'applicazione della suddetta formula, si definiscono 5 classi climatiche, indicate nella tabella che segue:

CLIMA	I_a
Umido	> 40
Temperato umido	40 - 30
Temperato caldo	30 - 20
Semiarido	20 - 10
Steppico	10 - 5

Applicando tale metodologia all'area d'interesse, risulta che l'intero territorio comunale è caratterizzato da un “clima temperato caldo”.

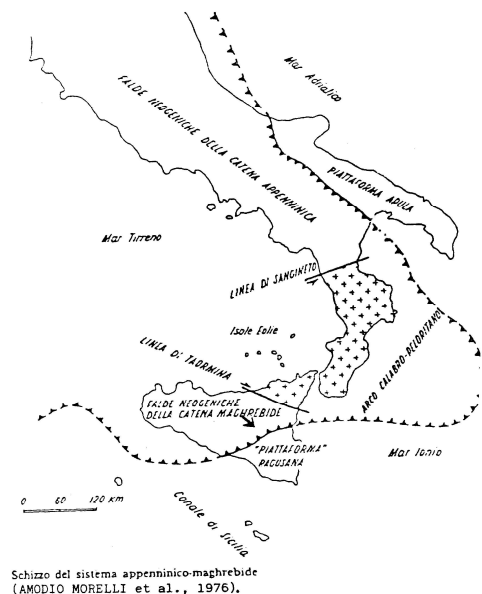
4.0 QUADRO GEOLOGICO

I caratteri geologici e litologici dell'area saranno qui di seguito riassunti al fine di mettere in evidenza gli aspetti di maggiore importanza per una soddisfacente comprensione delle caratteristiche geolitologiche del sito in esame.

–Inquadramento geologico–strutturale

L'area in studio ricade all'interno del cosiddetto "Arco Calabro – Peloritano", inteso come il settore geometricamente più alto della Catena neogenica Appenninico – Maghrebide.

Questo settore ha subito, soprattutto nel Mesozoico, un'evoluzione tettono–sedimentaria simile a quella dei settori occidentali della Sicilia, su cui esiste una copiosa letteratura; si è avuto cioè, all'inizio del Giurassico una formazione di piattaforme, progradanti su basamento metamorfico e bacini.



Questo assetto è perdurato, pur con episodi di tettonica distensiva, fino all'Oligocene – Miocene, quando le fasi alpine hanno portato alla costruzione di tutta la Catena Periadriatica.

In particolare l'Arco Calabro, nel Miocene Medio (Serravalliano), così come tutta la Catena Periadriatica, e in particolar modo il settore Maghrebide, sembra essere stato interessato da importanti sistemi trascorrenti (destri) a prevalente direzione E–W, affiancati da altri minori a prevalente direzione NW–SE, i quali avrebbero contribuito a determinare l'attuale destinazione e la forma geometrica oroclinica della Catena, e la genesi dei bacini di retroarco, collegati

con l'allora incipiente stadio di oceanizzazione delle zone di sutura alpine (bacino Tirrenico).

Per Boccaletti et alii, 1990, la Tettonica compressiva ha subito, durante il Mio - Pliocene, delle stasi seguite da riattivazioni dei principali fronti di Thrust, accompagnati da ulteriori e importanti sistemi di movimento orizzontale che hanno scittato a tutt'oggi il settore Maghrebide e con esso quello Calabro, verso S-E, disarticolandolo e provocando quindi delle notevoli discontinuità laterali all'interno dell'edificio stesso.

La configurazione geologica del territorio indagato rispecchia i caratteri salienti della Catena Peloritana. Questa è una complessa catena montuosa con uno stile tettonico a falde di ricoprimento, la cui messa in posto è avvenuta grossomodo in prossimità del limite Eocene - Oligocene e avente un assetto generale grossomodo monoclinale, a prevalente immersione verso i quadranti settentrionali, e a prevalente componente N-NE, con due depressioni in corrispondenza degli allineamenti Castoreale Terme - Francavilla di Sicilia e Patti-Floresta, comprese tra gli alti strutturali di Longi e di Taormina. Pertanto, le unità stratigrafico - strutturali affiorano, dalle più basse nella parte meridionale alle più alte nella parte settentrionale della Catena, al di sotto di un'estesa copertura terrigena Cenozoica, in fasce allungate in direzione WNW-ESE più o meno ampie e discontinue.

-geologia

Grazie ai dati raccolti durante la ricognizione di superficie (rilevamento geologico), alle informazioni acquisite in seguito a precedenti studi condotti dallo scrivente in aree limitrofe ed a quelle desumibili dai tagli naturali e/o scavi antropici esistenti nell'hinterland, sono stati delineati i caratteri geolitologici dell'area in esame ed è stata ricostruita la successione stratigrafico-strutturale

riguardante i terreni nei limiti del territorio studiato. In tal modo i litotipi affioranti in corrispondenza dell'area di interesse progettuale sono stati inquadrati dallo scrivente nel contesto geologico locale e mappati con apposito rilevamento, redatto su base topografica in scala 1:2.000, opportunamente esteso anche alle aree circostanti rispetto a quella prettamente interessata. Nella carta geologica allegata (**allegato 10**) alla presente relazione sono rappresentate le varie unità litologiche individuate in affioramento nell'area esaminata, così disposte (dall'alto verso il basso):

- Deposito di spiaggia (Olocene);
- Depositi alluvionali recenti (Olocene).

4.1 Descrizione litologica

Deposito di spiaggia (Olocene): spiagge e cordoni litorali attuali costituiti da ghiaie a clasti mineralici di quarzo e di litici metamorfici di medio–alto grado, arrotondati, di diametro variabile da 1 a 10 cm. Sabbie quarzose fini e ben cernite costituiscono i cordoni mobili di estensione variabile che, nell'area di retro–spiaggia fanno transizione a depositi palustri, caratterizzati da limi e silt.

Depositi alluvionali recenti (Olocene): trattasi di depositi clastici incoerenti di facies fluviale e/o fluvio–deltizia, talora terrazzati, costituiti generalmente da limi, sabbie e conglomerati in genere, in matrice prevalentemente sabbiosa o limosa, irregolarmente stratificati; i ciottoli sono costituiti da elementi cristallini assortiti ben arrotondati, di varie dimensioni. Dal punto di vista stratigrafico si ha un'alternanza irregolare e senza continuità laterale di strati, banchi, livelli semidiscontinui e lenti di sabbie o limi–sabbiosi con intercalazioni di strati sabbioso–ghiaioso conglomeratici o limosi, disposti spesso con la tipica stratificazione incrociata che caratterizza i depositi clastici fluviali e/o fluvio–deltizi. Quindi tale formazione,

proprio per le modalità deposizionali, è caratterizzata da una notevole variabilità granulometrica (eteropie di facies), sia orizzontale che verticale.

- Per quanto concerne in maniera specifica l'area in esame quivi, sotto a una modesta coltre discontinua di terreno di alterazione e/o riporto (spessore max 1,75 m), si rinvencono principalmente delle sabbie eterodimensionali, a tratti debolmente ghiaiose, irregolarmente alternate a limi sabbiosi, con subordinate intercalazioni di orizzonti, lenti o livelli di limi debolmente sabbiosi; il tutto avviene senza uniformità granulometrica in accordo quindi con la tipologia che contraddistingue le sedimentazioni fluvio-marine in cui si realizzano depositi di sedimenti a stratificazione incrociata. Lo spessore locale dei suesposti depositi alluvionali, che costituiscono i litotipi di gran lunga più diffusi su tutto il territorio esaminato, rimane indefinito anche se verosimilmente dovrebbe andare oltre i 15 m (sulla base anche di precedenti indagini e prospezioni eseguite dallo scrivente in aree limitrofe). A seguire dovrebbe essere rinvenibile il substrato argilloso, nella successiva fase esecutiva che precederà l'edificazione dei manufatti saranno condotte delle specifiche indagini atte ad accertare l'esatta natura del substrato.

5.0 QUADRO IDROGEOLOGICO

La circolazione delle acque sotterranee é legata al grado di permeabilità dei terreni, in altre parole alla capacità che essi hanno di lasciarsi attraversare dai fluidi in condizioni normali di temperatura e pressione. La permeabilità dipende strettamente da caratteristiche peculiari quali porosità e/o fratturazione del litotipo, inoltre, essa può essere fortemente condizionata dalla distribuzione areale dei litotipi, dalla loro disposizione geometrica nonché dalle strutture tettoniche locali.

Si definiscono impermeabili tutte quelle rocce in cui non hanno luogo percettibili movimenti d'acqua, per mancanza di pori e/o fessure sufficientemente grandi, roccia compatta, argille, etc., o per mancanza d'interconnessione tra i vuoti.

Si definiscono invece permeabili rocce porose e/o fratturate i cui i vuoti risultino essere intimamente interconnessi.

Le rocce permeabili possono essere distinte in due grandi categorie:

- Rocce permeabili per fessurazione
- Rocce permeabili per porosità

La permeabilità per porosità è detta anche permeabilità primaria ed è singenetica, ovvero i pori si formano durante la diagenesi dei sedimenti; essa interessa prevalentemente le rocce sedimentarie.

La permeabilità per fessurazione, invece, viene anche definita permeabilità secondaria ed è postdiagenetica; essa interessa sia le rocce sedimentarie sia le rocce di natura diversa.

Per le rocce permeabili per fessurazione bisogna distinguere:

- ✓ Rocce solubili all'acqua
- ✓ Rocce insolubili all'acqua

Nella prima categoria rientrano le rocce evaporitiche le quali, essendo solubili all'acqua, subiscono un ampliamento delle fessure e degli interstizi per dissoluzione che produce un aumento generale della permeabilità (permeabilità crescente). Nella seconda invece rientrano le rocce con scarsa solubilità all'acqua, ove la permeabilità, se non rimane costante, diminuisce nel tempo a causa dei prodotti di alterazione trasportati dall'acqua che tendono a occludere le fessure.

Gli studi morfologici e geologici di superficie, unitamente al censimento di alcune derivazioni idriche dell'hinterland con relativo

rilievo piezometrico, hanno consentito una plausibile definizione delle caratteristiche idrogeologiche locali (**allegato 11**). Sotto il profilo idrogeologico i sedimenti sabbiosi in genere affioranti in corrispondenza dell'area di interesse progettuale, date le loro caratteristiche geologiche e sedimentologiche sono caratterizzati da valori di permeabilità variabili in relazione ai valori di K (coefficiente di permeabilità o di Darcy), i quali sono a loro volta dipendenti dalla granulometria del sedimento, dalla presenza o meno di matrice, dalla classazione granulometrica e dal tipo di impacchettamento dei granuli costituenti lo scheletro solido. I depositi granulari di cui al precedente capitolo, pertanto, possono essere classificati come rocce dotate di permeabilità primaria per porosità fluttuante da media ad alta in conformità con la natura intrinseca di tali materiali i quali, essendo terreni sciolti a granulometria variabile, manifesteranno delle evidenti variazioni della trasmissività idraulica sotterranea sia verticale che orizzontale, con locale riduzione della permeabilità e circolazione discontinua delle acque sotterranee laddove si hanno livelli a granulometria fine. Di fatto laddove la matrice diviene preponderante l'acqua non fluisce agevolmente attraverso gli interstizi, anche se rimane ugualmente immagazzinata; avremo pertanto una compagine porosa, ma poco permeabile, caratterizzata da valori medio-bassi di permeabilità ($K=1 \times 10^{-3} \div 1 \times 10^{-5}$ cm/sec). Per contro, quando la presenza della matrice risulta irrilevante, si registrerà un'elevata permeabilità ($K=1 \times 10^{-1} \div 1 \times 10^{-2}$ cm/sec, fino a $2 \div 5$ cm/sec ed anche oltre) legata principalmente al maggior indice di porosità che ne deriva.

- I rilievi di superficie in corrispondenza dell'area oggetto di variante urbanistica non hanno evidenziato punti di emergenza idrica, né sono state osservate condizioni idrologiche superficiali tali da causare gravi ripercussioni negative sulle opere da realizzare o che

l'esecuzione di queste ultime possa profondamente alterare. Nel sottosuolo del terreno esaminato, grazie alle informazioni raccolte in loco in seguito a rilevazioni piezometriche su alcune derivazioni idriche dell'hinterland (marzo 2021) e sulla scorta di precedenti indagini geognostiche, si segnala la presenza di una falda idrica a partire da una profondità media di circa 5,60 mt. dal p.c. Detta falda freatica, che solitamente staziona a una profondità superiore ai 6,50 mt. dal p.c.² è inoltre suscettibile di fluttuazioni verticali stagionali del livello statico locale nell'ordine di qualche metro³.

6.0 QUADRO LITOTECNICO

Carta delle indagini

Nell'elaborato allegato alla presente (**allegato 12**), così come previsto della Circolare prot. n° 28807 del 20.06.2014 emanata dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della Regione Sicilia, sono riportate le indagini, in particolare prove geomeccaniche (prove penetrometriche dinamiche leggere) eseguite dal sottoscritto, per precedenti lavori, in aree viciniori a quella oggetto dello studio e prove sismiche eseguite direttamente in sito.

I dati raccolti sono stati cartografati seguendo gli standard di rappresentazione e costituiscono la base quali-quantitativa di un'eventuale ulteriore campagna d'indagini integrative finalizzate allo studio geologico esecutivo.

² La particolare abbondanza delle precipitazioni meteoriche registratesi nel periodo "*fine 2020 – inizio 2021*" hanno prodotto un sensibile innalzamento del livello medio della falda freatica.

³ Solitamente è nel periodo Marzo–Aprile che la falda idrica locale raggiunge le maggiori potenzialità con conseguente innalzamento del livello statico alle massime altezze.

Caratteristiche litotecniche locali

Le osservazioni visive dirette circa lo stato di aggregazione e la consistenza dei litotipi lungo i tagli naturali e scavi artificiali esistenti nell'hinterland, unitamente ai dati stratigrafico-meccanici certi derivanti da indagini varie espletate nel corso di precedenti campagne di indagini geognostiche in aree prossime a quella oggetto del presente studio, hanno permesso allo scrivente di appurare la natura litologica del substrato su cui andranno a poggiarsi le fondazioni dei vari manufatti da realizzare nell'ambito della variante al P.R.G, per quindi poter caratterizzare (sulla scorta anche dei dati esistenti in letteratura) il modello geologico generale e delineare un range di parametri geomeccanici nominali da cui prendere spunto per la successiva modellazione geotecnica (a cura del geotecnico), rimandandone l'esatta definizione quantitativa alla successiva fase esecutiva in cui, con l'ausilio di appropriate indagini geognostiche a carattere puntuale, sarà definito il modello geologico di sito per ogni singolo progetto. Ciò ha permesso la realizzazione della carta litotecnica in scala 1:2.000 (**allegato 13**), facendo riferimento alla classificazione di cui all'allegato D della Circolare prot. n° 28807 del 20.06.2014, emanata dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della Regione Sicilia. Da questa si evince che i terreni interessati dal progetto rientrano nella seguente unità:

2 – UNITÀ DI COPERTURA

– depositi alluvionali

G) SEDIMENTI A GRANA MEDIO FINE

Materiali sciolti

G1c – sabbie sciolte inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati.

Come ampiamente riportato nei capitoli precedenti, si rinvencono nell'area di progetto sotto una copertura di suolo di alterazione e/o riporto (spessore max 1,75 m); trattasi nella fattispecie di **sabbie limose, da scarsamente a discretamente addensate, con eventuali**

intercalazioni, irregolari e discontinue, di livelli e/o lenti ghiaiose. La capacità portante, in funzione dei normali problemi applicativi, è da considerarsi buona e può variare in funzione della granulometria, dello spessore e dello stato di addensamento. Superficialmente si rinviene Per questi litotipi, si possono pertanto suggerire i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume γ_n	1,60 ÷ 1,9 t/mc
angolo di attrito interno ϕ°	23° ÷ 32°
coesione C	0,00 ÷ 0,20 kg/cmq
Coeff. di Poisson ν	0,35
Velocità onde longitudinali V_p	200 ÷ 650 (m/sec)
Velocità onde trasversali V_s	120 ÷ 350 (m/sec)

I parametri geotecnici riportati in tabella hanno valore indicativo; essi variano in presenza di litotipi fortemente alterati, o viceversa in presenza di termini compatti. Sarà, quindi necessaria, in fase di attuazione delle prescrizioni esecutive, una caratterizzazione puntuale dei litotipi interessati, attraverso l'esecuzione di sondaggi in sito, con prove ed analisi di laboratorio.

7.0 QUADRO SISMICO

Sismotettonica dell'area, sua zonazione e sisma caratteristico dell'area di progetto

Un passo fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è lo studio delle sue caratteristiche tettoniche che deve portare all'identificazione delle faglie attive capaci di generare terremoti, le cosiddette “*faglie capaci*” o più in generale alle “*strutture sismogenetiche*”.

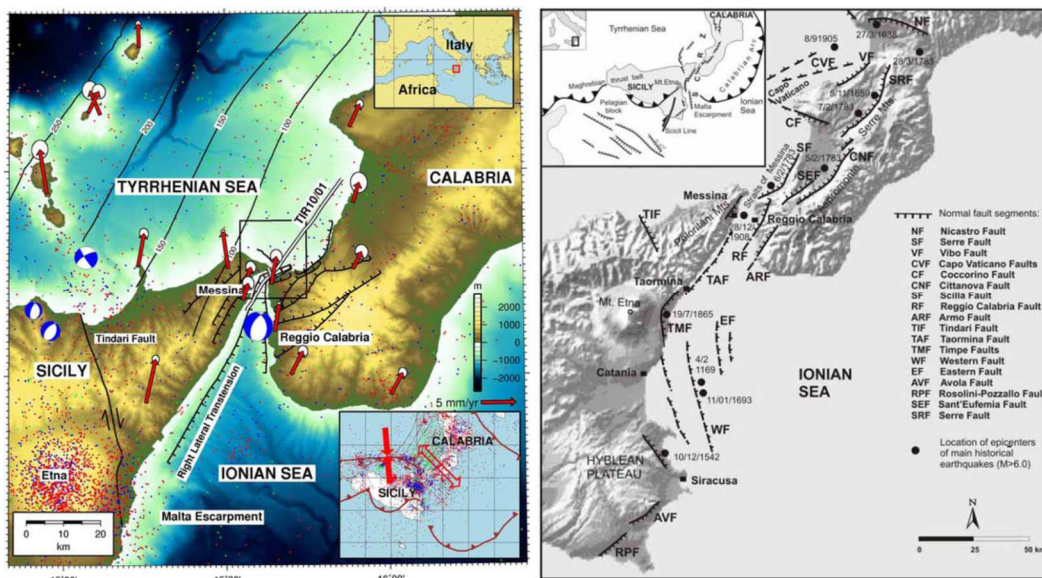
Caratteristiche sismo tettoniche dell'area

Il territorio in cui ricade l'area d'intervento fa parte della vasta regione – tettonica definita nel suo complesso Arco Calabro Peloritano, struttura arcuata che raccorda l'Appennino con le Maghrebidi siciliane, tant'è che ne contiene gli elementi morfologici e strutturali più caratteristici. Recenti studi effettuati nella Sicilia orientale hanno consentito di ricostruire la geometria di dettaglio dei principali sistemi di faglie affioranti in questo settore dell'isola, con la definitiva validazione dello schema tettonico già proposto da Lentini. Questa regione è interessata da una notevole attività sismica legata ai processi geodinamici e un sistema di faglie normali, chiamato "Siculo-Calabrian rift zone".



Esso viene diviso essenzialmente in due grandi **Sistemi**. Il primo, ritenuto principale, con direzione NE-SO, è detto "**Peloritano**", mentre il secondo, ortogonale al primo e con direzione NO-SE, viene denominato "**Appenninico**". Questi due sistemi di faglie ortogonali caratterizzano il territorio in horst e formando, nel complesso una gradinata multipla con zone poco uniformi e irregolari. Il "**Sistema Peloritano**" si estende in modo continuo dalle coste tirreniche calabresi prolungandosi attraverso lo stretto di Messina, lungo la costa ionica della Sicilia, fino a raggiungere gli Iblei orientali (Sicilia sud-orientale). Proprio sotto lo stretto passano diverse faglie di carattere distensivo, ovvero tali strutture tettoniche sono caratterizzate da particolari movimenti orizzontali dovuti ai continui spostamenti

delle placche continentali. Molte di queste faglie sono cieche, ovvero non direttamente visibile in superficie in quanto si trovano a circa 6–8 km. sotto il fondale dello stretto, e tuttora sono poco conosciute.



Nel “*Sistema Appenninico*”, che attraversa la Sicilia nord-orientale dallo Ionio al Tirreno fino all’arcipelago delle Eolie, a loro volta sono stati riconosciuti due sistemi di faglie attive. Questi costituiscono l’espressione più settentrionale della zona di taglio crostale della cosiddetta “Linea Tindari–Giardini”.

Il primo sistema si sviluppa prevalentemente in offshore, attraverso faglie normali ad andamento *en échelon* e componente trascorrente destra orientate NO–SE, lungo l’allineamento che dal Golfo di Patti passando per Vulcano arriva fino alla Secca del Capo, a nord di Salina. Il secondo sistema si sviluppa in terra tra Tindari e Novara di Sicilia (*Tindari fault*) con marcate evidenze morfotettoniche (Lanzafame e Bousquet, 1997). Anche se la slip history non è al momento ricostruibile per il tardo Quaternario, l’attività tettonica è testimoniata da una frequente e diffusa sismicità minore (area Patti–Novara di Sicilia).

Facendo riferimento al progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) realizzato dall’ISPRA (il sito da cui è possibile

scaricare i dati è:
<https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi?@=41.55172525894153,12.57350148381829,0>) nell'area di progetto non sono presenti fenomeni franosi di rilievo. Mentre, facendo riferimento al progetto ITHACA realizzato dall'ISPRA (il sito da cui è possibile scaricare i dati è <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>) nell'area di progetto non sono presenti faglie attive e capaci.

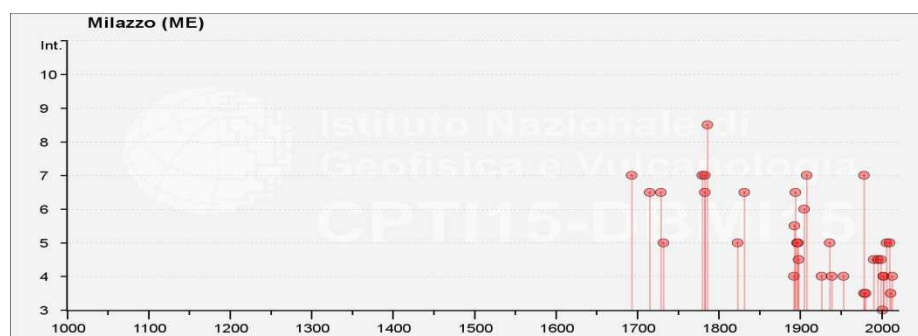
Storia sismica del territorio

Il territorio in esame è stato più volte interessato da fenomeni sismici; la ricostruzione di una storia sismica del Comune di **Milazzo** è stata realizzata a partire dai dati ottenuti dal “*database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 – DBMI15*” (Stucchi et alii; Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38; 2007), disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>.

Seismic history of	Milazzo
PlaceID	IT_67008
Coordinates (lat, lon)	38.224, 15.240
Municipality (ISTAT 2015)	Milazzo
Province	Messina
Region	Sicilia
No. of reported earthquakes	49

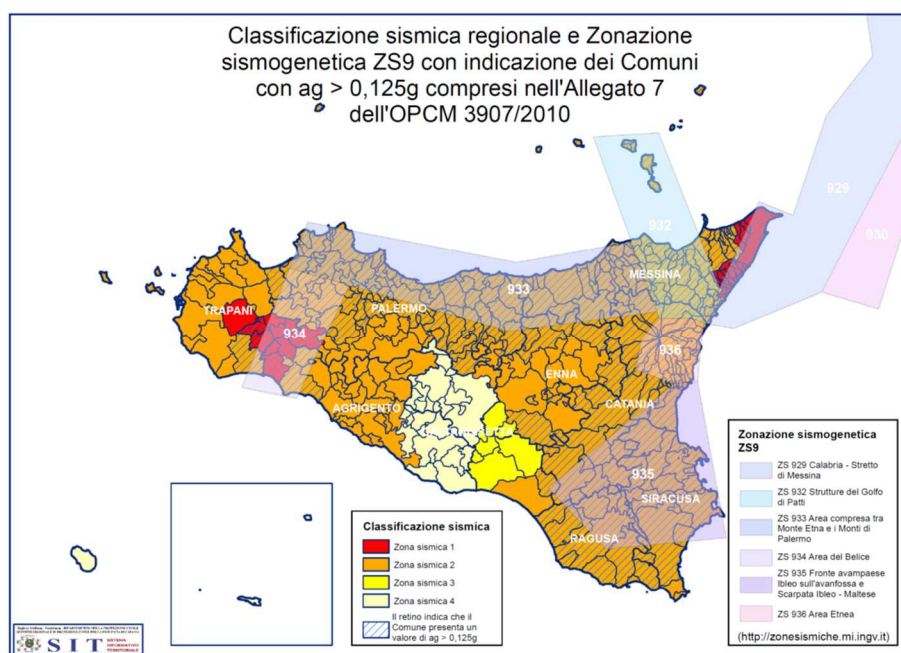
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
HD	1677 03	Milazzo	1		
7	1693 01 11 13 30	Sicilia sud-orientale	179	11	7,32
6-7	1715 03	Sicilia nord-orientale	2	6	4,63
F	1717 04 22	Monti Peloritani	7	6-7	4,91
6-7	1729 06 29 13	Golfo di Patti	4	6-7	4,86
5	1732 03 28	Monti Peloritani	3	5	4,16
F	1739 05 10 15 25	Monti Nebrodi	6	8	5,41
F	1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9	6,68
7	1780 09 14	Golfo di Patti	5	7-8	5,33
7	1783 02 05 12	Calabria meridionale	356	11	7,1

6-7	1783 04 26 02 10	Sicilia nord-orientale	2	5-6	4,4
8-9	1786 03 10 14 10	Golfo di Patti	10	9	6,14
5	1823 03 05 16 37	Sicilia settentrionale	107	8	5,81
6-7	1831 01 28	Milazzo	4	5-6	4,4
4	1892 03 16 12 38	Alicudi	28	7	5,24
5-6	1893 04 22 03 20	Monti Nebrodi	33	6-7	4,83
6-7	1894 11 16 17 52	Calabria meridionale	303	9	6,12
5	1896 04 01 07 18 34.00	Calabria meridionale	11	5	4,27
5	1897 02 11 23 33 07.00	Ionio meridionale	96	5	5,03
4-5	1898 08 12	Sicilia nord-orientale	69	6-7	4,82
NF	1899 06 27 21 15	Salina	5	5	4,16
6	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11	6,95
7	1908 12 28 04 20 27.00	Stretto di Messina	772	11	7,1
4	1926 08 17 01 42	Isole Eolie	35	7-8	5,28
5	1936 10 08 08 04	Patti	16	5-6	4,61
4	1939 01 27 20 10 13.00	Isole Eolie	33	7	5,1
NF	1941 05 22 06 16	Isola di Stromboli	7	7-8	5,33
4	1953 02 25 00 07 46.00	Vibonese	56	5-6	4,88
2-3	1968 01 15 02 01 09.00	Valle del Belice	162	10	6,41
F	1971 02 03 04 53 33.18	Tirreno meridionale	12		4,57
F	1975 01 16 00 09 45.00	Stretto di Messina	346	7-8	5,18
2	1977 06 05 13 59	Monti Nebrodi	108	6-7	4,61
3-4	1978 03 11 19 20 48.41	Aspromonte	126	8	5,22
7	1978 04 15 23 33 48.15	Golfo di Patti	330	8	6,03
3-4	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
4-5	1990 12 13 00 24 25.68	Sicilia sud-orientale	304		5,61
NF	1995 07 23 18 44 22.95	Isole Eolie	58	6	4,63
4-5	1995 08 27 19 42 13.49	Golfo di Patti	55	4-5	4,11
4-5	1999 02 14 11 45 53.99	Golfo di Patti	101	6	4,66
NF	2000 05 29 14 25 32.48	Golfo di Patti	34	4-5	3,66
3	2001 05 17 11 43 57.90	Tirreno meridionale	206	4	4,97
4	2002 04 05 04 52 20.52	Isole Eolie	21	5-6	4,49
4	2002 09 06 01 21 27.25	Tirreno meridionale	132	6	5,92
NF	2004 05 05 13 39 42.93	Isole Eolie	641		5,42
NF	2005 11 21 10 57 40.23	Sicilia centrale	255		4,56
5	2006 02 27 04 34 01.83	Monti Peloritani	55	5	4,38
5	2010 08 16 12 54 47.89	Isole Eolie	29	5-6	4,68
3-4	2011 06 23 22 02 46.71	Monti Nebrodi	54	5-6	4,7
4	2013 08 15 23 06 51.20	Monti Peloritani	49	5-6	4,38



Zonazione sismica nazionale e regionale

Nella figura è riportata la zonizzazione sismica dalla quale si evince che il Comune di Milazzo ricade nella Zona 2, definita come zona a “*sismicità media*” ($S=9$ secondo la precedente Normativa) dove *l’accelerazione massima di riferimento raggiunge valori i seguenti valori $0,15g. < ag \leq 0,25g$.*



Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 – 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000).

La zona che interessa l'area in esame è la 932, che fa parte del complesso "Sicilia" (zone 932 e 936) e risulta da modifiche apportate alla zona 74 nella vecchia classificazione ZS4.

La zona 932 include strutture note essenzialmente da esplorazione geofisica; a essa sono attribuite faglie legate allo "svincolo" che consente l'arretramento dell'arco calabro e le strutture "sintetiche" che segmentano il Golfo di Patti.

Utilizzando questa zonazione è possibile ricavare i dati della **Mw max attesa nell'area di progetto**. In particolare si fa riferimento alla magnitudo massima attesa ($M_w \text{ max}$) in questa zona sismogenetica, ricavabile dai dati e dai valori riportati nella figura sopra e nella tab. 6 colonna 8 del rapporto conclusivo del "*Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica*" (vedi figura e tabella riportate nelle pagine successive). Il sito da cui è possibile scaricare i dati è il seguente:

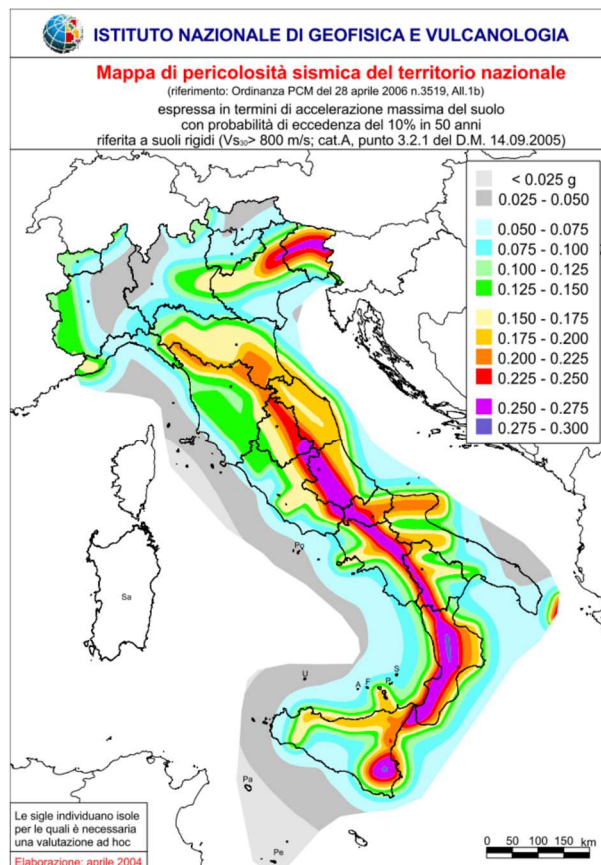
http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/rapporto_conclusivo.pdf

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06
Molise-Gargano	924	6.7	6.73	6.83	6.83		6.83		6.83
Ofanto	925		6.72	6.83	6.83		6.83		6.83
Basento	926	5.8	5.84	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	6.8	6.96	7.06	7.06		7.06		7.06
Ischia-Vesuvio	928		5.78	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+1(a)	5.91
Calabria Tirrenica	929	7.0	7.24	7.29	7.29		7.29		7.29
Calabria Ionica	930	6.0	6.60	6.60	6.60		6.60		6.60
Canale d'Otranto	931		6.90	6.83	6.83		6.83		6.83
Eolie-Patti	932	6.1	6.06	6.14	6.14		6.14		6.14
Sicilia settentrionale	933		5.89	5.91	5.91	+1(c)	6.14	+1(c)	6.14
Belice	934		6.12	6.14	6.14		6.14		6.14
Iblei	935		7.41	7.29	7.29		7.29		7.29
Etna	936		5.30	5.22	5.22	+1(a)	5.45	+1(a)	5.45

Tabella 6. Valori di Mwmax da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di Mwmax dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di Mwmax1 (col.7, 8); azioni e valori finali di Mwmax2 (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

Per la zona sismogenetica 932 “*Eolie-Patti*” la Mw max attesa è pari a 6,14. Basandosi sulla ZS9 il Gruppo di lavoro dell'I.N.G.V. sviluppava la nuova Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004.



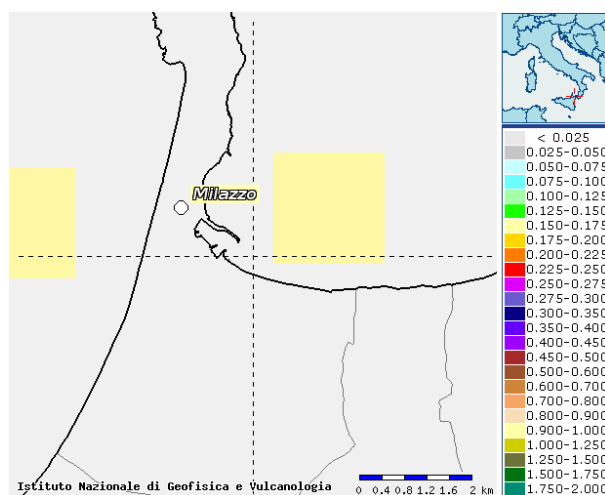
Col D.M. del 14/09/2005 e l'Ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006 furono emanate le Norme Tecniche per le Costruzioni integrate per tutte le azioni, con una migliore valutazione dell'effetto del suolo di fondazione ripresa da EC8 e fu recepita la Mappa di Pericolosità Sismica di base nazionale espressa in accelerazione orizzontale al suolo "ag". Il territorio nazionale viene riclassificato; la suddivisione è sempre basata su 4 zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A (definito al punto 3.2.1 delle NTC).

I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni e assumono i valori riportati nella Tabella seguente.

ZONA	a(g)
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

Con il progetto D.P.C.–I.N.G.V. S1 vengono definiti, su un reticolo geodetico di riferimento che copre tutto il territorio italiano e i cui nodi (in tutto sono 10.751) non distano fra loro più di 10 km, i valori dell'accelerazione relativa al TEMPO DI RITORNO DI 475 ANNI (a_g 475) espressi in decimi di g (accelerazione di gravità).

La figura seguente è un ingrandimento con ubicazione del sito di progetto (ottenuto consultando il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>) dello stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, recepita con l'OPCM 3519/2006, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da a_g (accelerazione orizzontale massima del suolo).



I valori di pericolosità sismica (riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, all. 1b) sono espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; categoria A – punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005)

L'area di progetto come si può vedere si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da

un'accelerazione massima del suolo ($a_g \max$) compresa tra 0,150 g ÷ 0,175 g.

N.T.C. – D.M. 17 Gennaio 2018 e azione sismica

Dal 22 marzo 2018, le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, di cui al **D.M. 17 gennaio 2018** vanno a sostituire la precedente normativa D.M. 14 gennaio 2008 e costituiscono l'unica normativa di riferimento per la progettazione di strutture nuove e per la verifica di quelle esistenti. Esse definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto e definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti. Si tratta quindi di norme prestazionali che specificano i livelli di sicurezza e le prestazioni attese, ma lasciano al progettista la libertà di scegliere sistemi e tecnologie costruttive. Inoltre, sono coerenti con gli indirizzi normativi a livello comunitario e approfondiscono gli aspetti normativi connessi alla presenza delle azioni sismiche e le prescrizioni relative ai rapporti delle opere con il terreno.

In qualsiasi calcolo di staticità di una struttura è necessario conoscere l'entità delle forze esterne alle quali essa sarà sottoposta. Per quanto concerne le forze sismiche, esse sono dovute all'accelerazione a cui sono sottoposti i manufatti durante il terremoto, mentre la resistenza di una qualsivoglia struttura è la somma delle resistenze dei componenti strutturali che, cimentati dalle azioni esterne, rispondono con stati deformativi e tensionali fino al raggiungimento di un ipotetico stato limite per il quale la risposta è insufficiente rispetto all'azione. Ai fini di una corretta progettazione diventa pertanto necessario definire il "terremoto di progetto", in altre parole il peggiore terremoto che possa ufficialmente verificarsi

(benché vi sia sempre il rischio che si verifichi un terremoto reale anche peggiore) in quella regione in un dato intervallo di tempo.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "*pericolosità sismica di base – (PSB)*" del sito di costruzione.

La ***pericolosità sismica*** di un sito, è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato. Essa è definita convenzionalmente facendo riferimento a un suolo di fondazione rigido (di categoria **A**) con superficie topografica orizzontale (di categoria **T1**), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti, tramite i tre parametri appresso riportati che sono definiti in corrispondenza dei punti del reticolo geodetico di riferimento.

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_o è il fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c*} è il periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In funzione delle coordinate geografiche del sito e dei periodi di ritorno dell'azione sismica (dipendenti dall'importanza della costruzione) è così possibile ricavare i parametri di pericolosità di progetto per i vari stati limite di verifica, interpolando i valori tabellati in termini geografici (rispetto cioè ai quattro vertici della maglia che racchiude il sito) e in termini temporali (rispetto cioè ai periodi di ritorno disponibili in tabella). In funzione dei parametri di pericolosità, è possibile ricavare gli altri parametri che definiscono compiutamente gli spettri di risposta sismici per gli stati limite d'interesse.

Concludendo possiamo dire che con l'entrata in vigore delle NTC-18 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "**sito dipendente**" e non più tramite un criterio

“zona dipendente”. Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell’accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative. Infatti, con le antecedenti norme in campo antisismico, applicando il criterio “zona dipendente” avremmo potuto stimare l’accelerazione di base (senza considerare l’incremento dovuto a effetti locali dei terreni) in maniera automatica, poiché essa sarebbe stata direttamente correlata alla “zona sismica” di appartenenza del comune. Quindi la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell’azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto (secondo quanto riportato nell’allegato A del D.M.17 gennaio 2018) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell’azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell’Allegato B del D.M. 17 gennaio 2018).

Determinazione della pericolosità sismica di base

Come detto nel paragrafo precedente la pericolosità sismica di base costituisce l’elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l’opera non soddisfa più le esigenze per la quali è stata progettata.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 “Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”, la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali, definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei parametri **ag**, **Fo** e **T*c**.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell’ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi

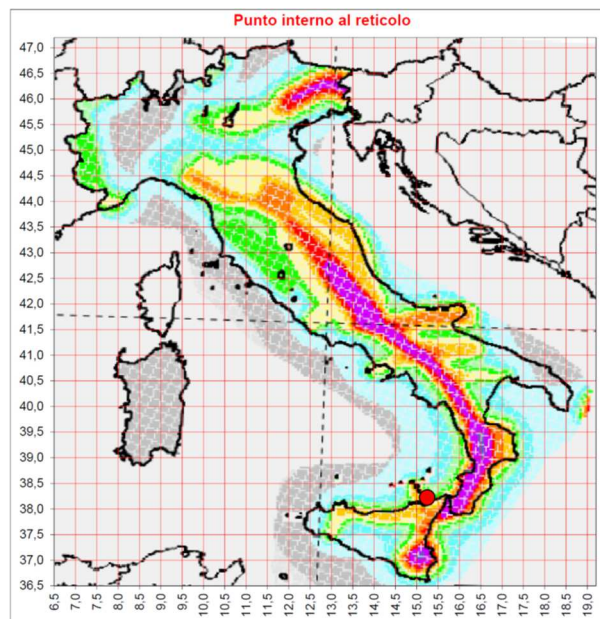
periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

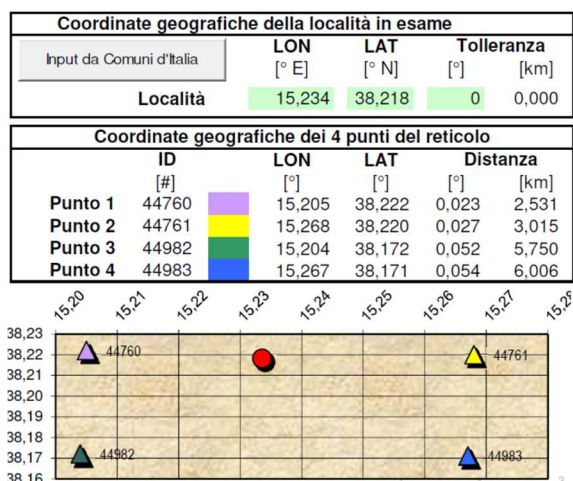
Il primo passo, quindi per la stima della pericolosità sismica consiste nella determinazione dei suddetti parametri. Per tale determinazione è necessario conoscere le coordinate geografiche decimali dell'area di progetto in base al sistema di riferimento WGS84 (World Geodetic System 1984) le quali vanno poi convertite nel sistema ED50 (European Dat 1950) al fine di poter utilizzare i dati messi a disposizione dall'I.N.G.V.

L'area di progetto come ha le seguenti coordinate geografiche (WGS84), riportate in gradi sessa decimali DD (*decimal degree*):

Longitudine 15.233563° --- Latitudine 38.218194°

Nelle figure seguenti sono state rappresentati l'ubicazione del sito di progetto in riferimento all'ubicazione dei 4 nodi della griglia del reticolo geodetico di riferimento comprendenti l'area in esame.





I valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento* sono forniti (come già detto) nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri (a_g , F_o , T_c^*) d'interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione e i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (1)$$

dove:

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame;
 p_i = valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
 d_i = distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Media dei valori dei parametri dei 4 punti per la località in esame	T_R	a_g	F_o	T_c^*
	[anni]	[g/10]	[adm]	[s]
	30	0,542	2,415	0,278
	50	0,684	2,409	0,298
	72	0,797	2,429	0,308
	101	0,921	2,442	0,321
	140	1,049	2,449	0,331
	201	1,207	2,461	0,341
	475	1,640	2,514	0,363
	975	2,071	2,569	0,376
	2475	2,726	2,620	0,410

Nella tabella sono riportati i valori dei parametri spettrali del sito in progetto per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. In particolare a_g è espresso in g (dove g è l'accelerazione di gravità), F_0 è adimensionale, mentre T^*c è espresso in secondi.

La pericolosità sismica di un sito non dipende però solamente dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento ma anche dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera.

Vita nominale (§ 2.4.1 N.T.C.–18)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I dell'allegato A delle NTC–18 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opera

L'opera da realizzare nell'area in oggetto appartiene alla Classe 2 con $V_N \geq 50$ anni.

Classi d'uso (§ 2.4.2 N.T.C.–18)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 classi d'uso così definite:

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso C_u è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab.2.4.II delle NTC-18.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1	1,5	2

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

L'opera da realizzare nell'area in oggetto appartiene alla Classe d'uso II con $C_u = 1$.

Vita di riferimento (§ 2.4.3 N.T.C.-18)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u (Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni).

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Per cui nel nostro caso si ha che $V_R \geq 50$ anni

Le forme spettrali previste dalle N.T.C. sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento.

A tal fine occorre fissare:

–la vita di riferimento V_R della costruzione,

–le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_vR associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare

infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Gli stati limite di esercizio sono:

–Stato Limite di Operatività (**SLO**): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendogli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e interruzioni d'uso significativi;

–Stato Limite di Danno (**SLD**): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

–Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

–Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali e un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli

stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle N.T.C.– 18.

Stati Limite	P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Valutazione della risposta sismica locale

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono a quelle effettive, infatti, fattori geomorfologici e stratigrafici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie. L'effetto di filtraggio conduce ad una ridistribuzione dell'energia con l'amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

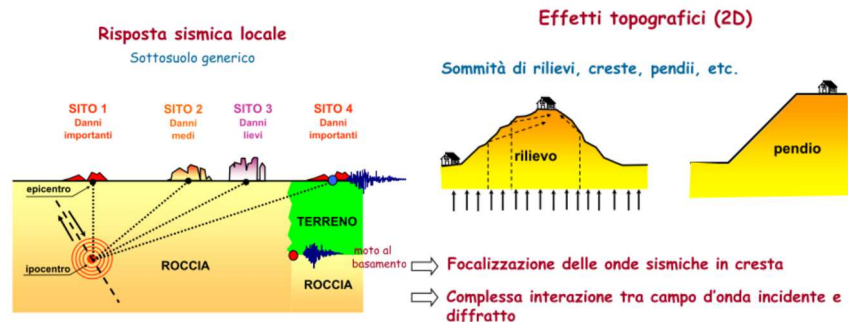
È necessario pertanto tenere conto delle condizioni stratigrafiche, del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quell'attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina, quindi, “*risposta sismica locale*” l'azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. La conoscenza della risposta sismica locale è un dato estremamente importante che consente di quantificare i possibili effetti di amplificazione sismica

Le modifiche sopra citate corrispondono a:

– *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti e alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;

– *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna.



Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi.

Nei metodi semplificati è possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici. In tali metodi si attribuisce il sito a una delle cinque categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle N.T.C.–18 (A, B, C, D, E) e a una delle quattro categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle N.T.C.–18 (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1). In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe D e con E aventi valori intermedi tra C e D.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Il parametro $V_{s,eq}$ (in m/s), rappresenta, dunque, la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ed è calcolato attraverso l'espressione 3.2.1 delle NTC–18:

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in specie, in funzione delle indagini sismiche passive (hvssr) eseguite (riportate in allegato) il suolo di fondazione va attribuito alla categoria “C”.

Per le cinque categorie della Tabella 3.2.II nella Tabella 3.2.V delle N.T.C. del D.M. 17 gennaio 2018 vengono riportati:

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

- C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Per la determinazione dell'azione sismica locale occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità è possibile adottare la classificazione riportata nella **TABELLA 3.2.IV**.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

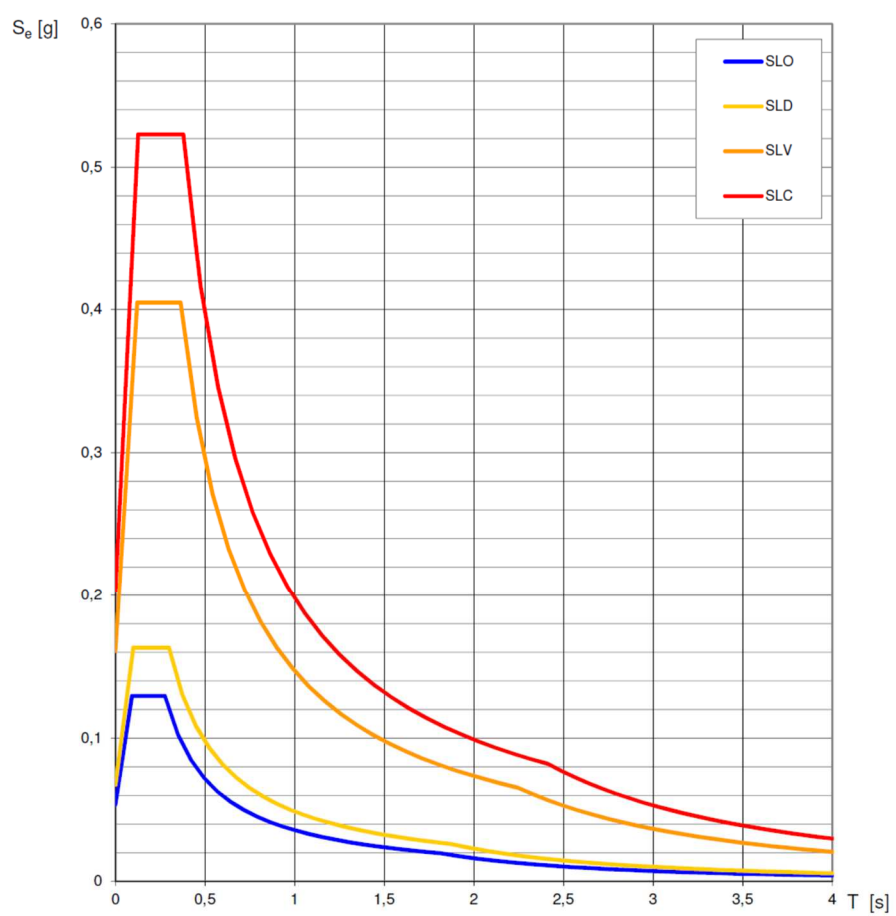
Le indicate categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

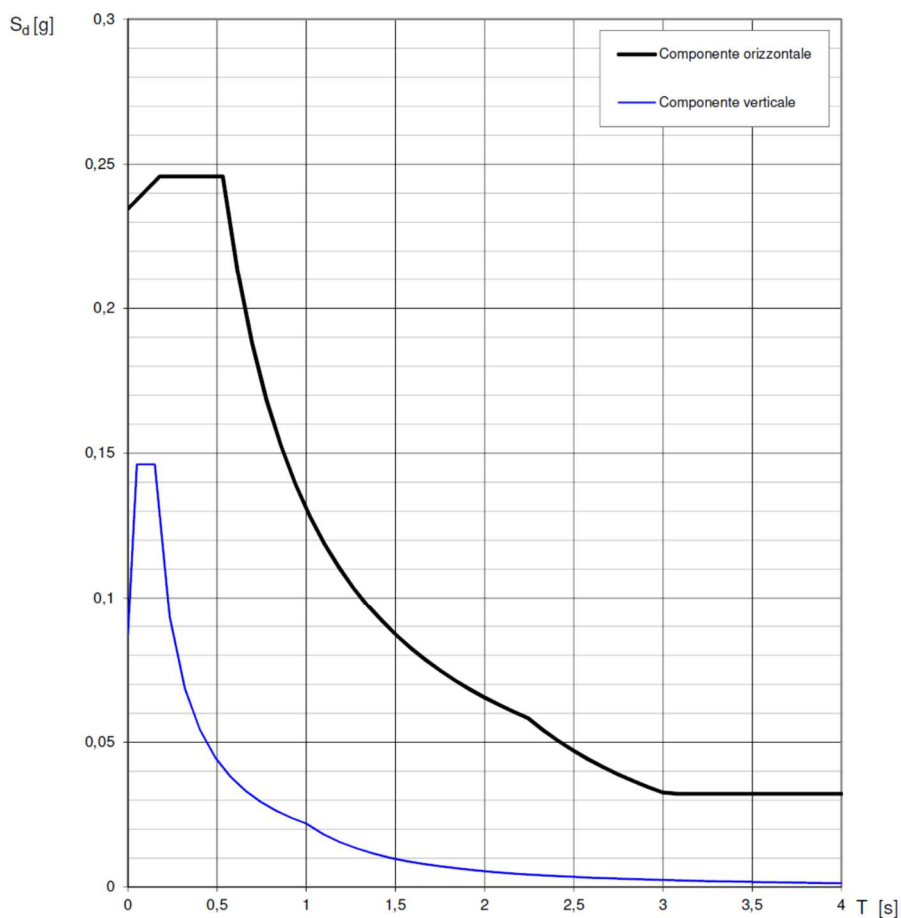
Il sito in questione, tenuto conto della morfologia locale e della pendenza del tratto su cui ricade, può essere collocato nella categoria "T1" (Pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) e il coefficiente **ST** sarà pari a 1.

Spettri di risposta

Dal punto di vista progettuale, lo spettro di risposta elastico in accelerazione riveste particolare importanza nella definizione delle Azioni Sismiche da adottare. Esso viene riferito a uno smorzamento η convenzionale pari al 5% e la sua forma spettrale dipende dai fattori precedentemente citati (accelerazione di base a_g , stratigrafia, topografia, probabilità di superamento nel periodo di riferimento riferiti agli stati limite di progetto).

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite





In figura sono riportati gli Spettri elastici in accelerazione orizzontale relativi agli stati limite per l'area in esame, caratterizzati, come precedentemente osservato, da probabilità di superamento differenti nel periodo di riferimento VR.

Con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della vita, $T_r = 475$ anni, nella figura a destra sono riportati gli spettri di risposta elastici corrispondenti alla componente orizzontale e verticale dell'accelerazione in superficie.

La sismicità di base è evidenziata dalla forma spettrale indicata in arancione, il cui confronto con lo spettro indicato in nero (accelerazione orizzontale) consente di valutare gli effetti di amplificazione sismica determinati dalla stratigrafia e dalla topografia dall'area di studio.

7.1.0 Suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa le terre sabbiose sature, in depositi naturali o in accumuli artificiali, che, nel corso di un evento sismico, subiscono una forte riduzione della resistenza al taglio a seguito della quale il terreno tende a scorrere o fluire, nel caso di un pendio o, ad assestarsi nel caso di una giacitura orizzontale. Durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico (terremoto), si denota un aumento temporaneo della pressione interstiziale u che assume valori prossimi a quelli delle pressioni totali e quindi il terreno viene a trovarsi in condizione di resistenza al taglio praticamente nulla, comportandosi come un liquido pesante. In tali condizioni il comportamento del terreno non coesivo è assimilabile quindi a quello di un fluido viscoso, pertanto, esso non è in grado di sopportare alcuna sollecitazione indotta da carichi esterni e gli eventuali manufatti che gravano sul terreno tendono a sprofondare.

I fattori che controllano il fenomeno della liquefazione sono molteplici:

- granulometria del sedimento;
- dimensioni e stato di addensamento del deposito;
- storia genetica e tensionale del deposito;
- eventuali pressioni di confinamento al contorno e possibilità di drenaggio;
- caratteristiche dell'onda elastica (ampiezza, frequenza, angolo di incidenza);
- durata del fenomeno sismico.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende pertanto dalla composizione granulometrica, dallo stato di addensamento, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato

indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito (aumento dell'addensamento per "vibrazioni indotte"), mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

Infine, i depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

In sintesi, in base ad esperienze prevalentemente empiriche, il fenomeno di liquefazione interessa quei depositi aventi le seguenti caratteristiche:

- granulometria data da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati;
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

- *Metodi di verifica*

La liquefazione può essere prevista ricorrendo a tre categorie di metodi:

- 1) metodi empirici: qualitativi o semiquantitativi
- 2) metodi semplificati(semi-empirici): ingegneristici
- 3) metodi di analisi dinamica: avanzati

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

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

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.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*

- 2) Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);
- 3) Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);
- 4) Metodo di Finn (1985);
- 5) Metodo di Cortè (1985);
- 6) Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);
- 7) Metodo di Andrus e Stokoe (1998);
- 8) Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);
- 9) Metodo basato sull'OPCM N. 3472 (2003).

Nel nostro specifico è stata svolta una verifica mediante il metodo semplificato di *ANDRUS e STOKOE (1997)* basato su dati provenienti da prove sismiche (**V_s**). La velocità delle onde di taglio viene corretta con la formula (Robertson et al., 1992):

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$$

La resistenza alla liquefazione è valutata mediante la formula di Andrus e Stokoe (1998):

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{CS} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{CS}} \right]$$

dove la presenza di fini FC (%) è tenuta in conto mediante la seguente procedura:

(V_{S1}) CS = 220 per FC ≤ 5%

220 < (V_{S1}) CS ≤ 200 per 5% < FC ≤ 35%

(V_{S1}) CS = 200 per FC > 35%

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** viene valutato come raccomandato dal NCEER (tabella seguente), il fattore di sicurezza

alla liquefazione con la (1.0), mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono valutati con il metodo di Iwasaki et alii.

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)	Ambraseys N. N. (1988)	NCEER (Seed R. B. et al.) (1997; 2003)
5.5	1.43	2.86	2,21
6.0	1.32	2.20	1,77
6.5	1.19	1.69	1,44
7.0	1.08	1.30	1,19
7.5	1.00	1.00	1,00
8.0	0.94	0.67	0,84
8.5	0.89	0.44	0,73

– Magnitudo Scaling Factor

Si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 S (M ≤ 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

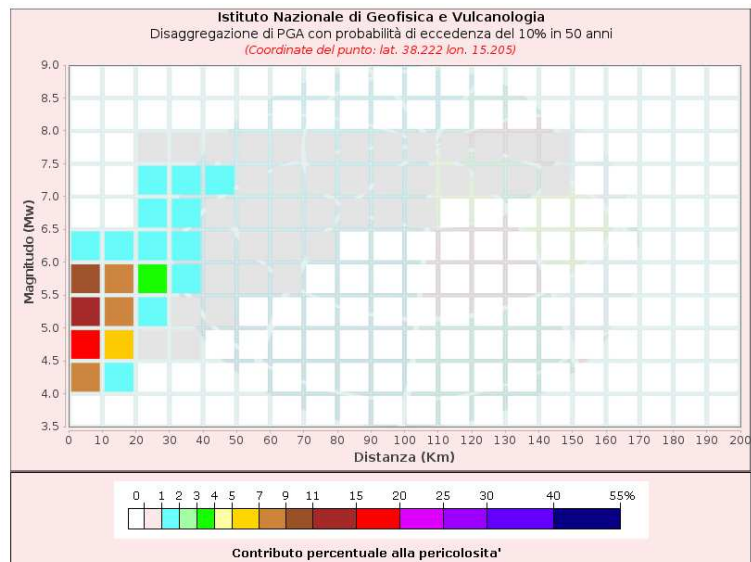
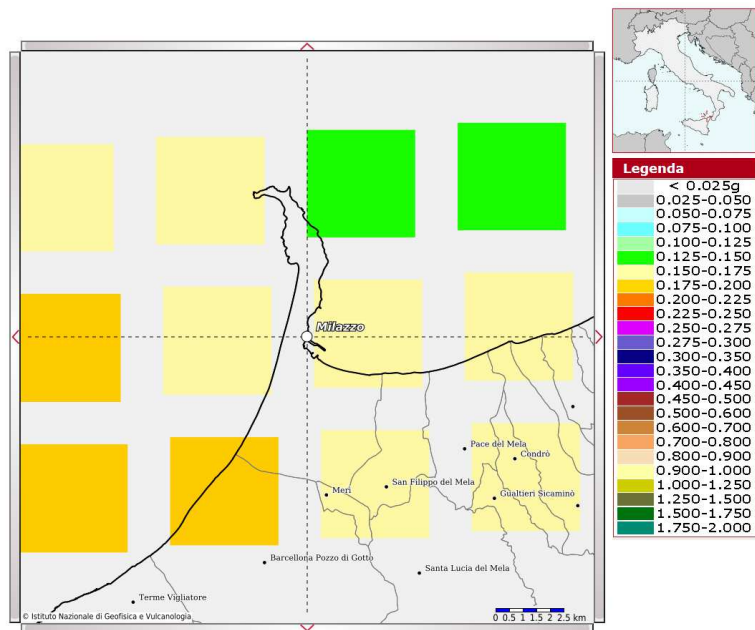
Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

- Calcolo della suscettibilità a liquefazione

Nel nostro specifico, sulla base delle indagini geofisiche attive e passive eseguite (vedasi report allegati), sulle conoscenze fornite da precedenti lavori svolti in aree limitrofe e dai censimenti sulle derivazioni idriche presenti nell'hinterland è stato ricostruito un modello ponendo la falda acquifera ad una profondità di – 5,60 mt. dal p.c.

Successivamente è stata svolta una verifica mediante il metodo semplificato di ANDRUS e STOKOE (1997) della quale se ne riportano in allegato i tabulati.

In funzione della verifica e in virtù anche della stratigrafia non omogenea e della disuniformità litologico–granulometrica, legata alla genesi alluvionale dei terreni considerati (con discontinua e irregolare presenza di livelli, lenti o strati ben addensati nella sequenza litostratigrafica locale), per i depositi alluvionali in oggetto risulta il rischio di liquefazione molto basso, la probabilità variabile da 0,00 a 0,12 e la suscettibilità incerta.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 38.222 lon. 15.205)										
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)									
	3.5- 4.0	4.0- 4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5
0-10	0.0000	8.8400	19.9000	14.8000	9.2200	1.2800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.4900	5.8900	7.7700	7.7900	1.4100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.3220	1.8200	3.4300	1.9200	1.5900	1.5200	0.2700	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0013	0.1960	1.1100	1.1600	1.4700	1.7200	0.3400	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.1860	0.4250	0.7760	1.1100	0.2440	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	0.0975	0.3090	0.5350	0.1290	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0161	0.1240	0.2690	0.0707	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0435	0.1310	0.0379	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0155	0.0847	0.0270	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0508	0.0184	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0284	0.0125	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0085	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0067	0.0060	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0037	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0014	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.4	13.8	1.06

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

INSERIMENTO DATI:

H_{falsa} (m)

5,6

a_{max}/g

0,25

M

5,4

R (m)

8,68

DIAMETRO PERFORAZIONE (ø) (mm)

65

Commitente:

IMPELLIZZERI ED. EREDI

Riferimento:

CAMPAGNA INDAGINI GEODINOSTICHE

Località:

MILAZZO, VIA SPIAGGIA DI PONENTE

Prov.:

ME

Oggetto:

VIA RANTE URBANISTICA AL P.R.G.

EPC LIBRI

METODI TABELLARI

Shen & Ishibashi (1975)

Yous & Perkins (1978)

Imazaki et al., (1982)

Yous et al. (1979)

METODI SEMPLIFICATI

DA PROVE SPT

ATTIVA SCELTA

DA PROVE CPT

ATTIVA SCELTA

DA PROVE SISMICHE

ATTIVA SCELTA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

METODI SEMPLIFICATI

DA PROVE SISMICHE

DATI INSERITI

H_{falsa}

5,6

a_{max}/g

0,25

M

5,4

DIAMETRO PERFORAZIONE (ø)

65

R

8,68

Commitente:

IMPELLIZZERI ED. EREDI

Riferimento:

CAMPAGNA INDAGINI GEODINOSTICHE

Località:

MILAZZO, VIA SPIAGGIA D

Prov.:

ME

Oggetto:

VIA RANTE URBANISTICA AL P.R.G.

EPC LIBRI

STRATIGRAFIA TERRENO:

STRATIGRAFIA A 3 STRATI

S_T

23

Spessore primo strato (m)

S_1

1,75

Spessore secondo strato (m)

S_2

18,49

Spessore terzo strato (m)

S_3

2,76

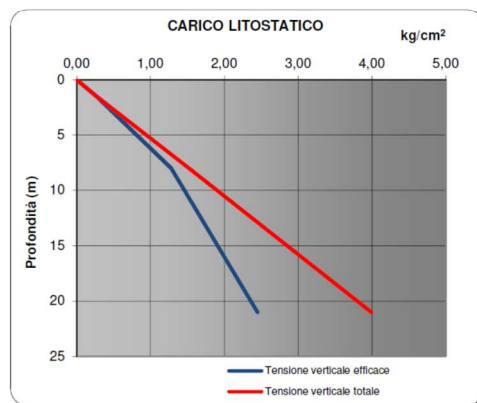
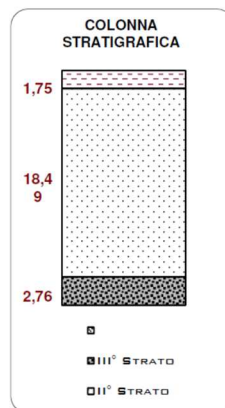
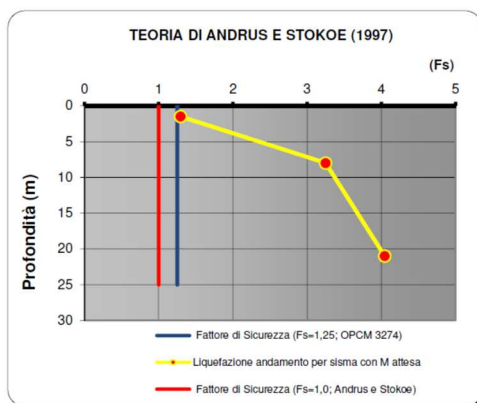
ATTIVA SCELTA

N.B.: Inserire i valori corrispondenti nelle celle colorate in giallo chiaro.

HOME

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE			
DATI INSERITI			TEORIE DI CALCOLO
H_{max} = 5,6	a_{max}/g = 0,25	R = 8,68 M = 5,4	<div style="background-color: yellow; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ANDRUS E STOKOE (1997)</div> <div style="background-color: yellow; border: 1px solid black; height: 30px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: yellow; border: 1px solid black; height: 30px;"></div>
STRATIGRAFIA TERRENO		S_{tot} = 3,00	
PRIMO STRATO H_1 = 1,5 γ = 1,8 V_s = 103 V_{SIC} = 210 S_1 = 1,75 FC = 10 V_{S1} = 142,89	H_1 = 1,5 τ_{100} = 1,00 σ_{v0} = 0,27 σ_{v0} = 0,27 P_{neutra} = 0,00 f_d = 0,99	SECONDO STRATO H_2 = 8 γ = 1,9 V_s = 287 V_{SIC} = 210 S_2 = 18,49 FC = 25 V_{S2} = 269,82	H_2 = 8 τ_{100} = 1,00 σ_{v0} = 1,52 σ_{v0} = 1,26 P_{neutra} = 0,24 f_d = 0,94
TERZO STRATO H_3 = 21 γ = 1,9 V_s = 354 V_{SIC} = 210 S_3 = 2,76 FC = 15 V_{S3} = 282,95	H_3 = 21 τ_{100} = 1,00 σ_{v0} = 3,99 σ_{v0} = 2,45 P_{neutra} = 1,54 f_d = 0,62		
Committente: IMPELLIZERI ED EREDI Riferimento: CAMPAGNA INDAGINI GEODNOSTICHE Località: MILAZZO, VIA SPIAGGIA DI PONENTE Prov.: ME Oggetto: VIARANTE URBANISTICA AL P.R.G.		<div style="background-color: pink; border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">MENU PRINCIPALE</div> <div style="background-color: pink; border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;">ANALISI METODO</div>	

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (DA PROVE SISMICHE) METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)																																							
	FORMULE:	RISULTATI:																																					
$V_{S1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$ $CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{SIC} - V_{S1})} - \frac{0,9}{V_{SIC}}$ $CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot F_d \cdot \frac{1}{MSF}$	$V_{S1} = 142,888$ $CRR = 0,070$ $CSR = 0,054$ $f_d = 0,99$ $1 < F_v = CRR/CSR$ $M = 5,4$ $F_v = 1,295$ $1,25 < F_v = CRR/CSR$ $M = 5,4$ $F_v (O.P.C.M.) = 1,295$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>1° STRATO</th> <th>2° STRATO</th> <th>3° STRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spessore = 1,75</td> <td>18,49</td> <td>2,76</td> </tr> <tr> <td>V_{S1} = 142,888</td> <td>269,823</td> <td>282,951</td> </tr> <tr> <td>CRR = 0,070</td> <td>0,199</td> <td>0,224</td> </tr> <tr> <td>CSR = 0,054</td> <td>0,061</td> <td>0,055</td> </tr> <tr> <td>f_d = 0,99</td> <td>0,94</td> <td>0,62</td> </tr> <tr> <td>F_v = 1,295</td> <td>3,249</td> <td>4,045</td> </tr> <tr> <td>Verificato</td> <td>Verificato</td> <td>Verificato</td> </tr> </tbody> </table>	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Spessore = 1,75	18,49	2,76	V_{S1} = 142,888	269,823	282,951	CRR = 0,070	0,199	0,224	CSR = 0,054	0,061	0,055	f_d = 0,99	0,94	0,62	F_v = 1,295	3,249	4,045	Verificato	Verificato	Verificato	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)</th> <th colspan="2">Molto Basso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P_L (%)]</td> <td>0,12</td> <td>0,01</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)</td> <td>Liquef. incerta</td> <td>Liquef. incerta</td> <td>Liquef. incerta</td> </tr> </tbody> </table>	RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)		Molto Basso		PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P _L (%)]	0,12	0,01	0,00	SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta
1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO																																					
Spessore = 1,75	18,49	2,76																																					
V_{S1} = 142,888	269,823	282,951																																					
CRR = 0,070	0,199	0,224																																					
CSR = 0,054	0,061	0,055																																					
f_d = 0,99	0,94	0,62																																					
F_v = 1,295	3,249	4,045																																					
Verificato	Verificato	Verificato																																					
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)		Molto Basso																																					
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P _L (%)]	0,12	0,01	0,00																																				
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta																																				
Committente: IMPELLIZERI ED EREDI Riferimento: CAMPAGNA INDAGINI GEODNOSTICHE Località: MILAZZO, VIA SPIAGGIA DI PONE Prov.: ME Oggetto: VIARANTE URBANISTICA AL P.R.G.		<div style="background-color: pink; border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block; font-weight: bold;">STRATIGRAFIA 3</div>																																					



Committente: **IMPELLIZERI ED EREDI**
 Riferimento: **CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE**
 Località: **MILAZZO, VIA SPIAGGIA DI PONENTE**
 Oggetto: **VIARANTE URBANISTICA AL P.R.G.**

Prov.: **ME**



ANALISI

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	Fs (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs)			(M)		
Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	> 1,25	5,4	0,000	Molto Basso

STRATIGRAFIA 3

7.0 DESCRIZIONE DELLE CARTE TEMATICHE

Le carte tematiche, redatte ai sensi della Circolare prot. n° 28807 del 20.06.2014 emanata dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente Regione Sicilia, costituiscono delle tavole che sintetizzano quanto scaturito da eventuali indagini (svolte anche in occasione di precedenti studi) ed ulteriori osservazioni eseguite. Attraverso la rappresentazione grafica, che risulta di immediata ed intuitiva comprensione, esse tendono a raffigurare ed evidenziare le eventuali problematiche esistenti nelle varie zone o sub-zone di un determinato territorio. Pertanto tali carte forniscono al progettista un valido supporto su cui operare le proprie scelte di pianificazione e programmazione degli indirizzi progettuali.

7.0.1 Carta geologica

È la carta (in scala 1:2.000) con cui si rappresentano le caratteristiche geologiche presenti nell'area in esame (**allegato 10**), individuando i litotipi che si ritengono significativi (per caratteristiche litologiche e sviluppo areale) e riportandone il loro andamento geometrico, la stratimetria e gli elementi strutturali. Così come si evince da detta carta, l'area in esame ricade nell'ambito di un ampio affioramento di depositi limoso-sabbioso-ghiaiosi in genere afferenti a *depositi alluvionali recenti*.

7.0.2 Carta geomorfologica

Con questo elaborato cartografico (**allegato 9**), redatto in scala 1:2.000, vengono rappresentati eventuali processi morfologici attivi, connessi con l'azione della gravità, delle acque superficiali, l'azione dovuta all'attività antropica, oltre a quelle condizionate dalla struttura geologica locale. Nel nostro caso specifico, lungo l'area di interesse progettuale, ad oggi, non sono stati ravvisati gravi indizi di instabilità, né sono ipotizzabili altre fenomenologie naturali in grado di influire

in maniera significativa sull'attuale equilibrio geomorfologico e sulla stabilità generale del sito. Non sono stati riscontrati dissesti idrogeologici in atto, né gravano vincoli idrogeologici imposti dal P.A.I. (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana), pertanto si può quindi asserire che essa risulta libera da vincoli e possiede un assetto stabile e dunque delle caratteristiche morfologiche complessive compatibili con la realizzazione delle opere previste in progetto.

7.0.3 Carta idrogeologica

Questa carta (**allegato 11**) classifica i litotipi in base alla permeabilità ed evidenzia le principali linee di impluvio e deflusso superficiale; offre anche indicazioni sulla presenza di eventuali falde freatiche, fornendo delle misure sulla profondità del livello piezometrico locale e sulla probabile direzione degli eventuali flussi sotterranei. Nel sottosuolo del lotto di terreno esaminato, tenuto anche conto della disposizione stratigrafica dei terreni in esame, delle caratteristiche di permeabilità, nonché dell'ubicazione morfologica del sito nel perimetro urbano, **é presente una falda idrica superficiali ad una profondità media di 5,6 m dal p.c.**

7.0.4 Carta litotecnica

In questa carta tematica (**allegato 13**) si offre una descrizione fisico-meccanica per i terreni affioranti nell'area di interesse progettuale appartengono a

2 – UNITÀ DI COPERTURA – depositi alluvionali

G) SEDIMENTI A GRANA MEDIO FINE

Materiali sciolti

G1c – sabbie sciolte inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati

7.0.5 Carta della pericolosità geologica

È una carta di sintesi (**allegato 14**) che propone di evidenziare, attraverso la rappresentazione grafica, il grado di pericolosità derivante da implicazioni di tipo geologico per zone prese in considerazione in un determinato territorio (frane, erosioni, esondazioni, vulnerabilità dell'acquifero, subsidenza, etc.). La sua redazione scaturisce dopo un'attenta analisi delle carte esistenti (geomorfologica, geologica, idrogeologica, ecc.) ed interpretazione delle indagini precedenti. Grazie a questa carta si possono operare scelte di pianificazione territoriale tramite l'eventuale differenziazione delle aree a diverso grado di pericolosità geologica e considerando anche le esigenze che emergono dalle altre discipline ambientali e urbanistiche che intervengono nella determinazione delle scelte di pianificazione.

L'area oggetto di variante rientra in aree a PERICOLOSITA' DA BASSA A NULLA, ossia, aree geomorfologicamente stabili senza particolari fattori incidenti sulla edificabilità e per le quali comunque dovrà essere direttamente osservato quanto prescritto dalla normativa tecnica vigente con pericolosità da bassa a nulla.

7.0.6 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Per microzonazione sismica (MS) si intende la valutazione e l'individuazione delle aree di comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale e dei fenomeni che avvengono durante la scossa. A seguito della MS vengono individuate e caratterizzate le *zone stabili* (aree a minore pericolosità locale), le *zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico* e le *zone suscettibili di instabilità*. Questa carta di sintesi è il risultato della lettura ed interpretazione delle precedenti carte e di eventuali indagini specifiche. Essa caratterizza ed evidenzia le aree con eventuali problematiche di tipo sismico che possono essere suscettibili a fenomeni di liquefazione, instabilità, cedimenti e/o di amplificazione

del moto sismico. Essa mette in risalto, dunque, sia le problematiche geologico-sismiche che gli effetti di sito attendibili in quell'area per via delle particolari situazioni ivi esistenti (fenomeni franosi in atto e quiescenti, aree potenzialmente franose, aree di fondovalle, cigli di scarpata, aree di cresta, aree interessate da possibili fenomeni di liquefazione, etc.). La finalità di questo elaborato è quella di fornire al progettista una idea del tipo di problemi particolari che si possono manifestare in occasione di un terremoto ed una prima indicazione su quali approfondimenti possono essere opportuni relativamente alle zone interessate.

L'area oggetto di Variante urbanistica al P.R.G. è stata inquadrata come ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA' (allegato 15) e classificata come **“area con terreni sabbiosi, sabbiosi limosi o sabbioso-ghiaiosi frammisti a ciottoli e con superficie della falda freatica ≤ 15 m e pertanto soggette al fenomeno della liquefazione”**.

Tuttavia come riportato nei capitoli precedenti, sono state eseguite prove in sito e mediante metodi semplificati è stata valutata la suscettibilità alla liquefazione dalla quale si evince che il rischio è molto basso.

Di conseguenza, l'area esaminata è stata inquadrata come ZONE SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI, e, pertanto, classificata come **“area con terreni sabbiosi, sabbiosi limosi o sabbioso-ghiaiosi frammisti a ciottoli e con superficie della falda freatica ≤ 15 m. Area per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (prove sismiche) utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di identificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione”**.

7.0.7 Carta della suscettività all'edificazione

Quest'ultima carta di sintesi (**allegato 16**), sulla scorta delle informazioni acquisite attraverso gli elaborati precedenti, riporta tutte le indicazioni necessarie affinché le eventuali pericolosità e criticità geologiche individuate siano affrontate con le corrette soluzioni progettuali. Pertanto essa evidenzia, nell'ambito dell'area di interesse progettuale, zone idonee all'edificazione e, ove presenti, sub-aree non idonee poiché soggette a rischi naturali inaccettabili, nonché eventuali aree idonee "a condizione" di preventivi interventi di mitigazione del rischio (consolidamenti, regimazioni, livellamenti, bonifiche, etc.).

L'area oggetto di variante rientra nella categoria **AREE A SUSCETTIVITA' ALTA**: aree geomorfologicamente stabili caratterizzati dalla presenza di terreni alluvionali con superficie della falda freatica indicativamente ≤ 15 mt. dal p.c. Aree senza particolari limitazioni d'uso edificatorio, per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (misure sismiche) utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di classificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione in condizioni sismiche.

8.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo scrivente è stato incaricato dalla Committenza di eseguire uno studio geologico per appurare la suscettività e/o compatibilità di un'area, ubicata nel Comune di Milazzo (ME), interessata dal progetto di cui in premessa. Sulla base di quanto scaturito dallo studio geologico eseguito (consultazione di documentazione bibliografica, sopralluoghi, censimento di punti d'acqua, indagini e rilievi di superficie), le cui risultanze sono state ampiamente esposte nella presente relazione, si può concludere che il sito di che trattasi è compatibile, sotto gli aspetti morfologici, geologici, idrogeologici e

sismici, con le ipotesi progettuali di indirizzo. In sintesi si possono pertanto trarre le seguenti considerazioni conclusive.

- L'area oggetto del presente studio é ubicata nel centro abitato di Milazzo, adiacente alla via Spiaggia di Ponente.

- Dal punto di vista morfologico l'area oggetto di variante urbanistica al P.R.G. è ubicata nella piana alluvionale, a 130 mt. dalla linea di costa, ad una quota compresa fra le isoipse 5 e 7 m s.l.m., in un contesto generale antropizzato. Lungo tutta l'area di interesse progettuale, visto l'andamento pianeggiante dei terreni affioranti, considerata l'assenza di particolari fenomeni erosivi e/o di dissesto in atto, osservato che non gravano vincoli idrogeologici imposti dal P.A.I. (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana), si può affermare che questa presenta buone caratteristiche di stabilità e risulta compatibile a una variante allo strumento urbanistico.

- Litologicamente affiorano (al di sotto di una modesta coltre discontinua di terreno di riporto–alterazione) sabbie–limose da poco a discretamente addensate a tratti ghiaiose.

- Dal punto di vista dell'idrografia localmente non si segnalano incisioni idrografiche di particolare rilievo, mentre le acque meteoriche o di ruscellamento in genere scorrono liberamente sul terreno, ma senza produrre effetti considerevoli, in virtù dei moderati valori clivometrici esistenti e grazie anche alla buona capacità di drenaggio dei litotipi affioranti.

- Sotto il profilo idrogeologico é stata riscontrata una falda idrica ad una profondità di 5,6 mt dal p.c.

- Ai fini della pericolosità sismica, l'area è stata inquadrata come ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONI LOCALI e, pertanto, classificata come “area con terreni sabbiosi, sabbiosi limosi o sabbioso-ghiaiosi frammisti a ciottoli e con superficie della falda freatica ≤ 15 m. Area per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (prove sismiche) utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di identificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione”.

- L'area oggetto di variante urbanistica al p.r.g. può essere considerata come area geomorfologicamente stabile caratterizzata dalla presenza di terreni alluvionali con superficie della falda freatica indicativamente ≤ 15 mt. dal p.c. SUSCETTIVITA' ALTA. Area senza particolari limitazioni d'uso edificatorio, per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (misure sismiche) utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di classificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione in condizioni sismiche.

- Al fine di verificare quanto definito in questa sede, comunque, gli studi fin qui svolti, pur fornendo informazioni geologiche dettagliate sulle caratteristiche dell'area oggetto di lottizzazione, necessitano di ulteriori approfondimenti a carattere puntuale, atti a produrre informazioni più dettagliate sull'esatto spessore delle coltri detritiche, sullo stato di integrità dei litotipi descritti in precedenza, sulle condizioni idrogeologiche locali e sulle caratteristiche geomeccaniche e sismiche dei terreni affioranti. Pertanto le possibili problematiche cui si potrebbe andare incontro durante la realizzazione delle singole opere progettuali verranno esaurientemente

affrontate ed approfondite nella successiva fase esecutiva immediatamente precedente l'edificazione delle varie opere progettate, in cui, con l'ausilio di opportune indagini geognostiche in situ, verrà fatta una descrizione più dettagliata e puntuale di ogni sito ed ove saranno altresì proposti gli opportuni interventi e/o accorgimenti precauzionali di ordine tecnico-progettuale, al fine di operare le scelte più appropriate in merito al calcolo, dimensionamento, verifiche varie e scelta delle tipologie di fondazione in funzione dell'entità delle strutture e dei carichi indotti.

marzo 2021

Il Geologo Fortunato Perrone



COROGRAFIA

SCALA 1: 25.000



MILAZZO F° 253 I S. O.



AREA IN ESAME

STRALCIO DI MAPPA CATASTALE (SCALA 1:2.000)

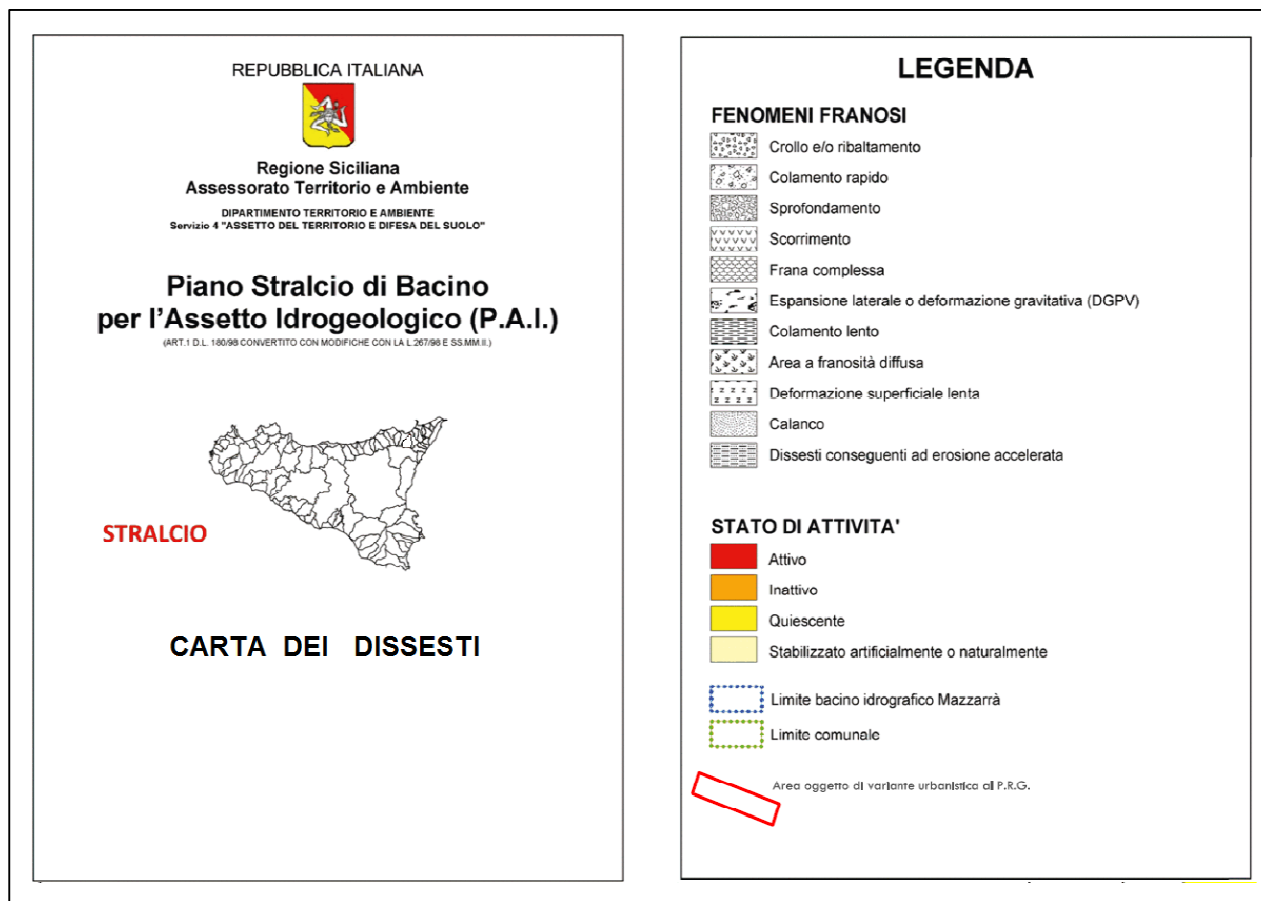
[Comune di Milazzo - F° 6, part.ile 1121-1122-1123-1124-1125-23]



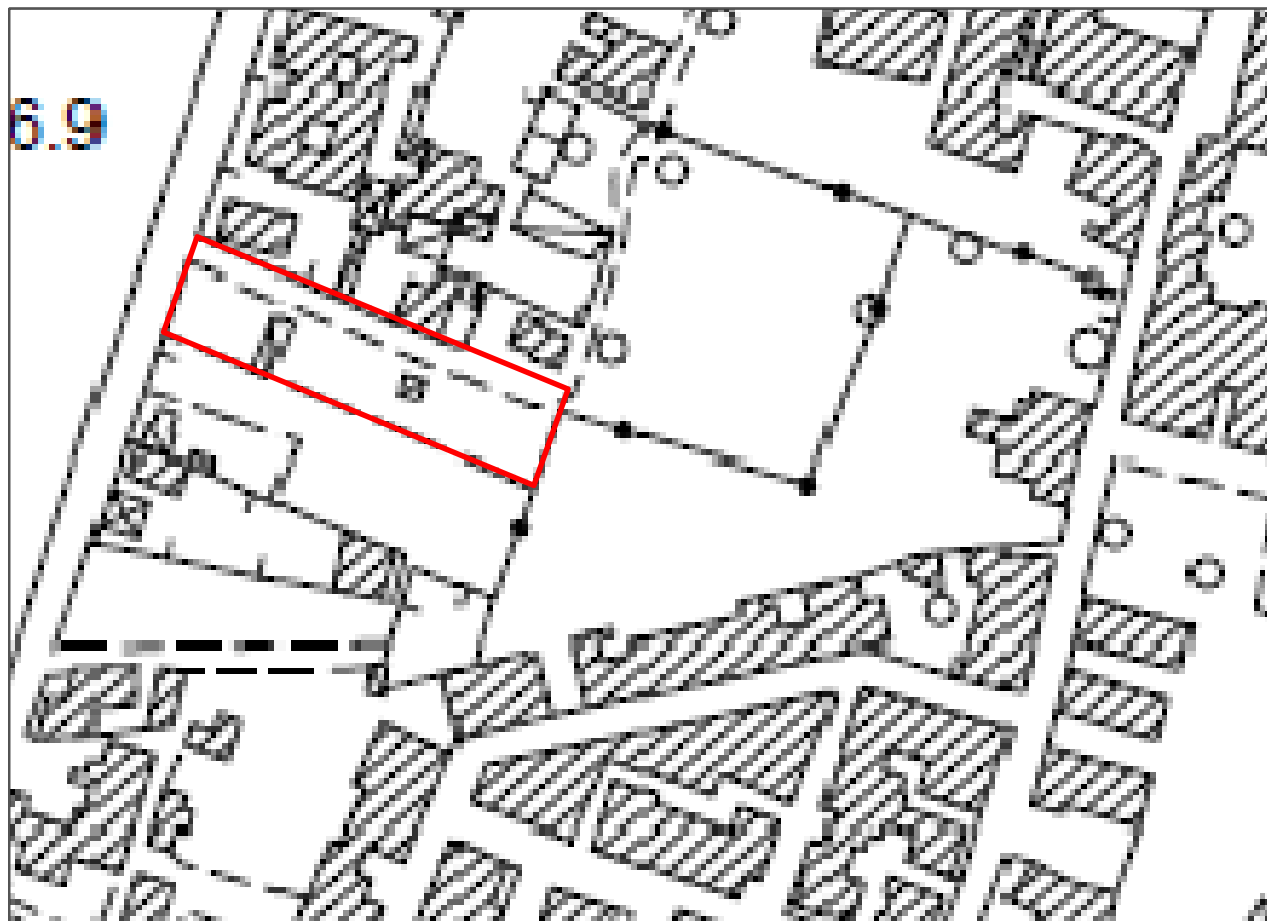
- simbologia -

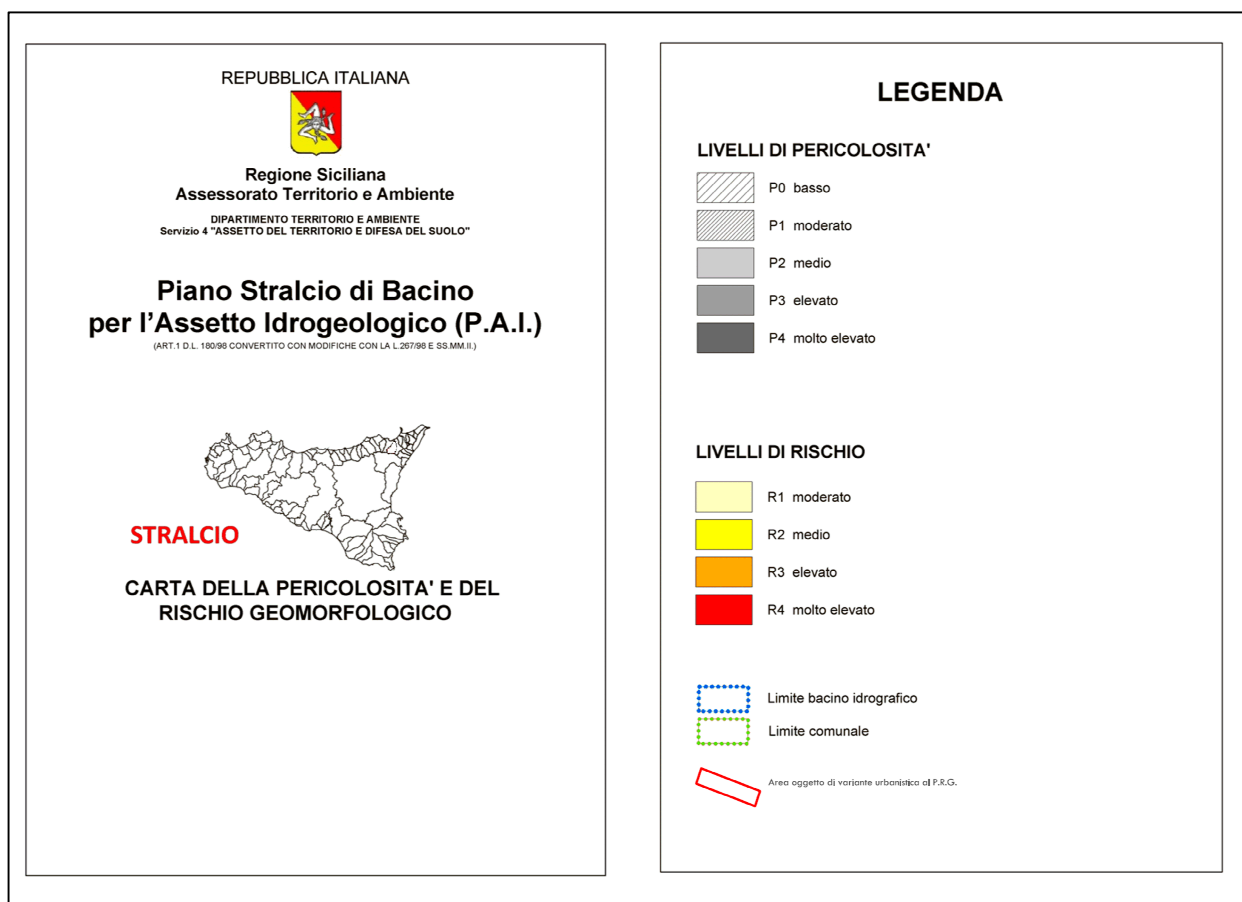


Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



SCALA 1:2.000





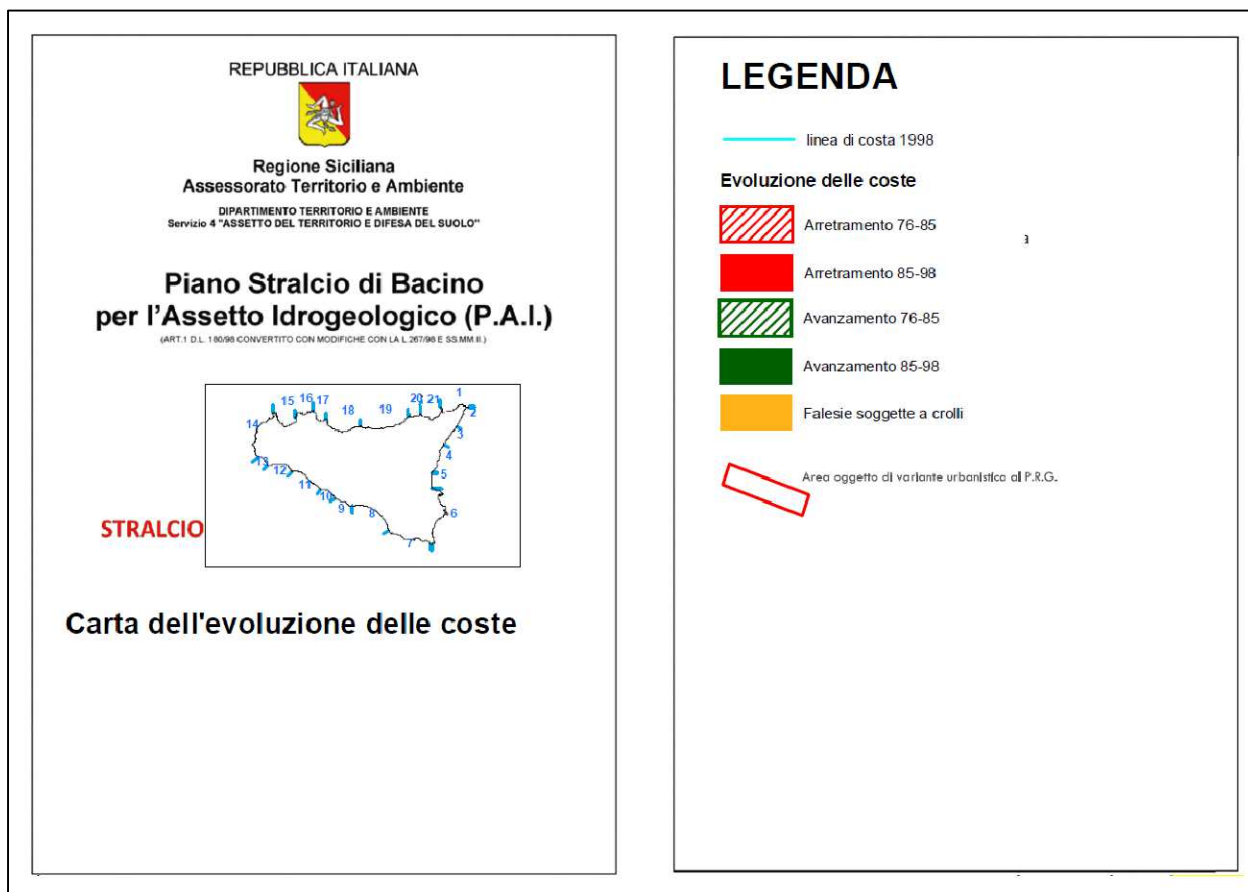
SCALA 1:2.000





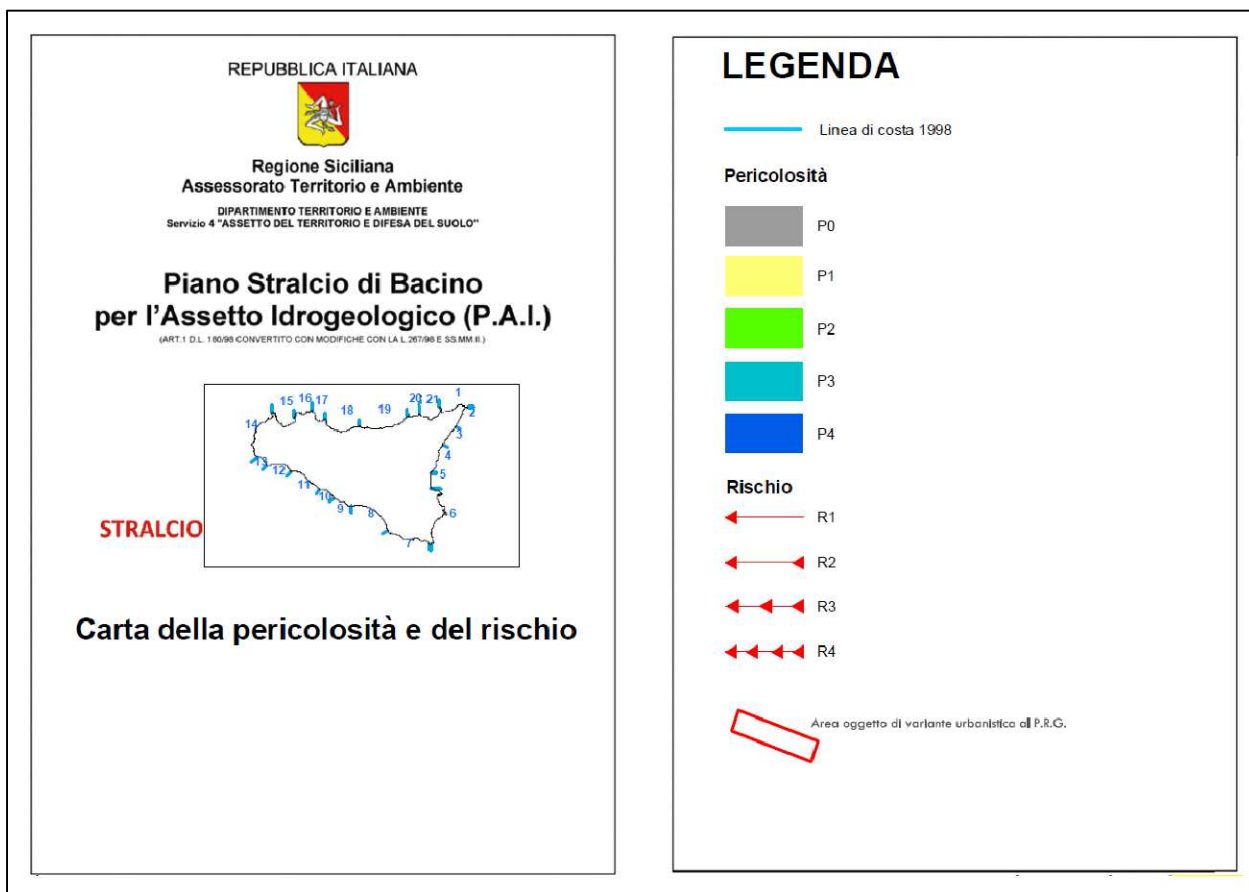
SCALA 1:2.000





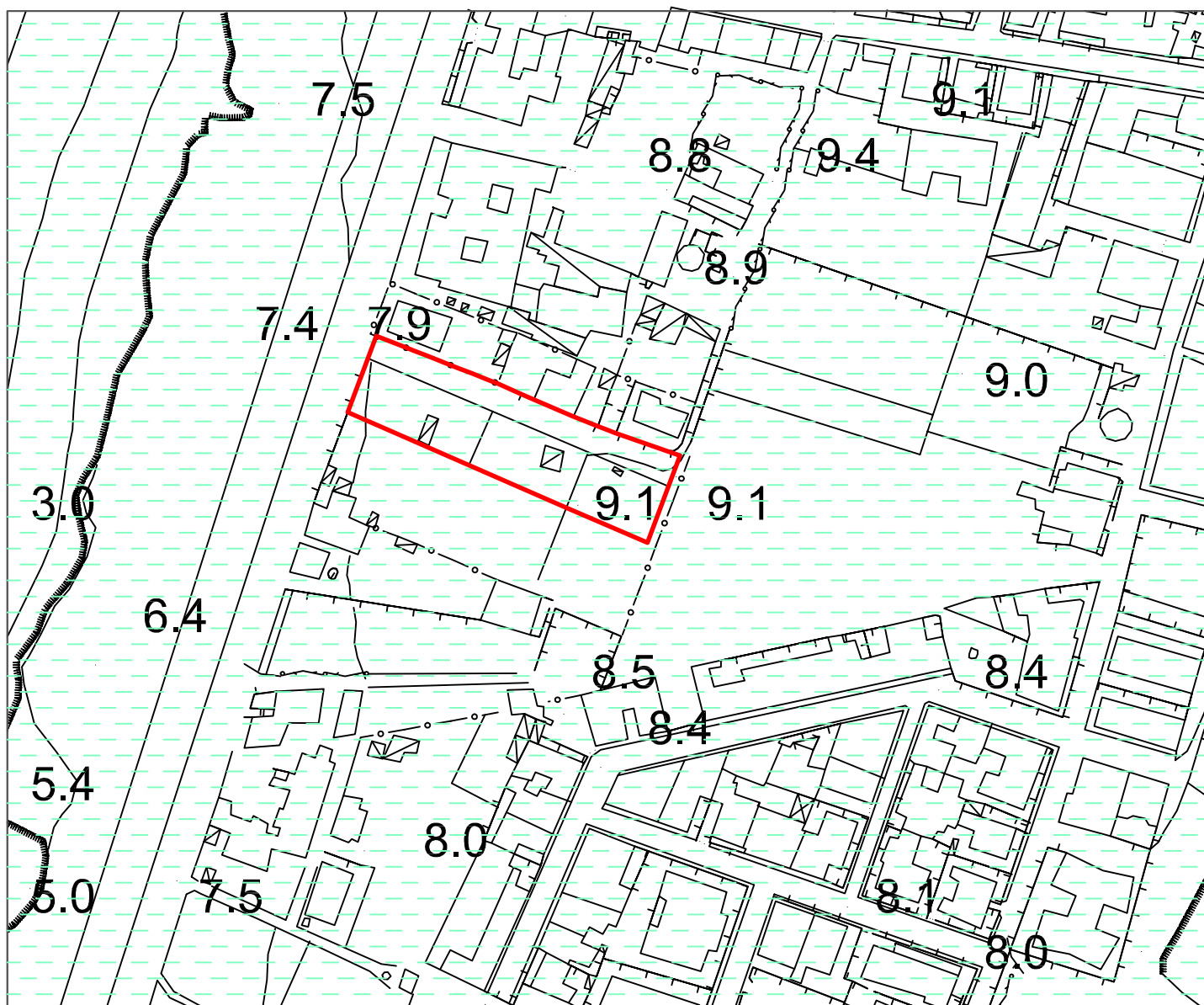
SCALA 1:2.000





SCALA 1:2.000





CARTA GEOMORFOLOGICA

SCALA 1:2.000



- legenda -

LITOLOGIA DEL SUBSTRATO



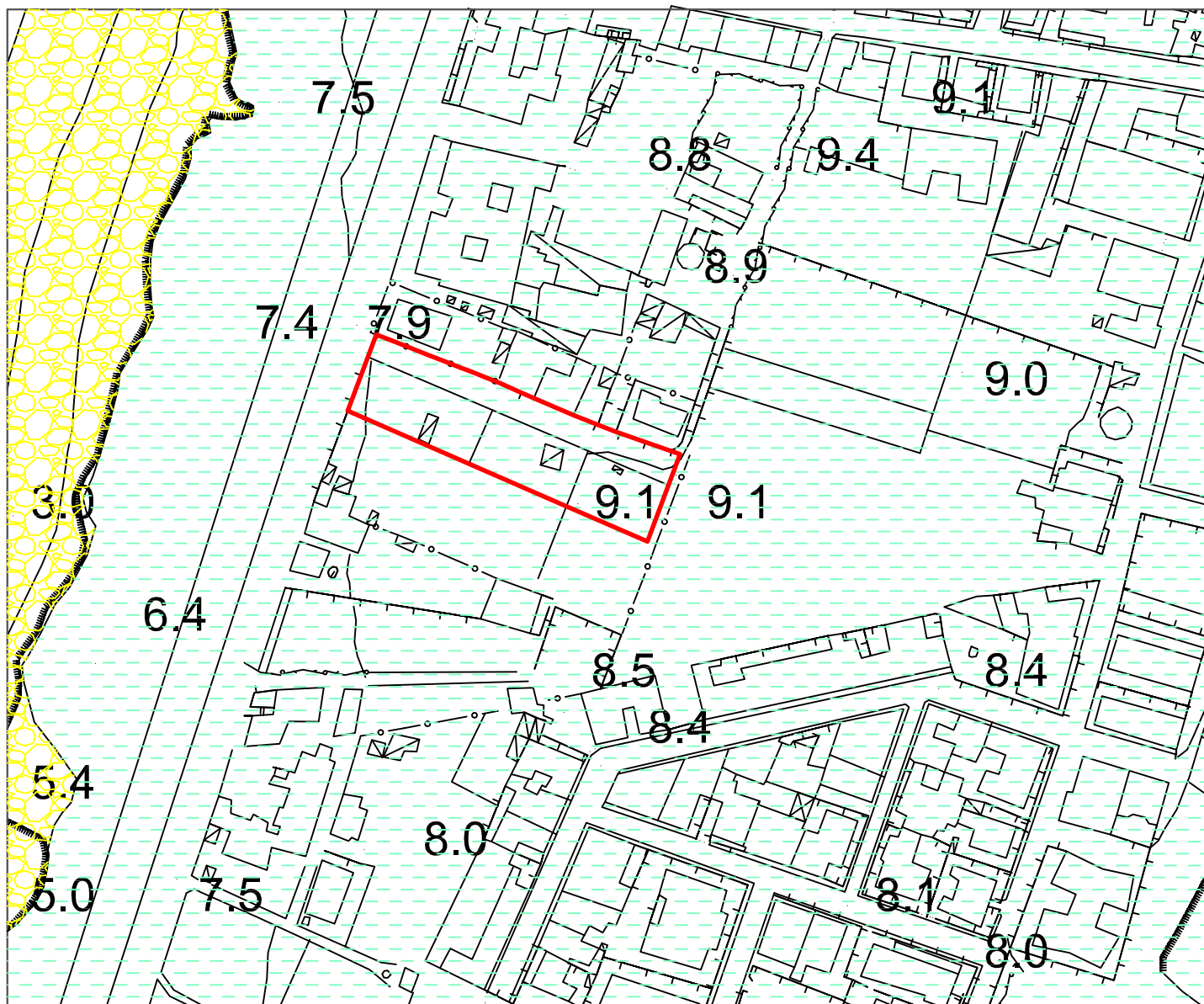
DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI E ATTUALI

Depositi alluvionali e marini costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie

- simbologia -



Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



CARTA GEOLITOLOGICA

SCALA 1:2.000



- legenda -



DEPOSITO DI SPIAGGIA

Ghiaie a clasti di quarzo e di litici metamorfici - (OLOCENE)



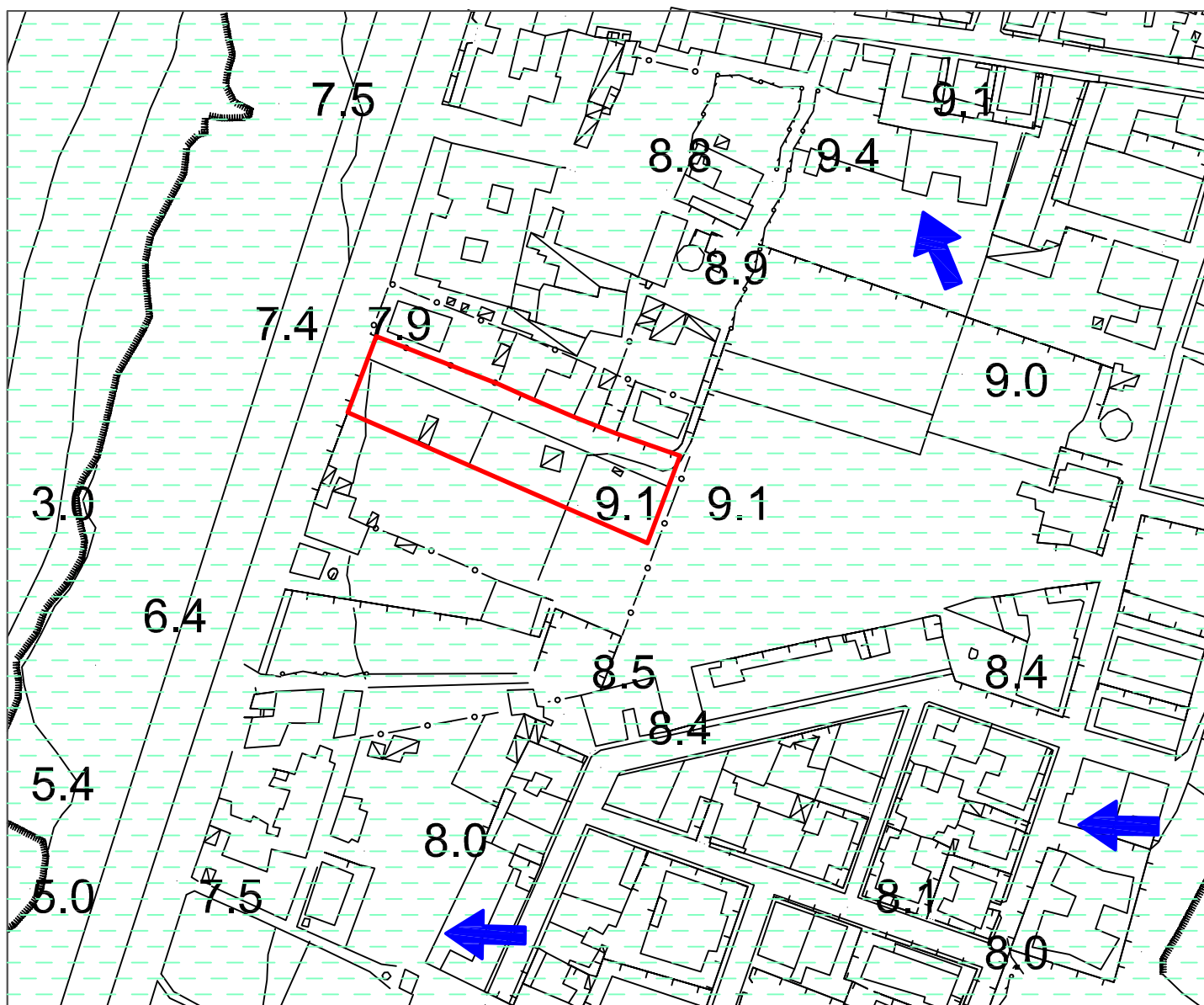
DEPOSITI ALLUVIONI RECENTI

Depositi alluvionali attuali e recenti costituiti da sabbie in genere più o meno ghiaiose, con subordinate intercalazioni di orizzonti-strati limo-argillosi o lenti-livelli ciottolosi-ghiaiosi. La stratificazione è di tipo mista-incrociata o piano-parallela - (PLEISTOCENE - OLOCENE)

- simbologia -



Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



CARTA IDROGEOLOGICA

SCALA 1:2.000



- legenda -



Depositi alluvionali attuali e recenti.

Depositi costituiti da ghiaie e ciottoli immersi in matrice sabbioso-limosa, sabbie e ghiaie ad assetto lentiforme secondo intrecci latero-verticale indistinti. **Medio-alta permeabilità primaria per porosità** seppur condizionata dalla presenza di componente fine. Presenza di falda continua di tipo freatico a basso gradiente idraulico. Lo spessore dei depositi alluvionali di piana costiera varia nei diversi settori in cui sono presenti ma in genere si attesta intorno ai 20-30 mt., costituendo di fatto un piccolo acquifero locale.

- simbologia -



Presunto deflusso idrico sotterraneo



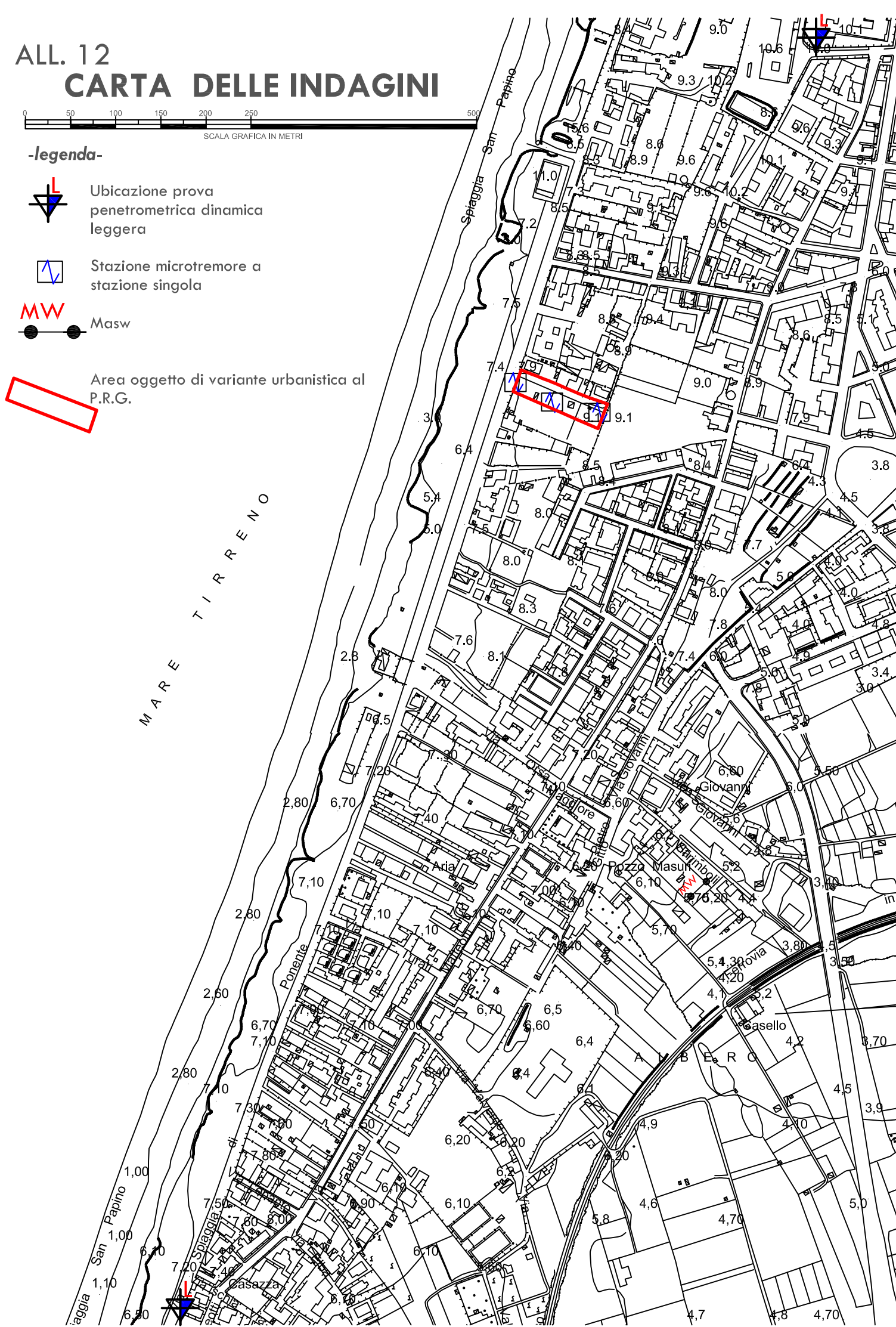
Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.

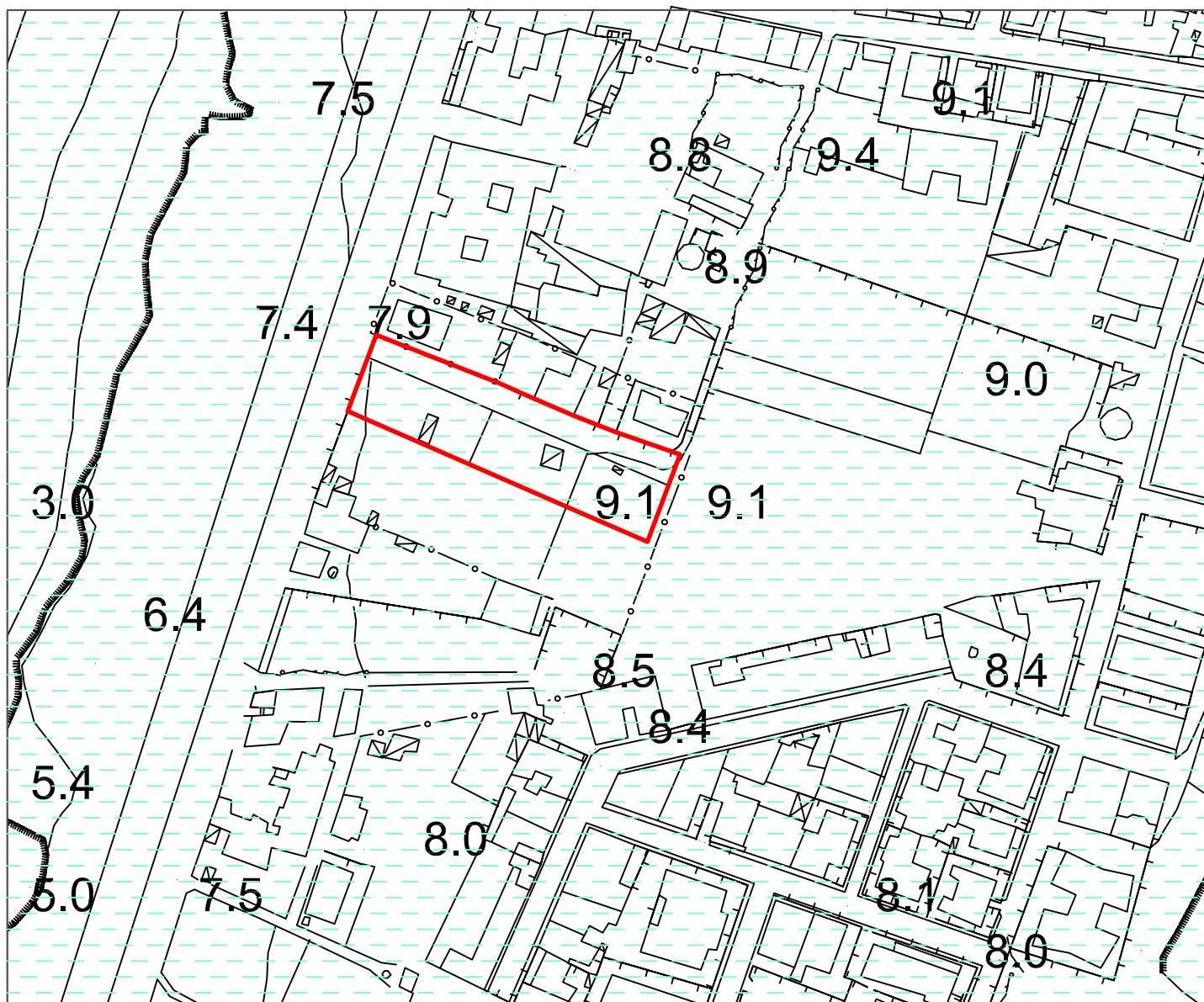
SCALA GRAFICA IN METRI



Answer:

Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.






CARTA LITOTECNICA

SCALA 1:2.000



- legenda -

 Depositi alluvionali attuali e recenti. **Unità di Copertura, sedimenti a grana medio fine, materiali sciolti, E1c:** sabbie eterodimensionali, a tratti debolmente ghiaiose, irregolarmente alternate a limi sabbiosi, con subordinate intercalazioni di orizzonti, lenti o livelli di limi debolmente sabbiosi senza uniformità granulometrica in accordo con la tipologia che contraddistingue le sedimentazioni fluvio-marine in cui si realizzano depositi di sedimenti a stratificazione incrociata. Sono dotati di discrete caratteristiche geomeccaniche in relazione alla loro costituzione.

Principali parametri geotecnici:

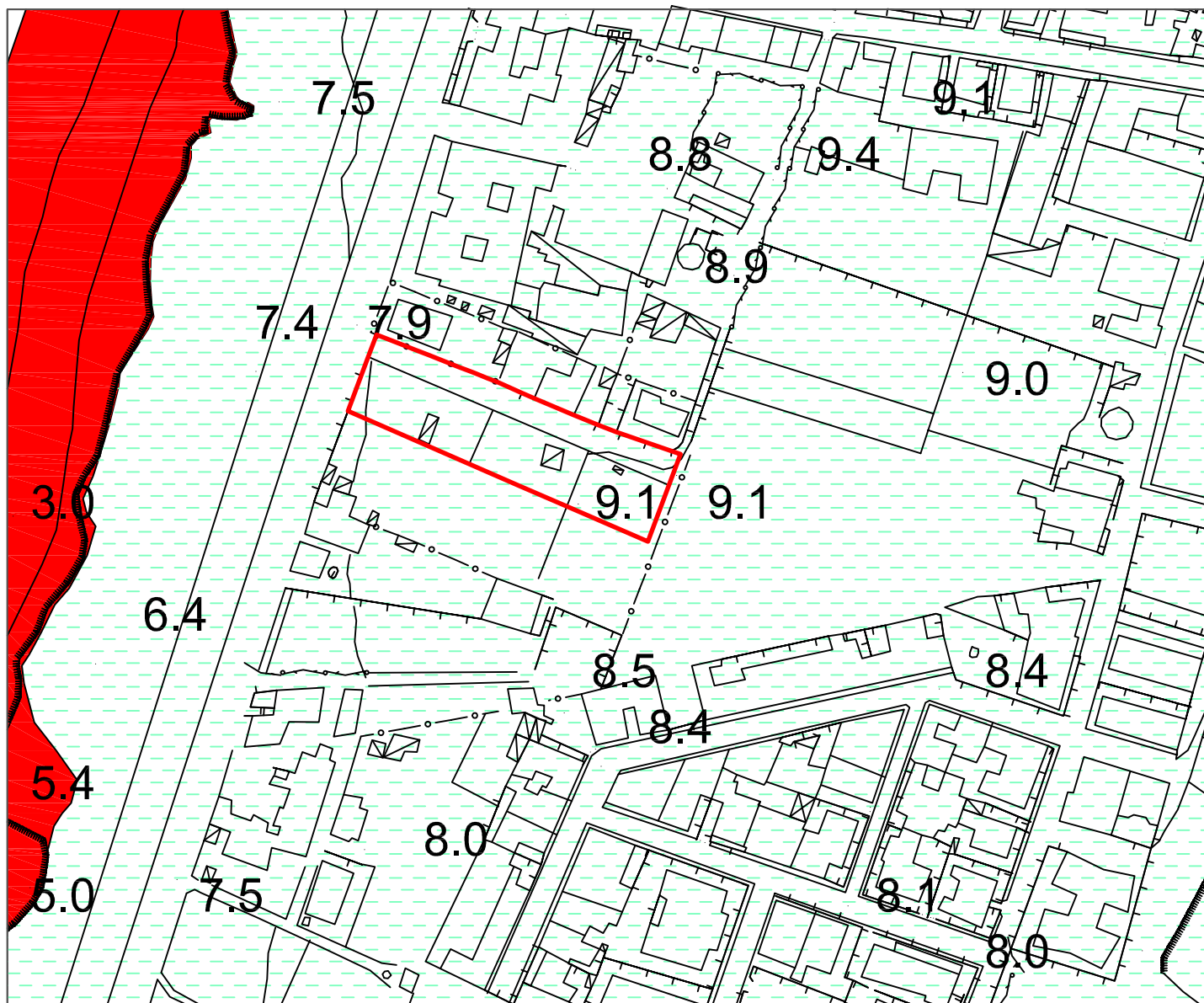
$\gamma = 1,6 \div 1,9 \text{ t/mc}$

$\varphi = 23^\circ \div 32^\circ$

$c = 0,00 \text{ t/mq}$

- simbologia -

 Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.





CARTA DELLE PERICOLOSITA' GEOLOGICHE

SCALA 1:2.000



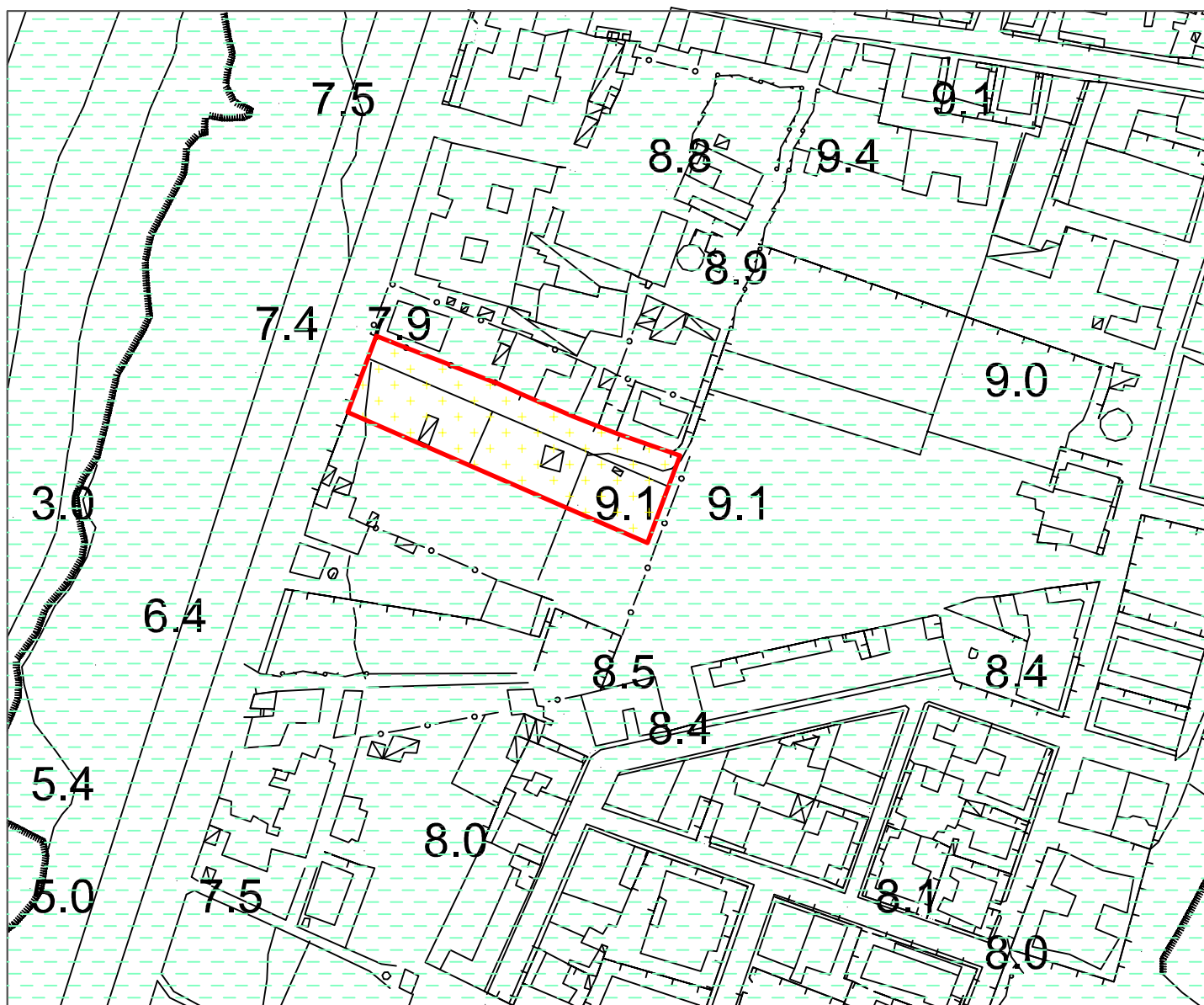
- legenda -

GRADO DI PERICOLOSITA'	DESCRIZIONE E SUSCETTIVITA' DI UTILIZZAZIONE URBANISTICA
ELEVATO 	Aree costiere di spiaggia caratterizzate da erosione ad opera del moto ondoso ordinario. ALTO RISCHIO GEOLOGICO PERICOLOSITA' ELEVATA
TRASCURABILE 	Aree geomorfologicamente stabili senza particolari fattori incidenti sull'edificabilità e per le quali comunque dovrà essere direttamente osservato quanto prescritto dalla normativa tecnica vigente. RISCHIO GEOLOGICO DA BASSO A MEDIO PERICOLOSITA' DA BASSA A NULLA

- simbologia -



Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



CARTA

DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

(pericolosità sismica di base: $a_g = 0,150 \div 0,175$)

SCALA 1:2.000



- legenda -

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Area con terreni sabbiosi, sabbiosi limosi o sabbioso-ghiaiosi frammisti a ciottoli e con superficie della falda freatica ≤ 15 m. Area per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (misure sismiche), utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di classificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione. Zone afferenti alla categoria sismica "C", mentre la categoria topografica, trattandosi di aree sub - pianeggianti è la T1.

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

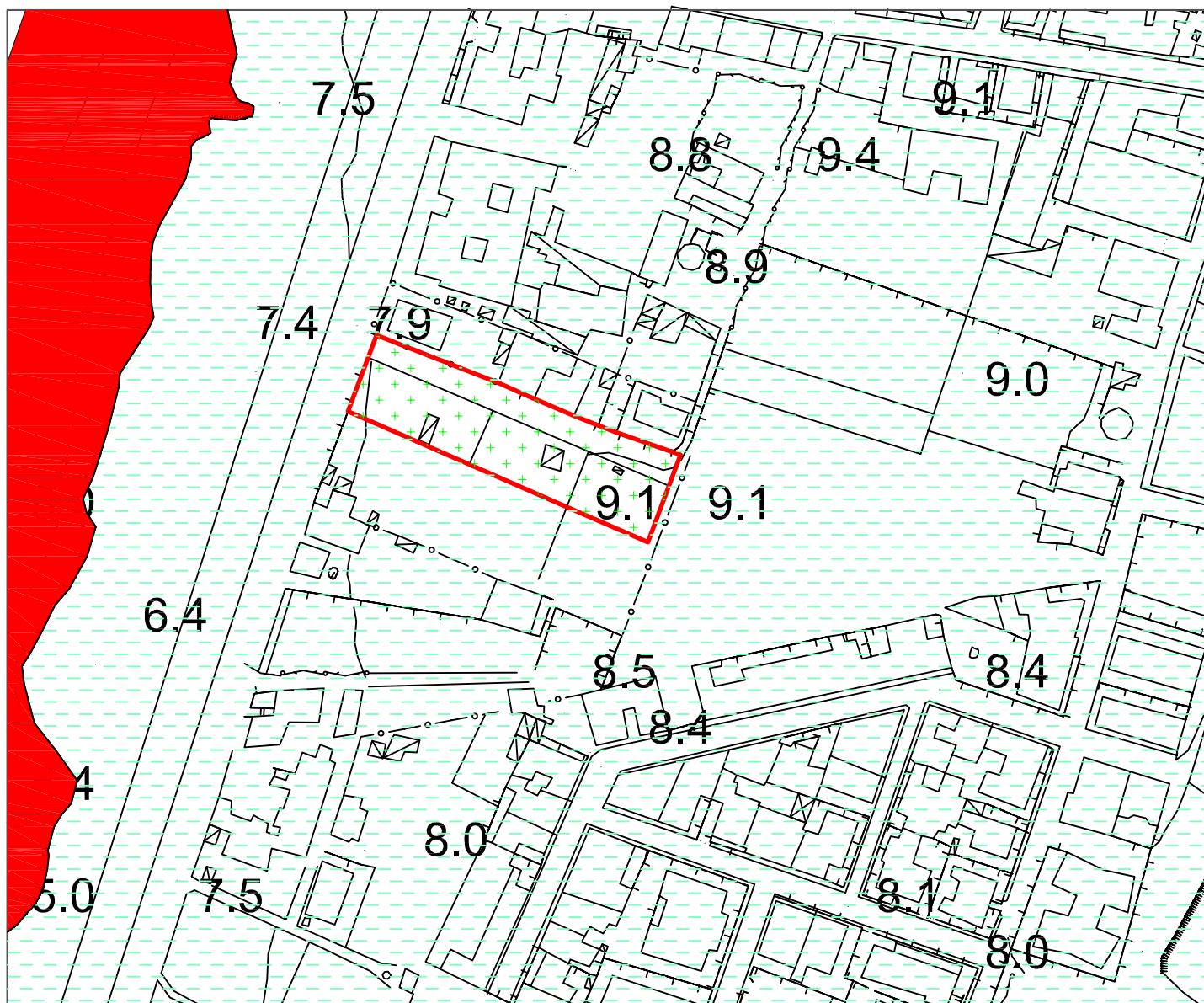


Area con terreni sabbiosi, sabbiosi limosi o sabbioso-ghiaiosi frammisti a ciottoli e con superficie della falda freatica ≤ 15 m, e pertanto soggetti al fenomeno della liquefazione. Zone afferenti alla categoria sismica "C", mentre la categoria topografica, trattandosi di aree sub - pianeggianti è la T1.

- simbologia -



Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



CARTA DELLA SUSCETTIVITA' ALL'EDIFICAZIONE

SCALA 1:2.000



- legenda -



Aree costiere di spiaggia, a pericolosità elevata caratterizzate da erosione ad opera del moto ondoso.

AREE A SUSCETTIVITA' NULLA: aree in cui ogni previsione insediativa è da ritenersi incompatibile, con fattibilità limitata a interventi conservativi e di ripristino volti alla riduzione del rischio di erosione della costa.



Aree geomorfologicamente stabili caratterizzate dalla presenza di terreni alluvionali con superficie della falda freatica indicativamente ≤ 15 mt. dal p.c. **SUSCETTIVITA' ALTA:** aree senza particolari limitazioni d'uso edificatorio, subordinate alla verifica preventiva del potenziale di liquefacibilità in condizioni sismiche, così come previsto dal D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni e all'eventuale realizzazione di interventi volti alla riduzione del rischio di liquefazione.

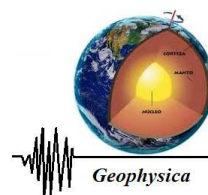


Aree geomorfologicamente stabili caratterizzate dalla presenza di terreni alluvionali con superficie della falda freatica indicativamente ≤ 15 mt. dal p.c. **SUSCETTIVITA' ALTA:** aree senza particolari limitazioni d'uso edificatorio, per la quale è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di prove in sito (misure sismiche e prove penetrometriche dinamiche continue) utilizzando metodi semplificati e che hanno consentito di classificare i terreni affioranti come depositi non soggetti al fenomeno della liquefazione in condizioni sismiche.

- simbologia -



Area oggetto di variante urbanistica al P.R.G.



Oggetto:	<i>Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020</i>
-----------------	---

	Data: 17/03/2021
	Il committente <i>Impellizzeri ed eredi</i>
	IL Tecnico
Indagine geofisica tramite tecnica HVSR	

I N D I C E

1.0 CENNI TEORICI

2.0 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

3.0 VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA DI SITO

4.0 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Allegato misura HVSR

- *Report misure HVSR*
- *Documentazione fotografica*

MISURE DI MICROTREMORI IN CAMPO LIBERO

1.0 Cenni teorici della tecnica HVSR

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nella progettazione per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la **frequenza fondamentale di risonanza di una struttura**, qualora la misura venga effettuata all'interno della stessa. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

- la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. È possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 de 22/03/2018;

- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

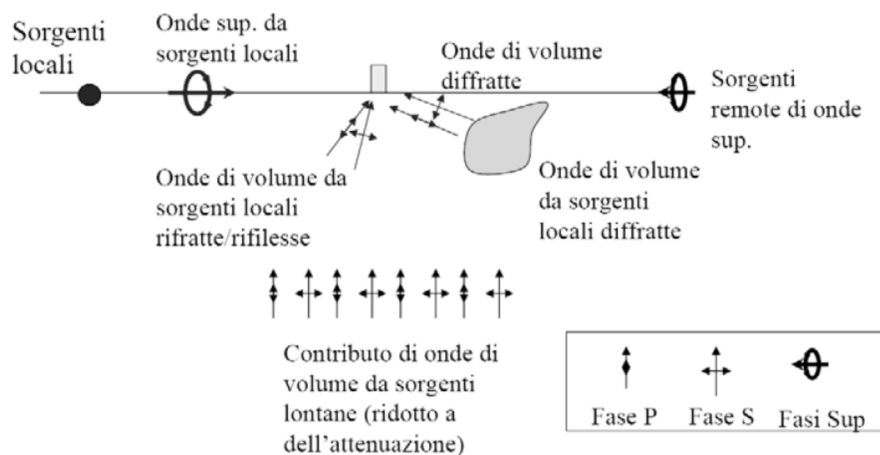
Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente S;
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente S al sito X (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche "microtremore" poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente S al sito X le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato e dalle strutture edificate. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Queste informazioni sono "sepolte" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di vibrazione dei suoli e delle strutture; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

In questa tecnica, viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto.

2.0 Acquisizione ed elaborazione dati

Strumentazione impiegata

Hardware

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un velocimetro digitale della ditta SARA Electronic Instruments S.r.l., modello SR04 "GEOBOX", che utilizza una terna di sensori ad alte prestazioni con frequenza propria nominale di 4.5 Hz, ortogonali tra loro, ad alta definizione, con intervallo di frequenza compreso tra 0.2 e 1000 Hz ed un digitalizzatore dei 3 canali sismici a 24 bit.

L'assenza di cavi esterni consente di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente. Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale.

Software

I dati registrati possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma SEISMOWIN fornito assieme allo strumento.

L'elaborazione dei dati ed il *processing* è avvenuto secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

Type of parameter	Main recommendations	
Recording duration	Minimum expected f ₀ [Hz]	Recommended minimum recording duration [min]
	0.2	30'
	0.5	20'
	1	10'
	2	5'
	5	3'
	10	2'
Measurement spacing	→ <u>Microzonation</u> : start with a large spacing (for example a 500 m grid) and, in case of lateral variation of the results, densify the grid point spacing, down to 250 m, for example. → <u>Single site response</u> : never use a single measurement point to derive an f ₀ value, make at least three measurement points.	
Recording parameters	→ level the sensor as recommended by the manufacturer. → fix the gain level at the maximum possible without signal saturation.	
In situ soil-sensor coupling	→ set the sensor down directly on the ground, whenever possible. → avoid setting the sensor on "soft grounds" (mud, ploughed soil, tall grass, etc.), or soil saturated after rain.	
Artificial soil-sensor coupling	→ avoid plates from "soft" materials such as foam rubber, cardboard, etc. → on steep slopes that do not allow correct sensor levelling, install the sensor in a sand pile or in a container filled with sand. → on snow or ice, install a metallic or wooden plate or a container filled with sand to avoid sensor tilting due to local melting.	
Nearby structures	→ Avoid recording near structures such as buildings, trees, etc. in case of wind blowing (faster than approx. 5 m/s). It may strongly influence H/V results by introducing some low frequencies in the curves → Avoid measuring above underground structures such as car parks, pipes, sewer lids, etc.	
Weather conditions	→ <u>Wind</u> : Protect the sensor from the wind (faster than approx. 5 m/s). This only helps if there are no nearby structures. → <u>Rain</u> : avoid measurements under heavy rain. Slight rain has no noticeable influence. → <u>Temperature</u> : check sensor and recorder manufacturer's instructions. → <u>Meteorological perturbations</u> : indicate on the field sheet whether the measurements are performed during a low-pressure meteorological event.	
Disturbances	→ <u>Monochromatic sources</u> : avoid measurements near construction machines, industrial machines, pumps, generators, etc. → <u>Transients</u> : In case of transients (steps, cars,...), increase the recording duration to allow for enough windows for the analysis, after transient removal.	

Elaborazione

Nel caso specifico si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza del sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza fondamentale di vibrazione è definita dal valore in frequenza corrispondente al massimo valore H/V registrato.

Va ricordato che il valore del rapporto H/V è tanto più grande quanto più è alta l'impedenza sismica di due sismostrati a contatto e che il valore di frequenza dipende dallo spessore del sismostrato h e dalla velocità delle onde Vs ad esso riferite, così come descritto dalla seguente relazione:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dalla quale emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura H/V che vincola il valore di f, nota la Vs media delle coperture, si può stimare la profondità h dei riflettori sismici principali o viceversa.

A titolo d'esempio viene citato il seguente abaco che consente di fare una stima approssimativa degli spessori della coltre in funzione delle frequenze di vibrazione di sito.

f_0 (Hz)	h (m)
< 1	> 100
$1 - 2$	$50 - 100$
$2 - 3$	$30 - 50$
$3 - 5$	$20 - 30$
$5 - 8$	$10 - 20$
$8 - 20$	$5 - 10$
> 20	< 5

Viene riportato di seguito il grafico della curva elaborata dalla prova HVSR1 effettuata nel sito:

Hvsr1:

Dati generali

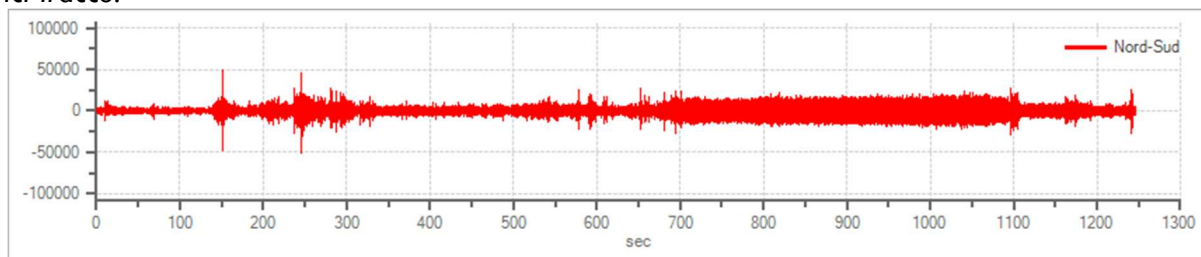
Progetto: Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020
 Committente: Impellizzeri ed Eredi
 Cantiere: via Spiaggia di Ponente
 Località: Milazzo
 Data: 17/03/2021
 Ora: 14:36:17
 Latitudine: 38.218063°
 Longitudine: 15.234058°

Tracce in input

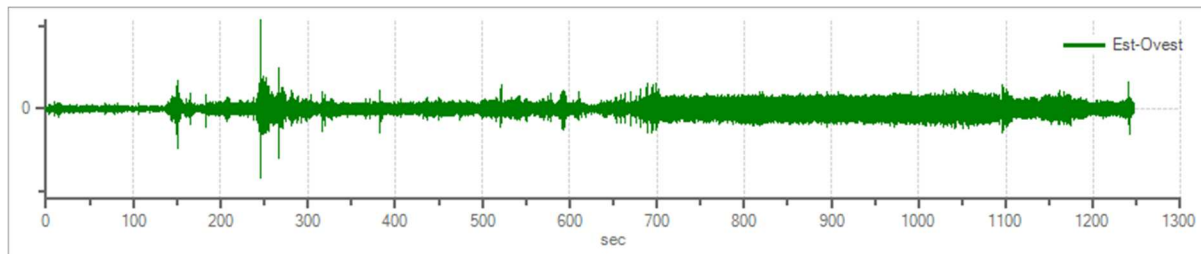
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1247 s
 Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
 Numero campioni: 374100
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

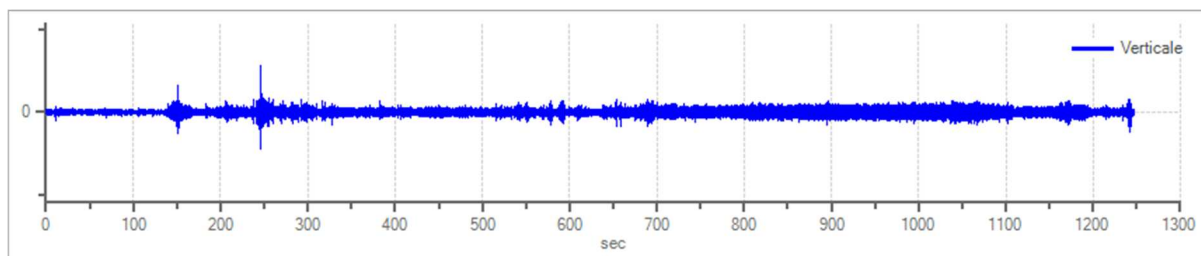
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

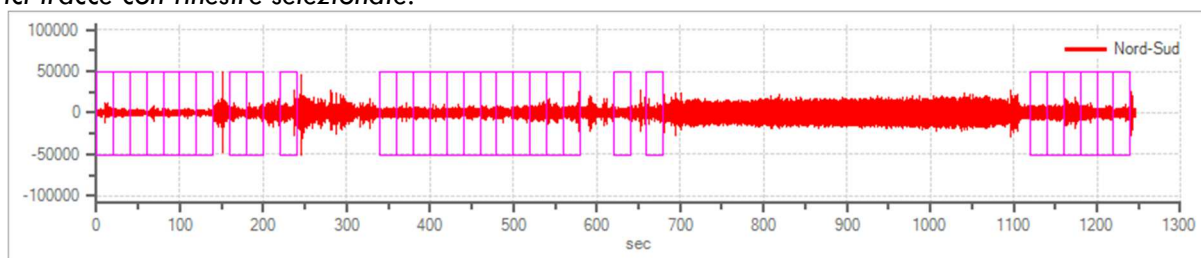
Numero totale finestre selezionate: 30
 Numero finestre incluse nel calcolo: 30
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di liscio: Triangolare proporzionale

Percentuale di liscio: 10.00 %

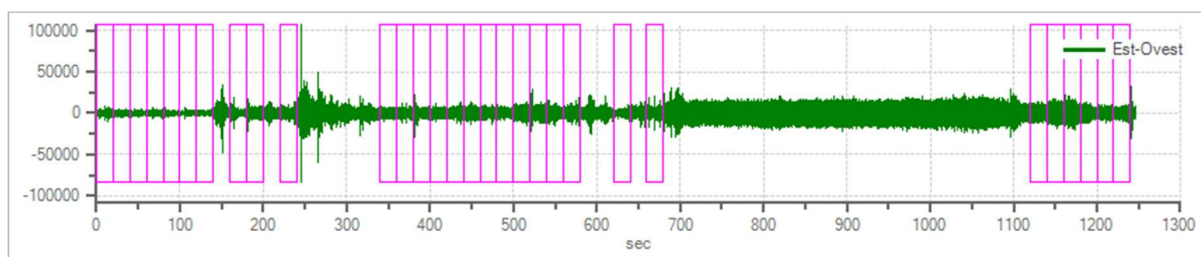
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	340	360	Inclusa
12	360	380	Inclusa
13	380	400	Inclusa
14	400	420	Inclusa
15	420	440	Inclusa
16	440	460	Inclusa
17	460	480	Inclusa
18	480	500	Inclusa
19	500	520	Inclusa
20	520	540	Inclusa
21	540	560	Inclusa
22	560	580	Inclusa
23	620	640	Inclusa
24	660	680	Inclusa
25	1120	1140	Inclusa
26	1140	1160	Inclusa
27	1160	1180	Inclusa
28	1180	1200	Inclusa
29	1200	1220	Inclusa
30	1220	1240	Inclusa

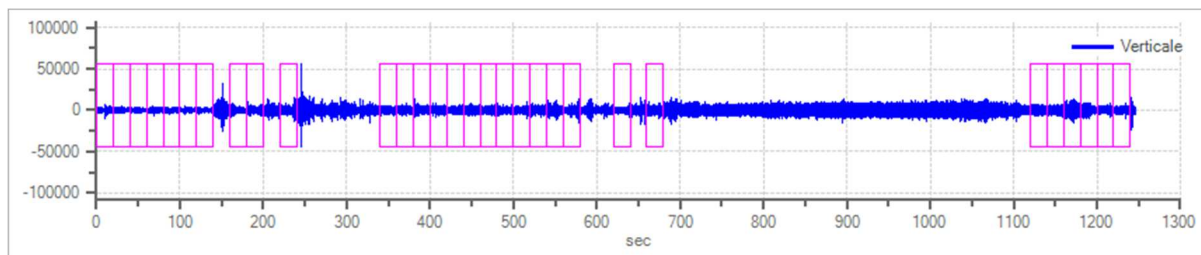
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

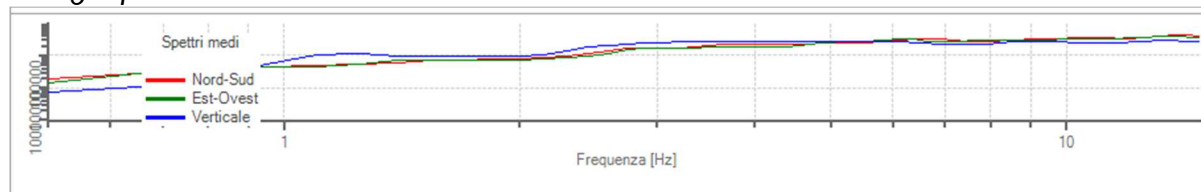


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

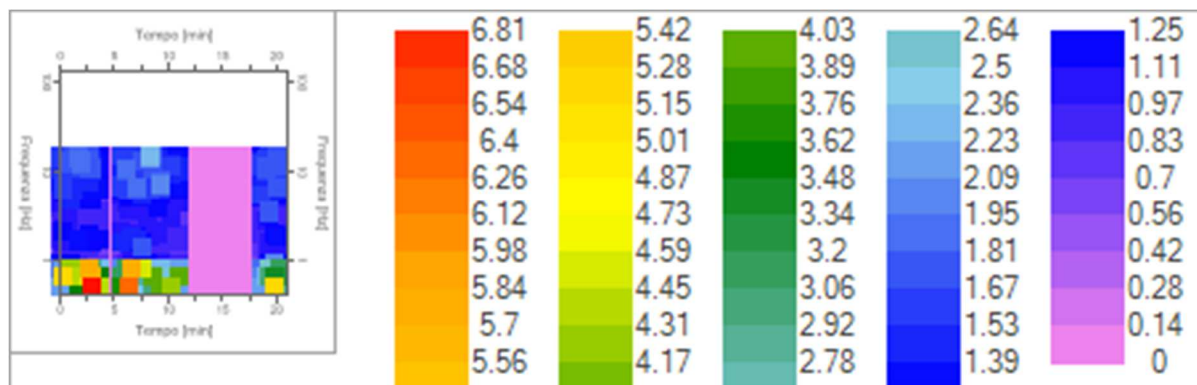


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

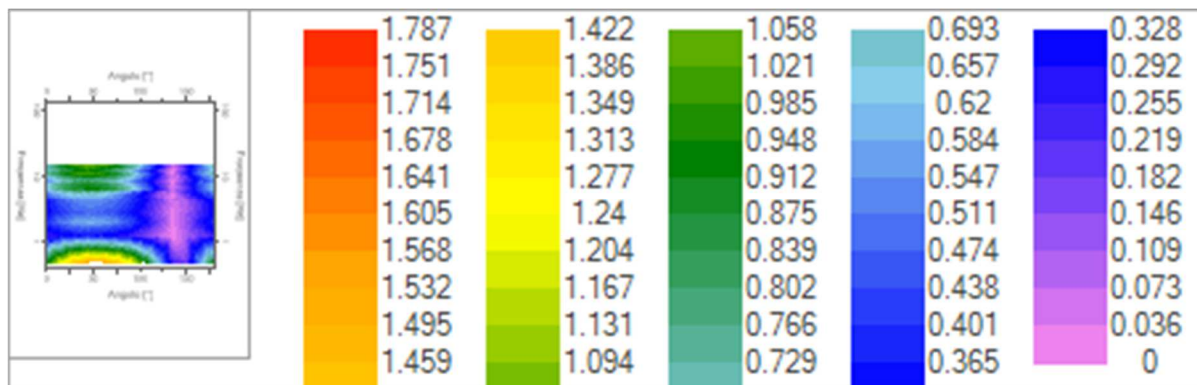
Grafici degli spettri:



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

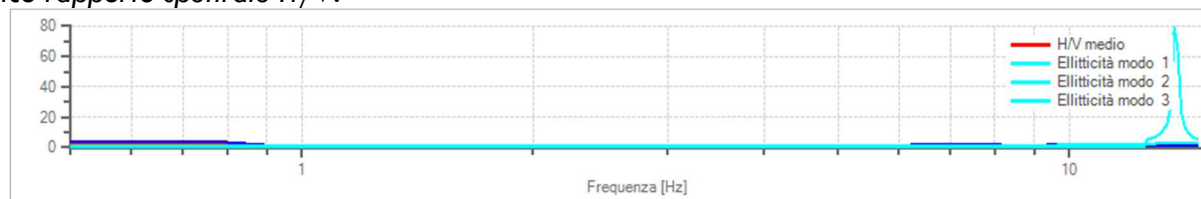
Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenza: 0.15 Hz
 Tipo lisciamto: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamto: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.65 Hz \pm 0.48 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V:**Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia****Verifiche SESAME:**

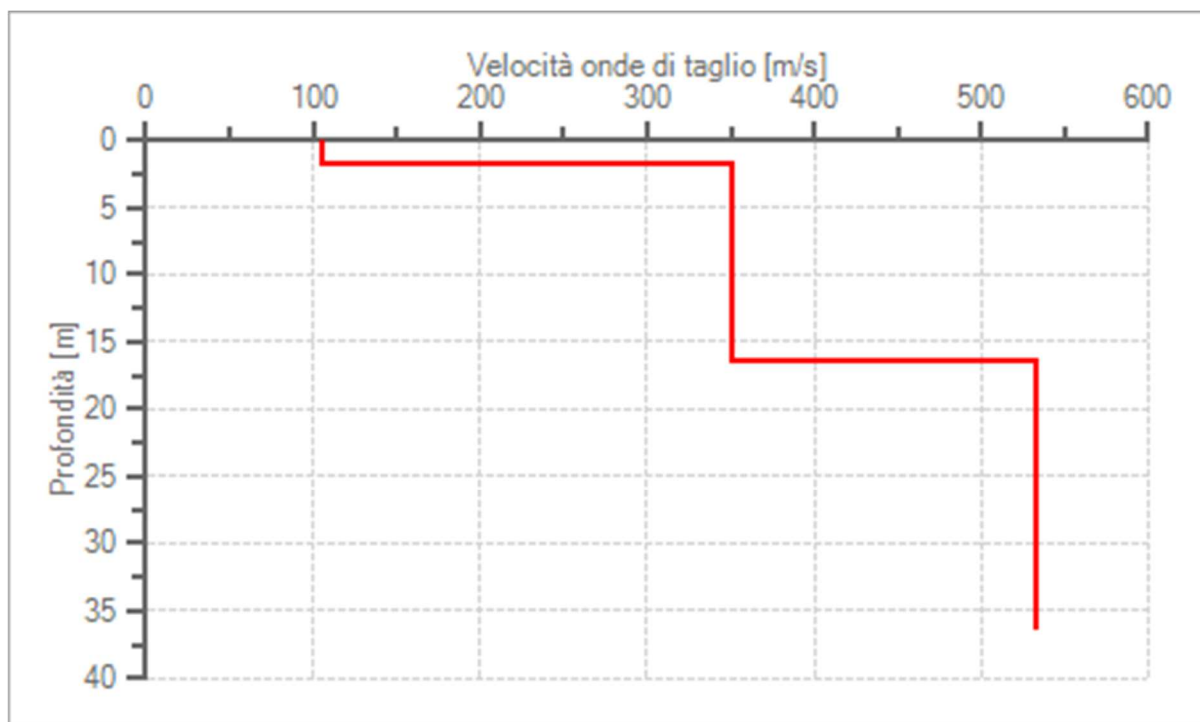
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:**

Numero strati:	3
Frequenza del picco dell'ellitticità:	14.75 Hz
Valore di disadattamento:	0.30
Valore $V_{s,eq}/V_{s30}$:	357.14 m/s

Stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.75	18	0.3	106
2	1.75	14.75	19	0.35	350
3	16.5	20	19	0.35	533



Profilo delle velocità delle onde di taglio



Hvsr 1

Hvsr2:

Dati generali

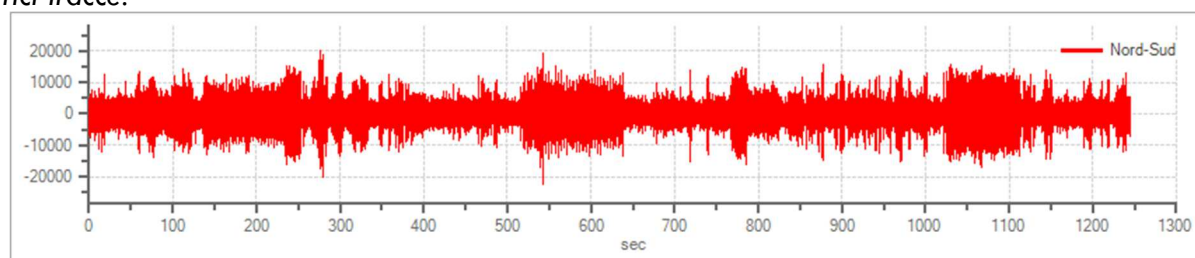
Progetto: Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020
 Committente: Impellizzeri ed Eredi
 Cantiere: via Spiaggia di Ponente
 Località: Milazzo
 Data: 17/03/2021
 Ora: 15:01:17
 Latitudine: 38.218243°
 Longitudine: 15.233552°

Tracce in input

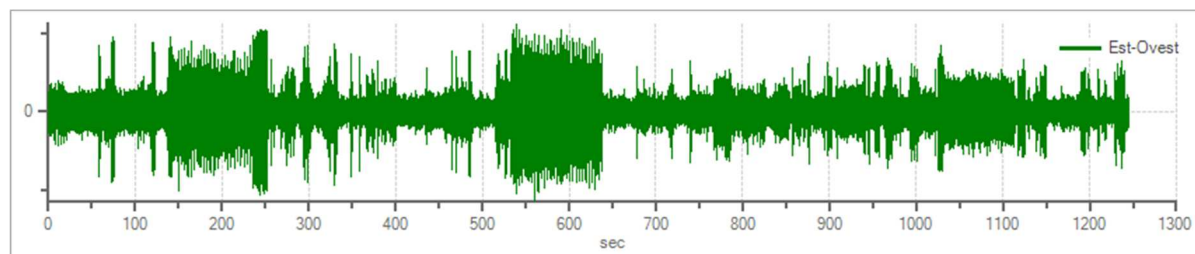
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1245 s
 Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
 Numero campioni: 373500
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

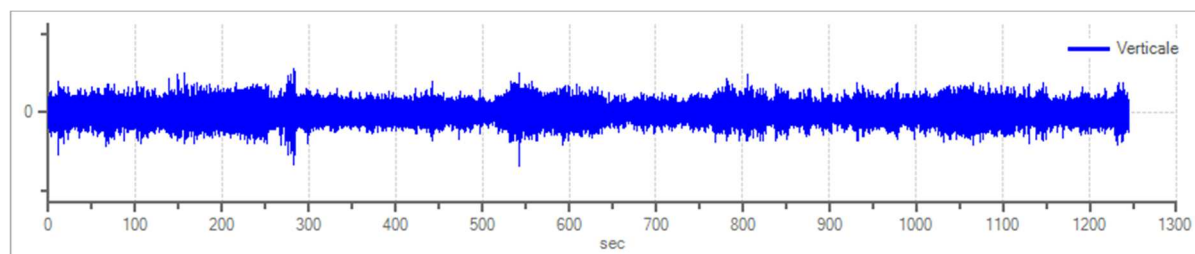
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

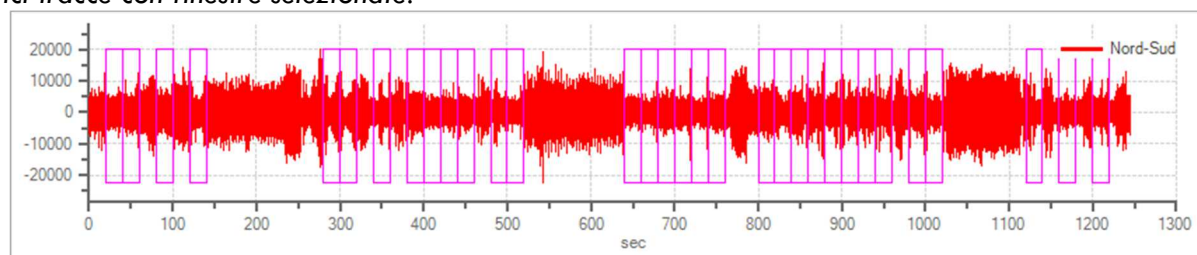
Numero totale finestre selezionate: 32
 Numero finestre incluse nel calcolo: 32
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di liscio: Triangolare proporzionale

Percentuale di liscio: 10.00 %

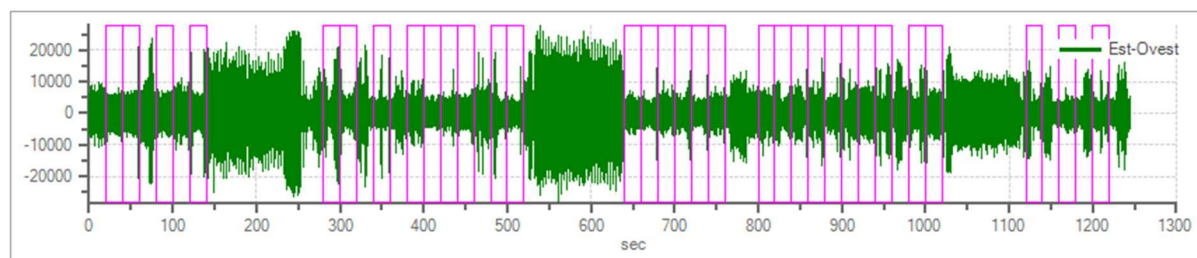
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	120	140	Inclusa
5	280	300	Inclusa
6	300	320	Inclusa
7	340	360	Inclusa
8	380	400	Inclusa
9	400	420	Inclusa
10	420	440	Inclusa
11	440	460	Inclusa
12	480	500	Inclusa
13	500	520	Inclusa
14	640	660	Inclusa
15	660	680	Inclusa
16	680	700	Inclusa
17	700	720	Inclusa
18	720	740	Inclusa
19	740	760	Inclusa
20	800	820	Inclusa
21	820	840	Inclusa
22	840	860	Inclusa
23	860	880	Inclusa
24	880	900	Inclusa
25	900	920	Inclusa
26	920	940	Inclusa
27	940	960	Inclusa
28	980	1000	Inclusa
29	1000	1020	Inclusa
30	1120	1140	Inclusa
31	1160	1180	Inclusa
32	1200	1220	Inclusa

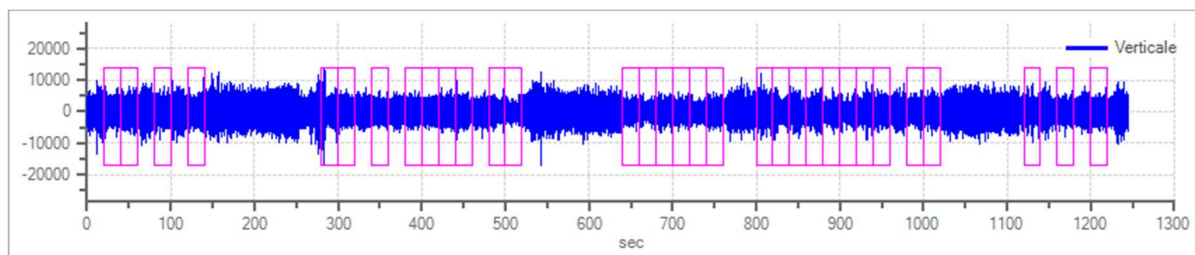
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

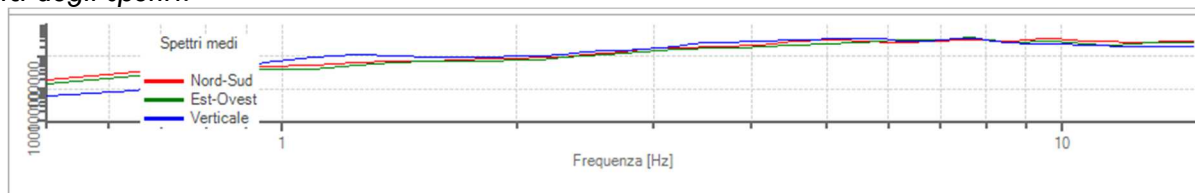


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

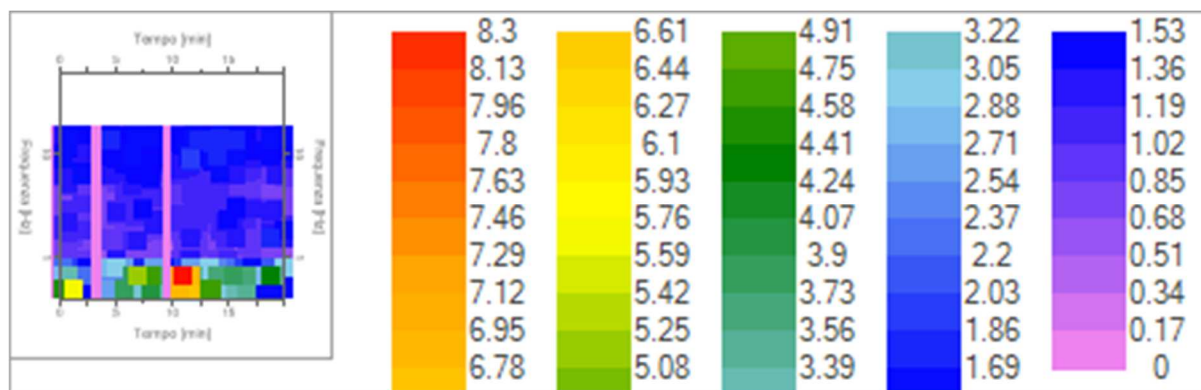


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

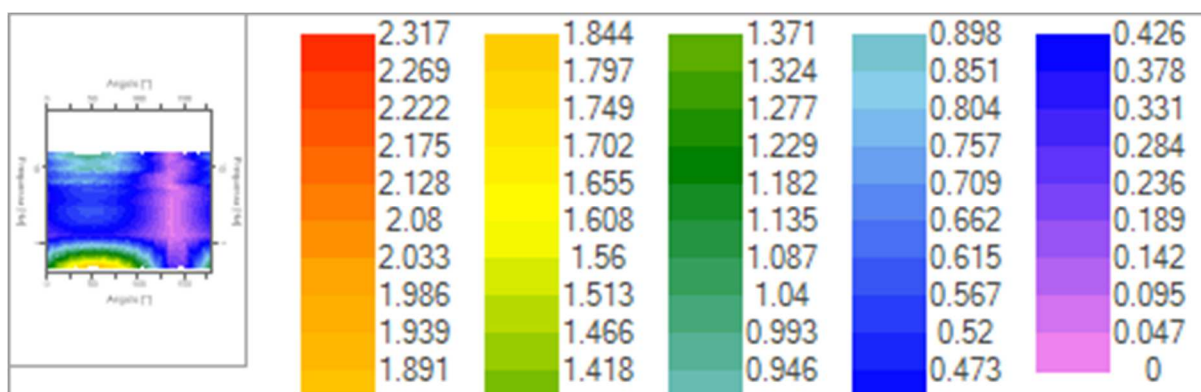
Grafici degli spettri:



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo liscio:mento:

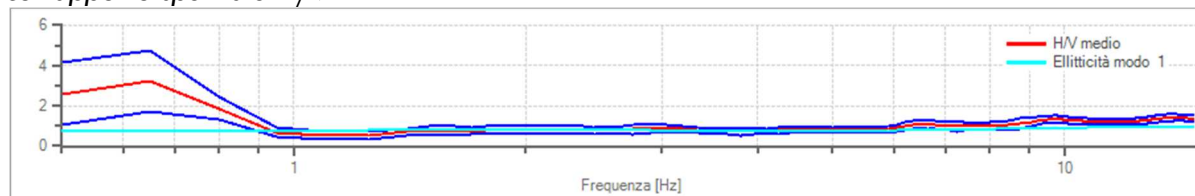
Triangolare proporzionale

Percentuale di liscio:mento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $0.65 \text{ Hz} \pm 0.47 \text{ Hz}$

Grafico rapporto spettrale H/V:

Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

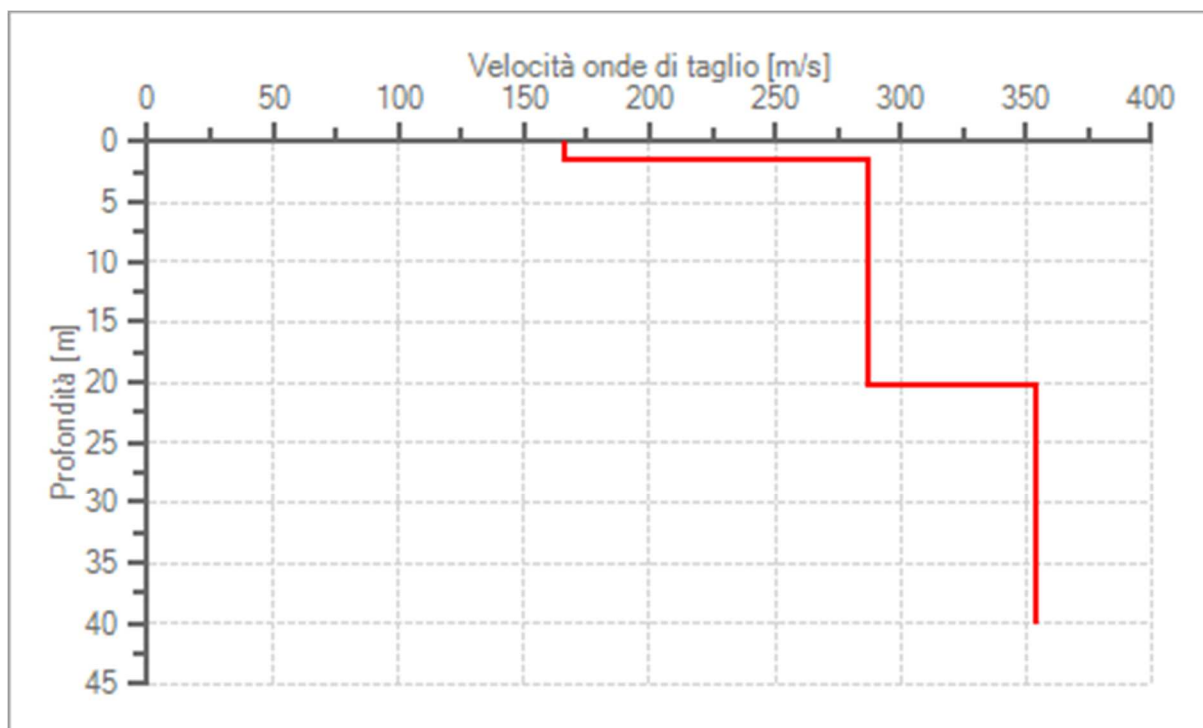
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Modello stratigrafico**Dati riepilogativi:**

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14.75 Hz
 Valore di disadattamento: 1.90
 Valore $V_{s,eq}/V_{s30}$: 294.11 m/s

Stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.55	18	0.35	166
2	1.55	18.7	19	0.35	287
3	20.24	20	19	0.35	354



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



Hvsr 2

Hvsr3:

Dati generali

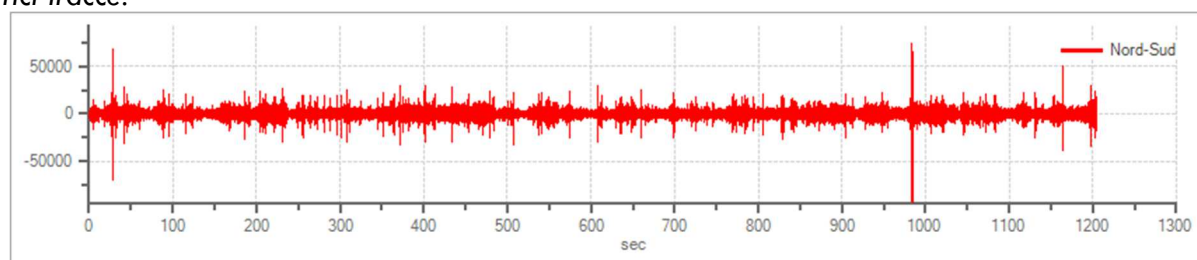
Nome progetto: Variante urbanistica del P.R.G., in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania n°452/2020
 Committente: Impellizzeri ed Eredi
 Cantiere: via Spiaggia di Ponente
 Località: Milazzo
 Data: 17/03/2021
 Ora: 15:26:14
 Latitudine: 38.218422°
 Longitudine: 15.233109°

Tracce in input

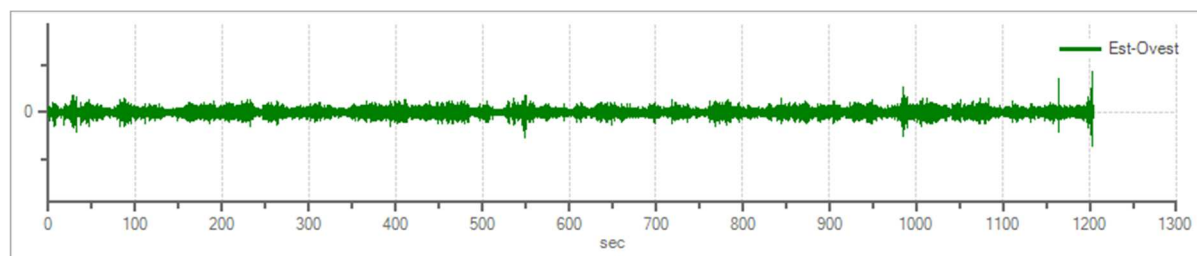
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1204 s
 Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
 Numero campioni: 361200
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

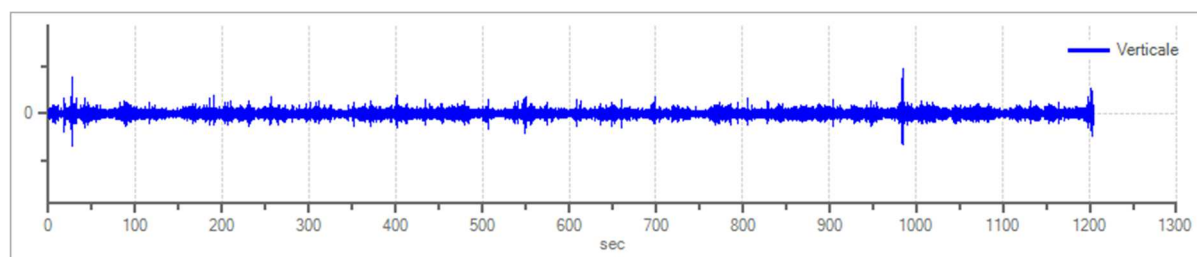
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 54
 Numero finestre incluse nel calcolo: 54
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di liscio: Triangolare proporzionale

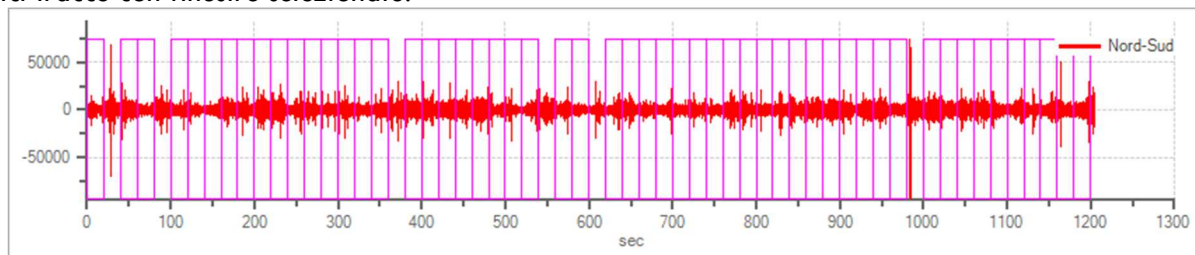
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Tabella finestre:

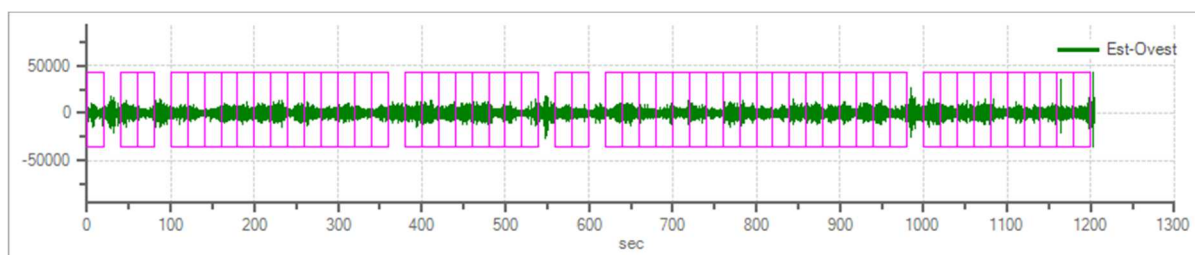
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	560	580	Inclusa
26	580	600	Inclusa
27	620	640	Inclusa
28	640	660	Inclusa
29	660	680	Inclusa
30	680	700	Inclusa
31	700	720	Inclusa
32	720	740	Inclusa
33	740	760	Inclusa
34	760	780	Inclusa
35	780	800	Inclusa
36	800	820	Inclusa
37	820	840	Inclusa
38	840	860	Inclusa
39	860	880	Inclusa
40	880	900	Inclusa
41	900	920	Inclusa
42	920	940	Inclusa
43	940	960	Inclusa
44	960	980	Inclusa
45	1000	1020	Inclusa
46	1020	1040	Inclusa
47	1040	1060	Inclusa
48	1060	1080	Inclusa
49	1080	1100	Inclusa
50	1100	1120	Inclusa
51	1120	1140	Inclusa

52	1140	1160	Inclusa
53	1160	1180	Inclusa
54	1180	1200	Inclusa

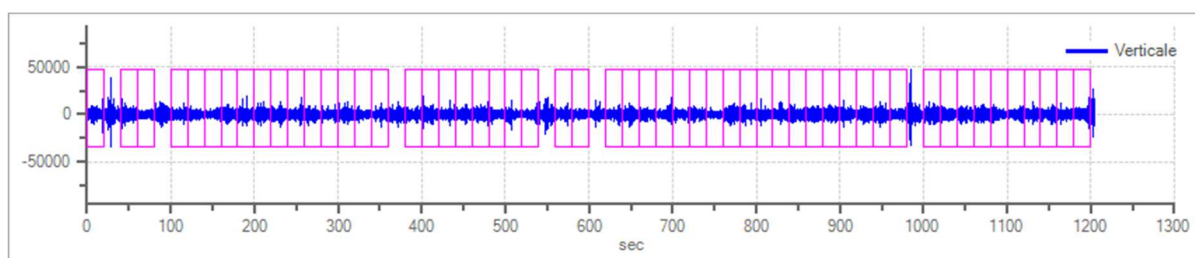
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

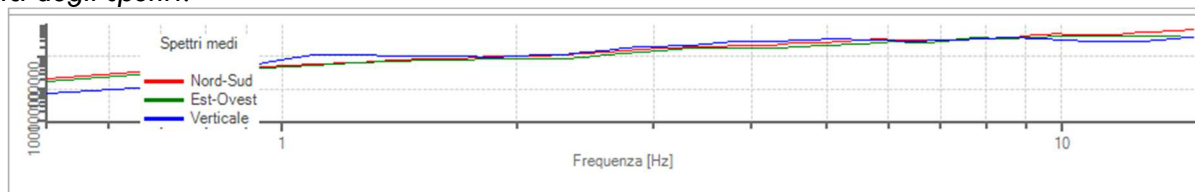


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

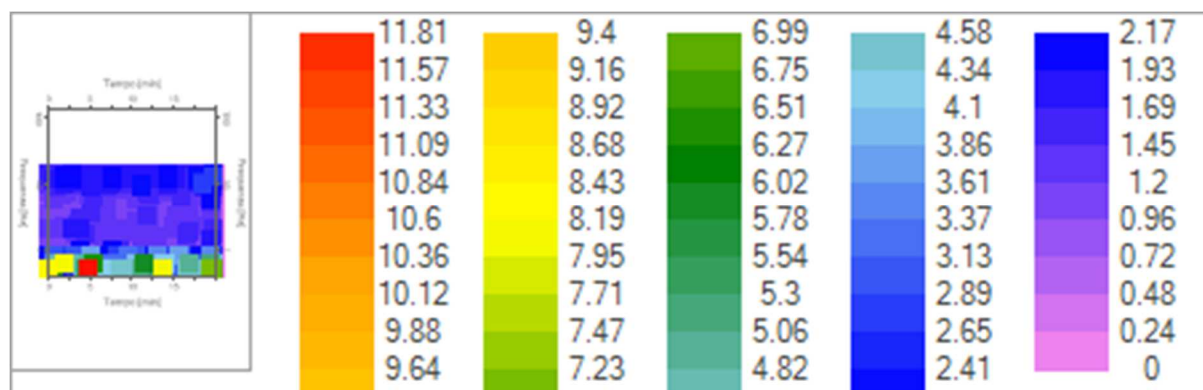


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

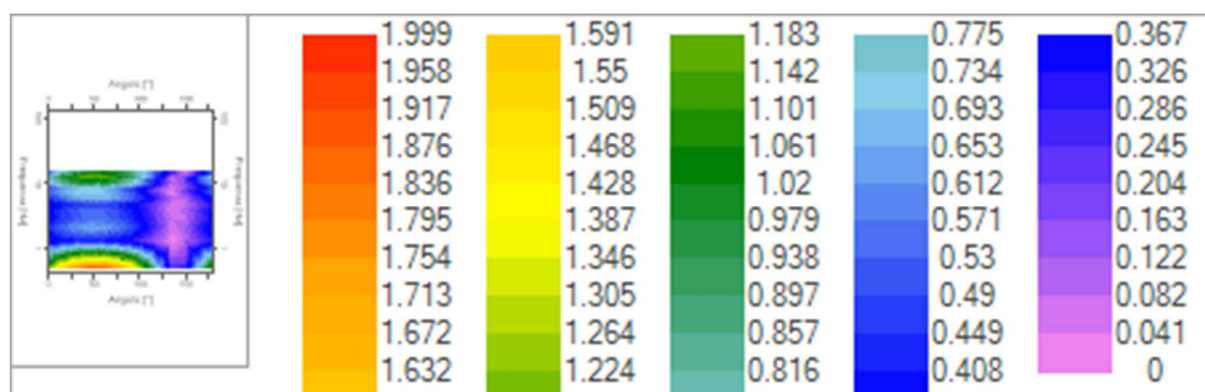
Grafici degli spettri:



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

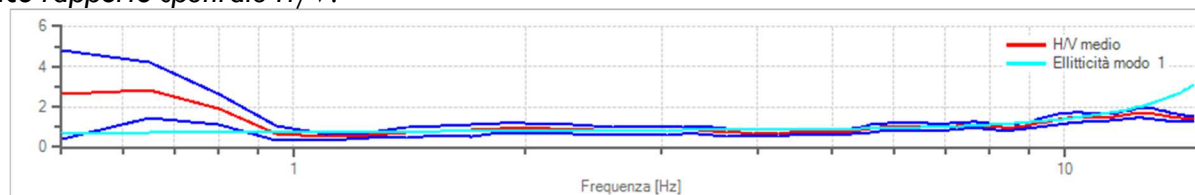
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.65 Hz \pm 0.49 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V:



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

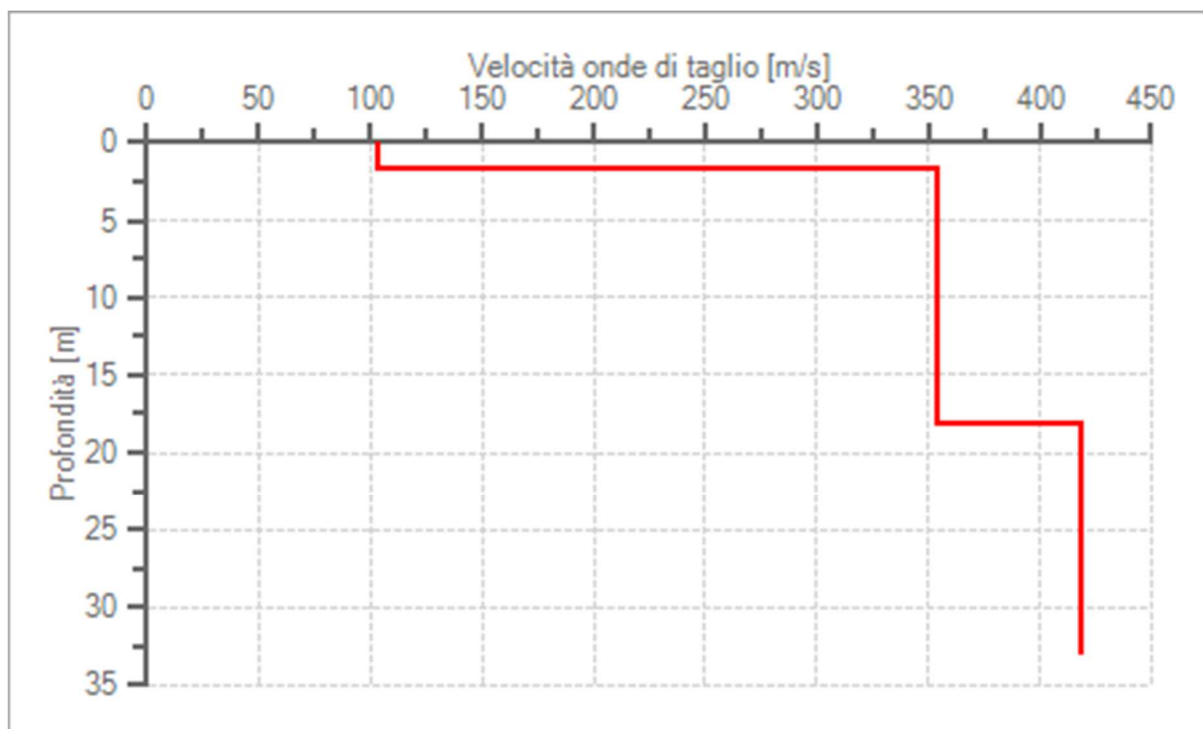
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14.75 Hz
 Valore di disadattamento: 0.29
 Valore Vs30: 330.11 m/s

Stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.65	18	0.3	103
2	1.65	16.48	19	0.35	354
3	18.13	15	19	0.35	418



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



Hvsr 3

3.0 Valutazione della frequenza di sito

Nel caso specifico si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza del sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

Viene riportato di seguito il grafico della curva elaborata dalla prova HVSR1 effettuata nel sito.

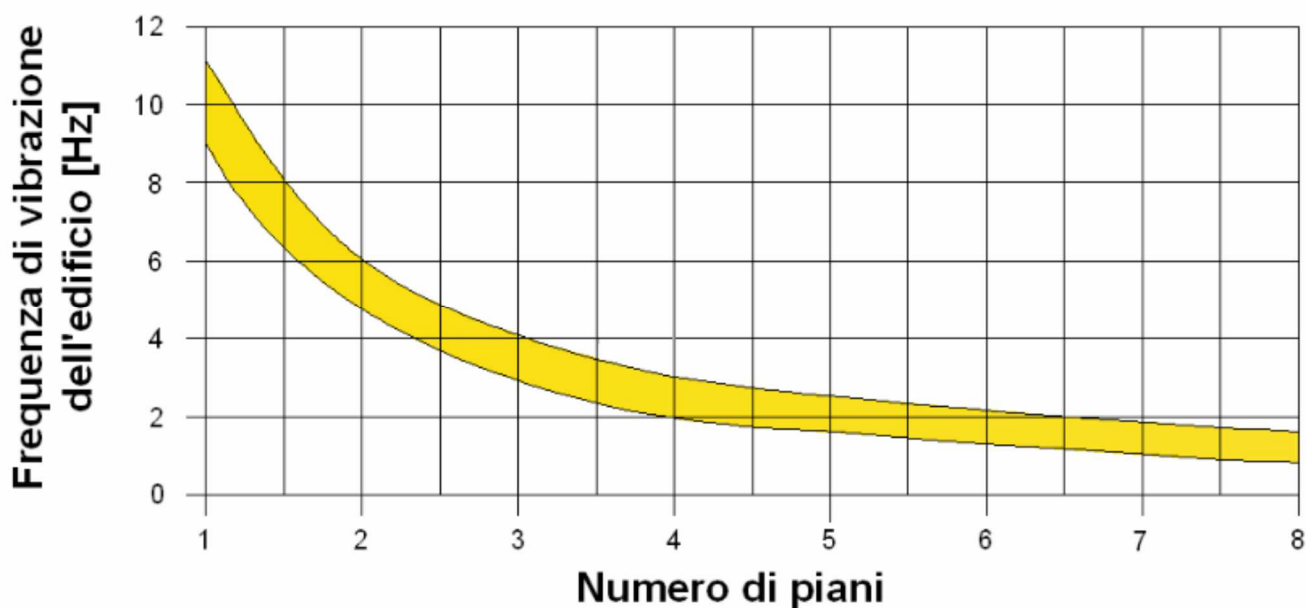
La curva definisce la frequenza **0.65 Hz** come **frequenza caratteristica di risonanza f0**.

È quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “doppia risonanza”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

è la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione sismica.



4.0 Definizione della categoria di sottosuolo

Dalla misura effettuata nel sito si è potuto valutare l'andamento della curva H/V (Figura 4). Tramite il modulo *Dinver* è stato possibile ricostruire l'andamento sismo – stratigrafico del sito.

Come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. 2018, per l'assegnazione della categoria di sottosuolo è stato stimato il valore del parametro V_s equivalente che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S in profondità fino al raggiungimento del substrato (dal punto di appoggio piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione

Dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (NTC18):

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

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

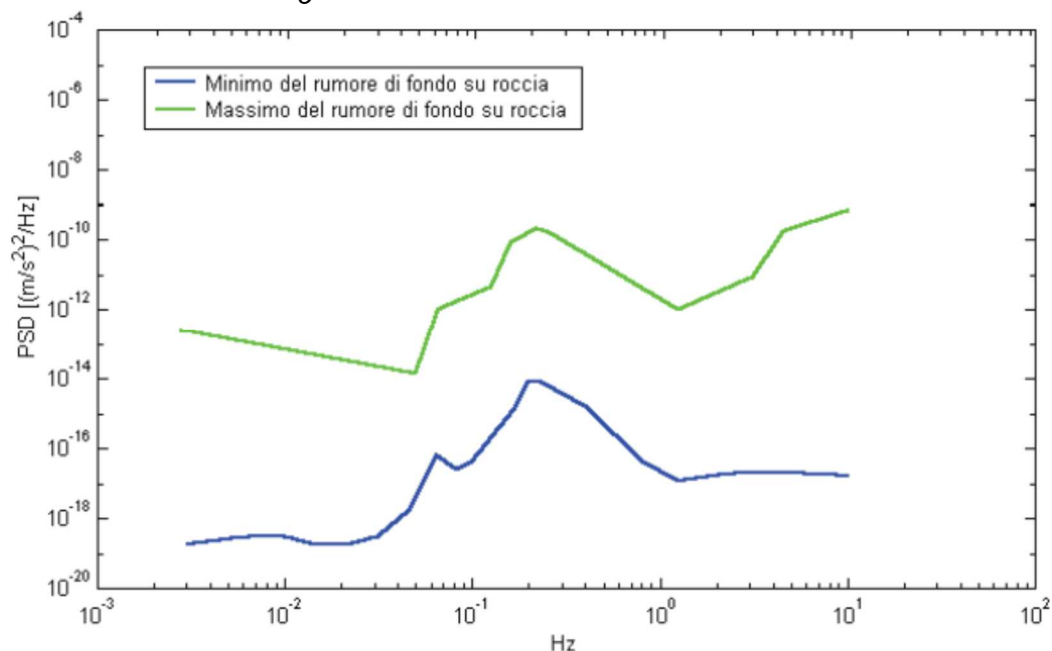
Alla luce del quadro geofisico emerso e del calcolo della $V_{s,eq}$ il sito ricade nella **categoria C**.

APPENDICE

TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA

Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura seguente. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o 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.



-Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

La tecnica impiegata. Cenni storici.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità è dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 fr)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle

caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{x-1}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di V_s è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la V_s del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2008).

Riferimenti

Castellaro S. and Mulargia F., (2009). The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.* (accepted).

Fäh D., Kind F. and Giardini D., (2001). A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.* **145**, 535-549.

Ibs-von Seht M. and J. Wohlenberg, (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **89**, 250-259.

Lachet C. and P. Y. Bard, (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth* **42**, 377-397.

Lermo J. and F. J. Chavez-Garcia, (1994). Are microtremors useful in site response evaluation, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **84**, 1350-1364.

Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., (2007). Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. *Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie*

Nakamura Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTI*, **30**, 25-33.

Nogoshi M. e Igarashi T., (1970). On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japa*, **23**, 264-280.