

Relazione Geologica

Comune di Milazzo

Città Metropolitana di Messina

Oggetto: “Variante Urbanistica del P.R.G. in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania Sez. IV n. 538/2021 su ricorso n. 1118/2020 per un lotto di terreno individuato in catasto al Foglio n. 12 part. 1804 del Comune di Milazzo”

Committente: **Ing. Formica Daniela**

geologo Sindoni Angela Carmela

via F. Agnello, 18 - Venetico - (ME) - Mobile: 333 3547315 - P.I.: 03027810831
e-mail: angela.sindoni@tiscali.it - pec: angela.sindoni@epap.sicurezzapostale.it

SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Quadro Geomorfologico	5
3. Quadro Geologico	15
3.1. Contesto geologico generale	16
3.2. Contesto geologico di dettaglio	19
3.3. Contesto geologico locale	21
4. Quadro Idrogeologico	24
5. Quadro Litotecnico	27
5.1. Condizioni Litotecniche locali	27
6. Quadro Sismico	28
6.1. Sismicità del territorio	28
6.2. Sismicità dell'area e classificazione sismica	34
6.3. Sismica di base	38
7. Pericolosità Geologica	60
8. Pericolosità Sismica	61
9. Suscettività all'Edificazione	64
10. Conclusioni	65

Allegati

Allegato n.1: Indagini Geofisiche

Allegato n.2: Carta della Pericolosità Geomorfologica

Allegato n.3: Carta della Pericolosità Sismica

Allegato n.4: Carta della Suscettività all'Edificazione

1. Premessa

A seguito dell'incarico conferitomi dal Ing. Daniela Formica, la sottoscritta Geol. Angela Carmela Sindoni, iscritta all'Albo Regionale dei Geologi di Sicilia con il numero 2987 sez. A, con studio professionale sito in Via F. Agnello n. 18 in Venetico (ME), nel mese di Maggio 2023, ha eseguito uno studio finalizzato alla verifica di fattibilità geologica della *“Variante Urbanistica del P.R.G. in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania Sez. IV n. 538/2021 su ricorso n. 1118/2020 per un lotto di terreno individuato in catasto al Foglio n. 12 part. 1804 del Comune di Milazzo”*.

La presente relazione è stata redatta ai sensi della **Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014, “Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici”**, al fine di *“fornire le informazioni sulle caratteristiche geologiche del territorio utilizzabili in sede di formazioni/adeguamento degli strumenti urbanistici....”*.

“Gli studi geologici propedeutici agli strumenti urbanistici devono essere finalizzati a:

- a) fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche geologiche del territorio in esame e identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità geologica tali da poter influenzare, in modo significativo, le scelte degli strumenti urbanistici;*
- b) indicare le prescrizioni e gli accorgimenti tecnici affinché tali condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nelle zone di nuova urbanizzazione”*

Alla luce di ciò è stata eseguita una prima fase denominata *“Preliminare”* dove è stata compiuta una raccolta dati e di informazioni esistenti ed un accurato rilievo di superficie che ha consentito di valutare le caratteristiche geomorfologiche, geologiche

e idrogeologiche per un intorno territoriale adeguatamente esteso al di fuori dell'area interessata da variante urbanistica al P.R.G.

La successiva fase denominata di *"Dettaglio"* ha avuto come obbiettivo l'analisi del territorio ai fini della mitigazione degli impatti sulla suscettività geologica del territorio. Nello specifico sono state eseguite delle indagini sismiche consistenti nella realizzazione di una prova MASW ed in un'indagine HVSr (*Allegato n.1 – Indagini Geofisiche*) al fine di inquadrare la zona in esame dal punto di vista sismico secondo quanto disposto nella **Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014, "Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici"** ed in linea con **D.M. del 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"**.

Inoltre sono state riportate le informazioni fornite dal **Piano Stralcio di Bacino per l'assetto Idrogeologico** (di seguito PAI), riferite al sito in oggetto.

L'analisi comparata della carta geologica, geomorfologica idrogeologica unitamente alle informazioni stratigrafiche, litotecniche e sismiche ha consentito di poter elaborare le carte di sintesi così come previsto dalla Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014, "Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici" (*Allegato n.2: Carta della Pericolosità Geomorfologica, Allegato n.3: Carta della Pericolosità Sismica, Allegato n.4: Carta della Suscettività all'Edificazione*).

2. Quadro Geomorfologico



Figura n.1: Aerofotogrammetria del sito in oggetto

L'area, oggetto del presente studio, si localizza nella porzione orientale del versante settentrionale della Sicilia, in provincia di Messina, all'interno del Comune di Milazzo, e precisamente nella Frazione di S. Pietro, in via Policastrelli.

L'area si colloca in cartografia sulla tavoletta "Milazzo" I S.O. Foglio 253, in scala 1:25.000, della Carta d'Italia edita dall'I.G.M.

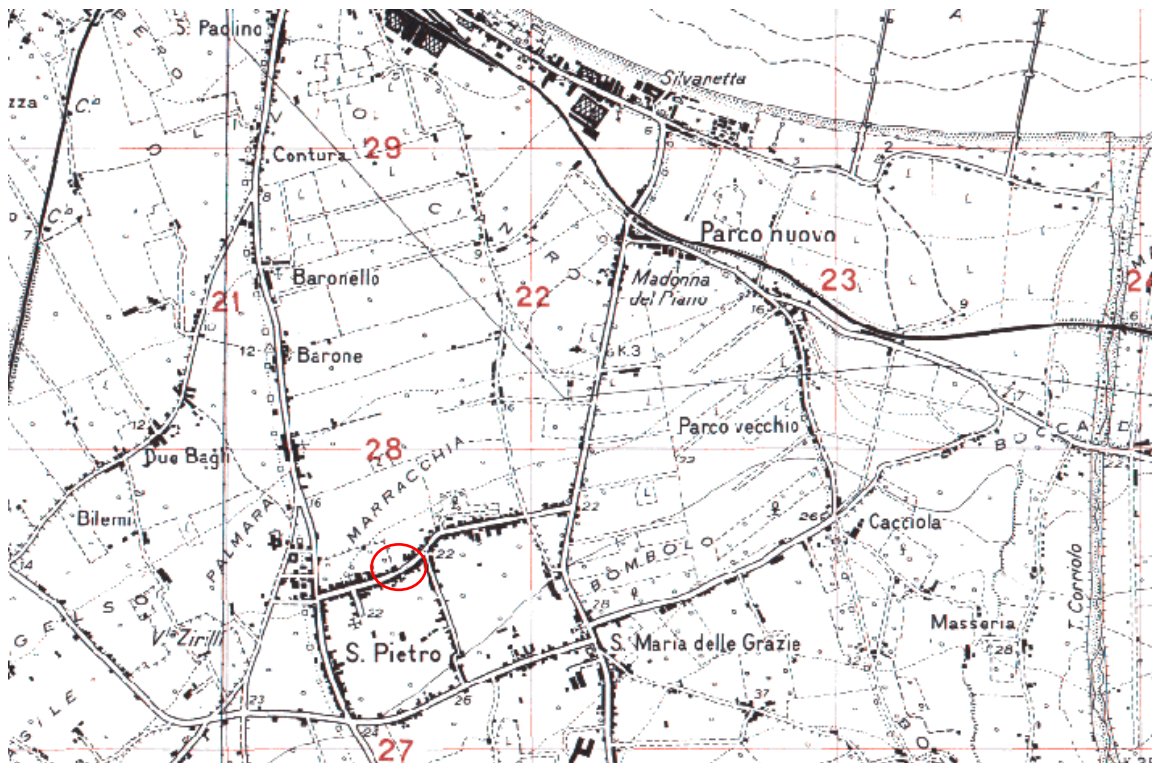


Figura n.2: Stralcio Carta IGM

Di seguito vengono riportate le coordinate geografiche indicative dell'area in esame:

- **Latitudine:** 38.194828°
- **Longitudine:** 15.245505°

Inoltre è individuato in Catasto al Foglio 12 part. 1804 del Comune di Milazzo.

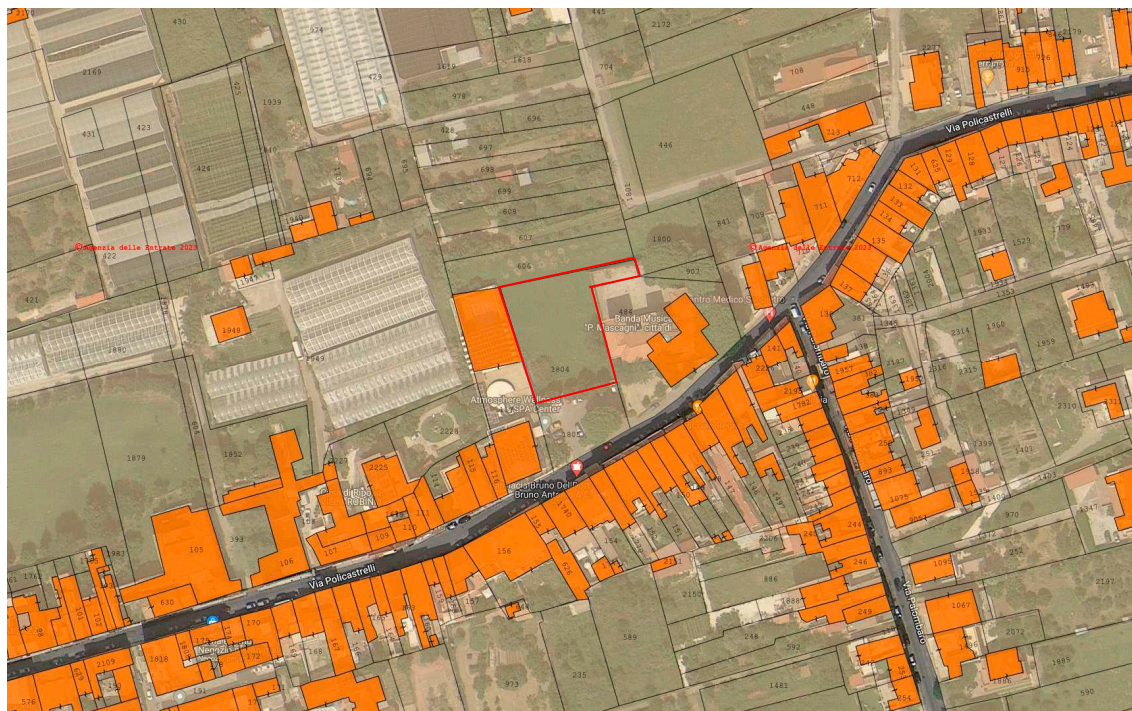


Figura n.3: Sovrapposizione Catastale e Aerofotogrammetria

Il sito in oggetto ricade nella Frazione S. Pietro del Comune di Milazzo, ad una quota di circa 19 m sul livello del mare e distante dalla linea di costa della Riviera di Levante o Golfo di Milazzo circa 1.8Km e 2.0Km dalla Riviera di Ponente o Golfo di Patti.

L'area è inserita in un contesto mediamente urbanizzato, in prossimità di una delle viabilità principali. Qui il territorio è caratterizzato dalla presenza di edifici addossati gli uni agli altri lungo la strada comunale, Via Policastrelli, che rappresenta una delle arterie principali del centro abitato che collega la SP8bis alla SP72. Alle spalle degli edifici, a confinare con i vari cortili retrostanti, sono presenti lotti verdi, taluni coltivati secondo le colture dei luoghi.

Morfologicamente il sito è inserito in un contesto più ampio dettato dalla presenza di un'ampia pianura con una leggera pendenza verso le aree costiere: la Pianura di Milazzo. La formazione di questa ampia spianata alluvionale è da ricercarsi negli eventi dinamici complessi, che si sono avvicendati nel tempo e che si possono sintetizzare nei

processi naturali di esondazione, erosione e deposizione di sedimenti, ai quali si aggiunge l'attività antropica con opere di sbarramento e canalizzazione delle acque, che hanno subito profonde modificazioni antropiche in conseguenza dell'intenso sfruttamento a fini agricoli dell'area e della urbanizzazione. Di fatti tali canali, denominate *Saie*, rimangono caratterizzate da modesti valori di pendenza e si posizionano lungo percorsi che spesso seguono i confini delle proprietà o strutture di viabilità.

Soprattutto è importante che le condizioni idrogeologiche dell'area non vengano intaccate, e che per tale area venga applicato il principio di invarianza idrologica e idraulica.

L'impermeabilizzazione del territorio rappresenta la principale causa di degrado del suolo, in quanto comporta un rischio accresciuto di inondazioni, accelera i cambiamenti climatici, minaccia la biodiversità, provoca la perdita di fertilità nei terreni agricoli e contribuisce alla progressiva distruzione del paesaggio, soprattutto quello rurale. Difatti l'applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica mira a razionalizzare il deflusso delle acque meteoriche verso le reti di drenaggio (naturali e artificiali) e ridurre il rischio idraulico nel territorio.

L'invarianza idraulica ed idrologica rappresentano dunque gli obiettivi da raggiungere per mantenere invariato il bilancio idraulico e idrologico di un territorio in trasformazione, a causa della perdita di permeabilità, e per scongiurare il rischio di inondazione a valle e/o nei dintorni delle aree trasformate.

Quale principale misura da incentivare per il contrasto all'impermeabilizzazione dei suoli, dovrà essere considerata, in prima istanza, la possibilità di ridurre il consumo di suolo nelle aree di trasformazione privilegiando, ad esempio, lo sviluppo di un'edilizia in verticale, qualora compatibile con i vincoli paesaggistici e sismici, migliorando le condizioni di permeabilità superficiale e prescrivendo, quale ulteriore misura di

compensazione, la conversione di suoli abbandonati da rigenerare e riqualificare in aree a verde “permeabili” all’interno dello stesso bacino di drenaggio.

Appurata la reale necessità delle aree in trasformazione (da permeabili a impermeabili), si procederà alla verifica della possibilità di raccolta delle acque piovane (da tetti, piazzali, aree/canali di scolo) da riutilizzare nella stessa area, tenendo conto dei reali fabbisogni idrici, degli adeguati trattamenti necessari e dei vincoli per gli usi compatibili (irrigazione, antincendio, pulizia aree esterne, ecc.). Le soluzioni di drenaggio urbano sostenibili e di ritenzione naturale delle acque, quali l’infiltrazione nel suolo, la laminazione e lo scarico in corpo idrico superficiale, suolo o fognatura, andranno dunque studiate solo a seguito delle precedenti verifiche (limitazione delle aree impermeabili e riuso locale). Per ognuna delle soluzioni progettuali proposte, dovrà anche essere elaborato un piano di manutenzione delle opere (idrauliche e agro-forestali).

Tali considerazioni devono essere opportunamente valutate in funzione delle opere edili che verranno realizzate nel sito oggetto di Variante Urbanistica del P.R.G. inquanto l’obiettivo dell’invarianza idraulica e idrologica è, dunque, quello di garantire che il valore del coefficiente udometrico, nella situazione *post operam*, rimanga immutato rispetto alla situazione *ante operam*. Per contrastare tale fenomeno, ogni trasformazione urbanistica o edilizia che provochi una variazione di permeabilità superficiale, dovrà prevedere specifici interventi di mitigazione e compensazione volti a mantenere costante il coefficiente udometrico, secondo il “principio dell’invarianza idraulica e idrologica”, utilizzando misure sostenibili e naturali di ritenzione e infiltrazione delle acque pluviali.


CARTA GEOMORFOLOGICA

scala 1:5000



LEGENDA

 AREA GEOMORFOLOGICAMENTE STABILE
Pianura Alluvionale

 Segni convenzionali
Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.

Secondo la classificazione per le condizioni topografiche, proposta dal D.M. 17/01/2018, per configurazioni superficiali semplici, si può adottare la seguente classificazione:

Classe	Descrizione
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 $i > 30^\circ$

Tabella n.1: Classificazione topografica secondo il D.M. 17/01/2018

Considerate le caratteristiche topografiche, la fascia in oggetto rientra nella categoria

T1 - “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”.

Chiaramente, la morfologia osservata è funzione delle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti data da depositi alluvionali terrazzati originatisi dalla continua erosione di materiale dai rilievi di origine prevalentemente metamorfica, seguita dal trasporto e dalla deposizione durante gli eventi alluvionali che coinvolgevano i vicini Torrente Corriolo e Torrente Mela, che distano entrambi dal sito circa 2.3 Km, e successivamente rimaneggiati del Mar Tirreno.

Difatti la significativa estensione della Piani di Milazzo è da ricercarsi sicuramente nelle particolari condizioni strutturali in cui si trova. Un ruolo importante lo gioca la presenza della protezione del promontorio di Capo Milazzo unitamente alla ridotta distanza di sbocco dei Torrenti Mela e Corriolo.

Entrambi gli elementi idrografici presentano le caratteristiche delle fiumare dell’arco calabro peloritano contraddistinti dall’avere i corsi d’acqua di ridotta lunghezza e pendenza notevole, soprattutto nella parte medio-alta del bacino, dove l’elevato trasporto solido è tale da assumere, in alcune porzioni, il carattere di colata di detrito. Di contro, nel tratto medio-terminale registrano una pendenza relativamente bassa e il letto ghiaioso-ciottoloso, molto ampio e apparentemente sproporzionato, a

testimonianza dell'impetuosità delle portate di piena. Difatti il regime idrologico è marcatamente torrentizio, strettamente dipendente dalla distribuzione delle precipitazioni. Qui la peculiarità del regime pluviometrico è fortemente influenzata dall'orografia e dalla presenza di venti di nord-ovest, apportatori di masse umide provenienti dal Mar Tirreno. La catena montuosa Peloritana che si estende a ridosso del mare rappresenta un ostacolo fisico esercitando un effetto barriera nei confronti delle masse provenienti dal Tirreno. Se a sud, l'assetto geo-strutturale è caratterizzato dalla presenza di una fascia montana con una morfologia aspra e accidentata con rilievi costituiti da rocce cristalline dell'Unità dell'Aspromonte, scendendo verso valle se ne attraversa una intermedia di raccordo tra la zona montana e quella costiera, quest'ultima indicata come la fascia litoranea con un andamento decisamente più pianeggiante.

Il sito d'interesse, ricade all'interno dell'area tra i bacini del Torrente Mela e del Torrente Corriolo, ed è individuato nella cartografia PAI con il riferimento 006b_600030.

Dall'analisi delle cartografie allegate è emerso che il sito in oggetto, non viene evidenziata la presenza di pericolosità e/o rischi di natura geomorfologica in genere.

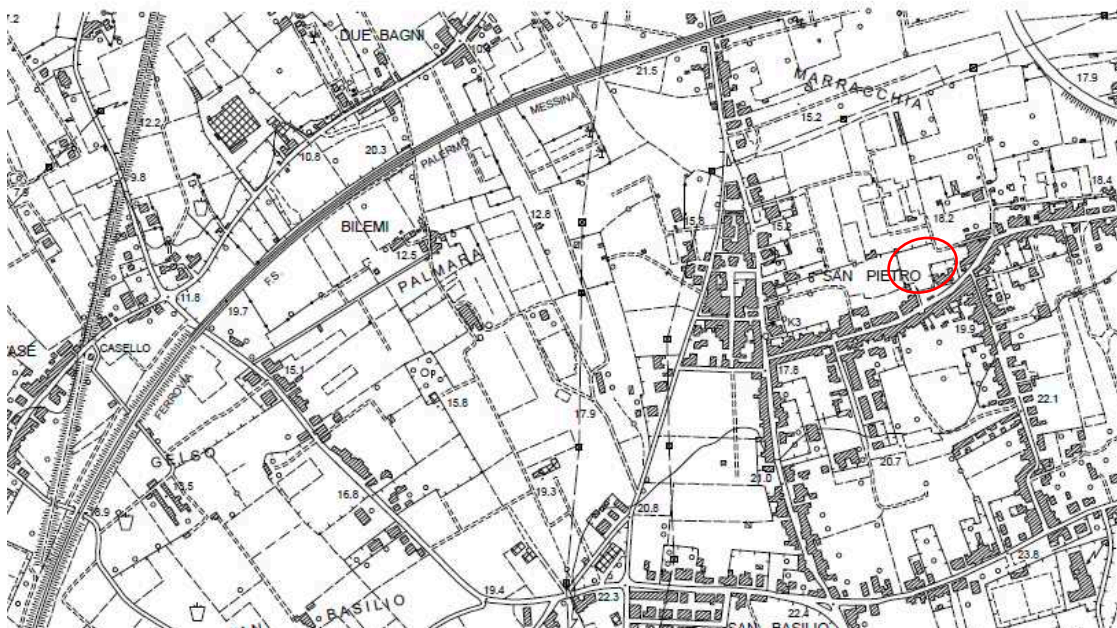


Figura 4: Stralcio carta delle pericolosità e del rischio geomorfologico

Inoltre dai rilievi di superficie, allo stato attuale, non è possibile evidenziare né elementi morfogenetici attivi, né alcun fattore che in atto influenza negativamente la stabilità dell'area.

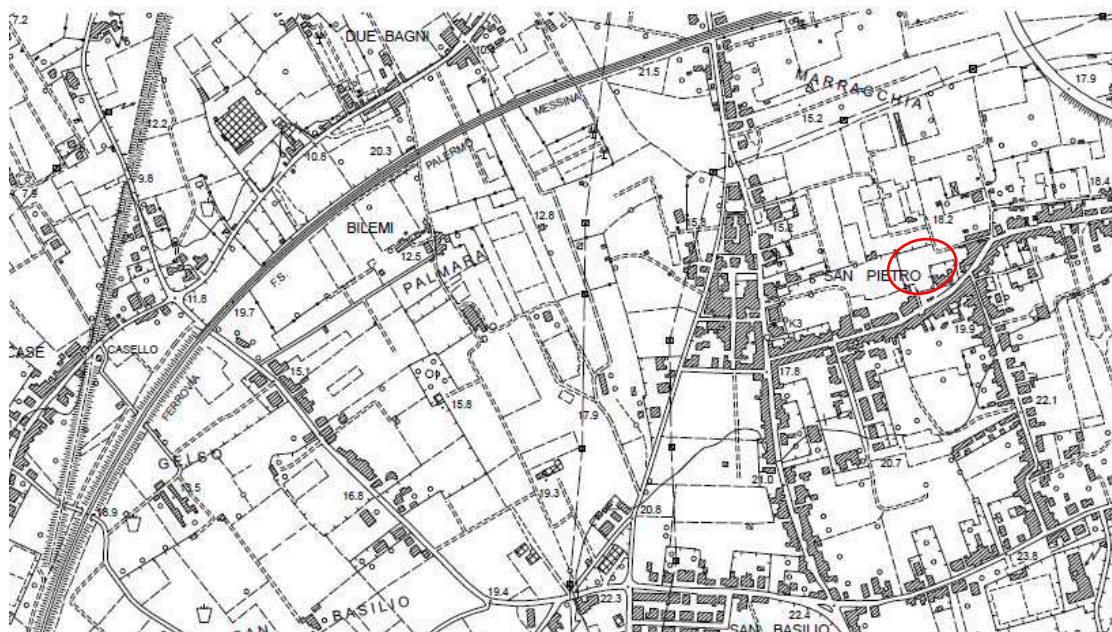
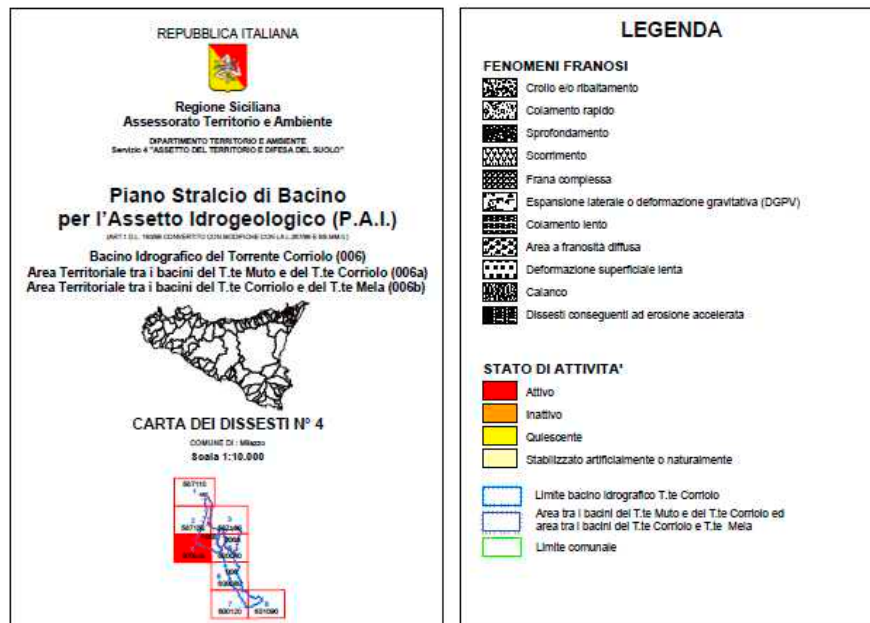


Figura 5: Stralcio carta del dissesto

3. Quadro Geologico

La Sicilia costituisce l'area di raccordo tra la catena Appenninica e le Maghrebidi Tunisine. Essa è limitata verso nord dal bacino Tirrenico, area sottoposta ad assottigliamento crostale a partire dal Tortoniano (Moussat et al., 1985; Malinverno & Ryan, 1986; Rehault et al., 1987) per processi di estensione (Giunta et al., 2000°, Nigro & Renda, 2001-2004) e trascorrenza di significato regionale (Nigro, 1998; Giunta et al., 2000b), e verso sud dal Canale di Sicilia, area di avampaese sottoposto a processi transtenzionali di rifting intraplacca (Reuther & Eisbacher, 1985; Grasso & Reuther, 1988; Reuther, 1989).



Figura n.6: Carta Geologica della Sicilia

3.1. Contesto geologico generale

L'orogene siciliano, disposto in senso O-E, è composto da un gruppo di unità tettoniche, per lo più scollegate dal proprio substrato, derivanti dalla progressiva deformazione, rotazione e traslazione di successioni rocciose deposte in differenti domini paleogeografici.

La catena mostra una culminazione nei settori nord-occidentali dell'isola ed una depressione in quelli nord-orientali. L'avanfossa pleistocenica affiora lungo una fascia ristretta tra Gela e Catania, e la sua prosecuzione più occidentale è conosciuta nei settori marini sommersi di Gela. Le successioni mesozoico - terziarie iblee che costituiscono l'avampaese Siculo-Maghrebide affiorano nelle porzioni sud-orientali dell'isola ed appaiono fisicamente connesse con le successioni deformate che danno luogo alle unità tettoniche che affiorano in Sicilia occidentale (Monti di Trapani e di Sciacca). In queste aree, tali unità compongono il settore esterno Siculo-Maghrebide, limitate verso oriente da un allineamento orientato circa N-S, che si snoda dal settore occidentale dei monti di Palermo fino a Sciacca, oltre il quale affiorano unità tettoniche intensamente deformate.

Il territorio oggetto del presente studio, ricade nel settore Nord-orientale dei Monti Peloritani. Geologicamente questo settore rappresenta l'estremo lembo meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano che, risulta tettonicamente sovrapposto (AMODIO MORELLI et al., 1976) ed in parte sovrascorso lungo la congiungente Taormina - S. Agata Militello ("Linea di Taormina" di SCANDONE et al., 1974), sui terreni che costituiscono l'ossatura dei Monti Nebrodi, definiti Maghrebidi siciliane, a testimonianza di una continuazione dei rilievi del Maghreb (GIUNTA, 1991). Secondo la tesi di Nigro, 1994a, 1994b, la "Linea di Taormina" è intesa come una superficie strutturale superficiale, con una inclinazione variabile e riconducibile ad un fronte di sovrascorrimento. I Monti Peloritani, in linea con l'Arco Calabro-Peloritano, sono costituiti da estesi affioramenti di rocce ignee e metamorfiche di età ercinica che non

mostrano alcun riscontro nel resto delle Maghrebidi siciliane. In particolare, in questa catena montuosa, è chiaramente rappresentato un complesso edificio tettonico a falde di ricoprimento, chiamato in letteratura “Complesso Calabride” (OGNIBEN, 1960;1969) caratterizzato da diverse unità stratigrafico-strutturali a vergenza meridionale, accavallate sulle unità più interne delle Maghrebidi siciliane (Flysch di Monte Soro).

Nelle unità tettoniche più profonde di questo edificio, che affiorano sui versanti meridionale ed occidentale dei Monti Peloritani, sono visibili le falde a basamento semimetamorfico ercinico con lembi di originarie coperture sedimentarie mesocenozoiche.

Diversamente nel settore settentrionale dei Monti Peloritani affiorano le unità tettoniche geometricamente più elevate, rappresentate da falde cristalline di età ercinica, costituite da terreni di grado metamorfico più elevato e da plutoniti.

Recentemente è stata individuata una nuova unità tettonica alpina denominata “Unità del Mela” (MESSINA et al., 1996a; MESSINA et al., 1997), i cui litotipi erano precedentemente accorpati nell’Unità dell’Aspromonte. Secondo gli studi di Borghi et al. (1995), essa è costituita da paragneiss passanti a micascisti con intercalazioni di metabasiti e marmi a silicati e dunque da un complesso di rocce di medio grado metamorfico. Questa unità affiora lungo una fascia con direzione E-O da Giampiglieri Marina sulla costa ionica fino a Capo Calavà in quella tirrenica, geometricamente interposta tra la sovrastante Unità dell’Aspromonte e la sottostante Unità di Mandanici. Talvolta però, tale formazione affiora a luoghi in contatto tettonico sulla prima.

L’edificio così strutturato sovrascorre i terreni della Catena Appennino-Maghrebide nel Miocene inf. - medio, originando una serie di piccoli bacini che ospitano la sedimentazione della Formazione del Flysch di Capo d’Orlando (Formazione di Stilo-Capo d’Orlando secondo BONARDI et al., 1980), interrotta dalla messa in posto della falda costituita dalle Argille Variegate Cretacico-Eoceniche, denominata “Antisicilide”

(OGNIBEN, 1960). Esse rappresentano il prodotto di un ricoprimento tettonico caratterizzato da una vergenza opposta rispetto a quella generale, sud-vergente, delle varie Unità Calabridi. Secondo Carmisciano e Puglisi, 1979 e Carmisciano et al., 1981, al di sopra delle Argille Variegate Antisicilidi si rinvergono le successioni mioceniche (Calcareniti di Floresta e sovrastanti argille marnose con intercalazioni di calcareniti) a testimonianza di una ripresa della sedimentazione, interrotta durante la messa in posto della falda antisicilide.

Segue una successione sedimentaria post-orogena, depostasi in seguito alla fase tettonica distensiva tortoniana, che presenta alla base una spessa successione di depositi terrigeni in facies di ambiente costiero-deltizio con ripetuti orizzonti conglomeratici, composti da elementi derivanti da tutte le Unità Calabridi, passanti verso l'alto e lateralmente ad un'alternanza arenaceo-argillosa. Verso l'alto e in modo discontinuo si osservano terreni evaporitici, connessi al progressivo prosciugamento che caratterizzò l'intero Bacino del Mediterraneo durante il Messiniano, che nell'area Peloritana sono rappresentati principalmente da calcari e brecce calcaree. Questi sono sormontati trasgressivamente da un deposito pelagico, composto da marne e marne sabbiose in facies di "Trubi", deposti all'inizio del Pliocene, durante la fase di risalita del livello del mare che segue la fine della crisi di salinità. Al di sopra, si passa alla sequenza del Pliocene sup.-Pleistocene inf. che fa seguito alla fase tettonica medio-supra pliocenica. Tali depositi sono costituiti principalmente da calcareniti organogene, calcari e brecce a coralli, sabbie ed argille. La successione prosegue con la Formazione delle "Sabbie e Ghiaie di Messina", del Pleistocene medio, una facies transizionali da marine a continentali, che vanno a colmare depressioni morfologiche preesistenti, quali paleovalli e/o canyon sottomarini. Tale formazione consiste e in un deposito fluvio - deltizio dato da sabbie e ghiaie grossolane poligeniche clinostratificate che ricopre trasgressivamente tutti i termini sottostanti e va a sigillare i principali lineamenti morfotettonici.

3.2. Contesto geologico di dettaglio

Il rilevamento geologico di dettaglio è stato esteso ad un'area più ampia di quella di stretto interesse progettuale, al fine di avere una visione più adeguata del contesto geologico nel qual ricade il sito in oggetto. Dai dati ricavati, confrontati con quanto presente in letteratura è stato possibile distinguere i litotipi affioranti in:

Depositi Costieri: Costituiti essenzialmente da ghiaie e sabbie medie-grossolane e ciottoli ben selezionati. Tale deposito varia sensibilmente da luogo a luogo ed è suscettibile a cambiamento in modo stagionale, secondo l'azione delle correnti lungo la costa e dall'azione del moto ondoso. L'età Olocene – Attuale.

Depositi Alluvionali: Sono costituiti da ghiaie e ciottoli immersi in matrice sabbioso-limosa, sabbie e ghiaie e disposti in modo lentiforme con passaggi di facies laterali. Rappresentano il prodotto della sedimentazione fluviale e rielaborazione ad opera delle acque dei torrenti, dei materiali erosi a monte e trasportati durante le piene, e nelle porzioni più interne.

Tali coltri presentano una distribuzione di litotipi assai varia, con materiali granulometricamente molto eterogenei, che costituiscono lenti talora ridotte in senso areale con frequenti variazioni eteropiche di facies litologiche e interdigitazioni. L'organizzazione interna di tali depositi riflette il caratteristico regime deposizionale e il complesso processo evolutivo dei vicini corsi d'acqua. Ciò causa il ritrovamento di associazioni granulometriche molto variabili da punto a punto, con passaggi da una associazione all'altra sia repentini che gradualmente. In definitiva, si ha, una serie di contatti eteropici ad andamento irregolare e quindi non facilmente prevedibile.

Tale litologia giace in discordanza sui terreni sottostanti a profondità fortemente variabile con un aumento da monte verso mare ed in prossimità del centro delle valli.

Di fatti rappresentano il litotipo affiorante nel sito d'interesse. L'età Olocene - Attuale.

Depositi Marini Terrazzati: Sono costituiti da sabbie di colore ocra talora ghiaiose, limi o cineriti rossastre e ghiaie a ciottoli arrotondati e appiattiti eterometrici, per lo più cristallini, in matrice sabbiosa. L'assetto è massivo o a stratificazione poco evidente. Lo spessore varia da qualche decimetro a 3m, tendendo ad inspessirsi verso le zone più prossime alla fascia costiera. Questi depositi sono ricoperti da un orizzonte di terre bruno-ocracee o rosse e da cineriti, di probabile origine eoliana. L'età Pleistocene Medio-Superiore.

Complesso Metamorfico dell'Aspromonte: Costituito da paragneiss grigi a grana da medio-grossa a minuta e tessitura da massiva ad orientata, passanti a micascisti grigio-scuri a grana medio-grossa, con tessitura scistosa e struttura porfiroblastica. Sono metamorfiti erciniche in facies anfibolitica di AT e BP, con relitti granulitici, intruse da masse plutonitiche e da sistemi filoniani discordanti tardo -erciniche calcocaline di Al con sovraimpronta metamorfica alpina della facies scisti verdi di BP e BT a quella anfibolitica di MP e MT. L'età Pre-Paleozoico – Paleozoico.



Figura n.5: Estratto carta geologica

3.3. Contesto geologico locale

Il sito in oggetto insiste nel settore nord-orientale dei Monti Peloritani, che geologicamente rappresenta l'estremo lembo meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano, struttura arcuata che raccorda l'Appennino con le Maghrebidi siciliane.

Dal rilevamento di superficie esteso ad un'area più ampia e dalla consultazione della letteratura geologica è stato possibile ricostruire l'assetto stratigrafico e le caratteristiche litologiche della formazione presente.

Depositi Alluvionali: Trattasi di depositi che fiancheggiano i due principali corsi d'acqua, non più soggetti a rielaborazione. Rappresentano il prodotto della


sedimentazione fluviale dei materiali erosi a monte e trasportati durante le piene. La loro natura e la modalità di messa in posto spiega la presenza di una distribuzione di litotipi assai varia data da materiali granulometricamente molto eterogenei, dalle ghiaie alle sabbie e limi che costituiscono lenti talora ridotte con variazioni eteropiche di facies litologiche. Si presentano di colore bruno – tabacco e moderatamente addensati. I clasti sono costituiti prevalentemente da minerali di origine metamorfica ed in particolare da quarzo


CARTA GEOLOGICA

scala 1:5000



LEGENDA

 **DEPOSITI ALLUVIONALI**
Costituiti da ghiaie e ciottoli immersi in matrice sabbioso-limosa, sabbie e ghiaie ad assetto lentiforme con passaggi di facies laterali. Età : Olocene

 **Segni convenzionali**
Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.

4. Quado Idrogeologico

In generale l'azione delle acque superficiali si differenzia a seconda dei tipi litologici su cui ha agito o agisce, in funzione del loro differente grado di alterabilità fisica e chimica, del loro differente grado di erodibilità e del grado di acclività dei versanti.

Sulla base delle caratteristiche granulometriche, tessiturali, di addensamento, del tipo e grado di fratturazione e sua distribuzione spaziale, ecc. si è proceduto alla valutazione del tipo e grado di permeabilità relativa della successione presente. Com'è noto la permeabilità di una formazione geologica è un fattore caratteristico e si intende la capacità dei materiali a lasciarsi attraversare dai fluidi. Essa esprime la resistenza del mezzo al deflusso dell'acqua che lo attraversa e, nel moto laminare, è uguale al rapporto tra la velocità di filtrazione e il gradiente idraulico:

$$K = V/J \text{ poiché } V = Q/S \text{ si ha che } K = Q/(S * J)$$

dove:

Q = portata

S = sezione

J = gradiente

V = velocità di filtrazione

La velocità di flusso dell'acqua nel sottosuolo è direttamente proporzionale alle dimensioni dei grani del terreno e al gradiente idraulico della falda, ma tende a diminuire all'aumentare della profondità.

Tramite tale valore è possibile classificare i terreni in relazione alla permeabilità in:

Permeabilità	Valore
Alta	$K > 10^{-2} \text{ m/sec}$
Medio - Alta	$10^{-2} < K < 10^{-4} \text{ m/sec}$
Medio - Bassa	$10^{-4} < K < 10^{-9} \text{ m/sec}$
Bassa o Impermeabili	$K < 10^{-9} \text{ m/sec}$

Tabella n. 1: Valori di permeabilità

La formazione sedimentaria affiorante nell'area studiata, presenta delle condizioni di permeabilità elevata per porosità. Il litotipo in questione è dotato di "permeabilità primaria" per porosità, il cui grado è inversamente proporzionale alla quantità di materiale fine presente.

La circolazione delle acque sotterranee, e quindi l'esistenza di acquiferi più o meno estesi, è legato allo spessore ed all'estensione areale dei litotipi più ricettivi, alla sovrapposizione di questi con terreni a diversa permeabilità e all'esistenza di direttrici e contatti tettonici che possono limitare o interrompere le falde acquifere.

L'acquifero principale è contenuto nel deposito alluvionale di fondovalle e della pianura costiera dove i diversi orizzonti granulometrici che caratterizzano i depositi alluvionali costituiscono un unico sistema idrologico a tetto freatico, che defluisce verso nord sostenuto dai terreni a bassa permeabilità del substrato che assumono il significato pratico di impermeabile relativo.

La ricarica della falda è essenzialmente dovuta alle precipitazioni dirette, alle acque di ruscellamento superficiale provenienti dai versanti ed alla restituzione delle acque infiltrate nei terreni a permeabilità discontinua, che emergono naturalmente sotto forma di sorgenti e che risultano di particolare significato alla fine della stagione estiva. Sulla base di misurazioni eseguite su pozzi dislocati nelle immediate vicinanze al sito di interesse è emerso che in questo periodo il livello piezometrico della falda acquifera si attesta ad una profondità di circa -16.00 m dal pc.

Si tiene a precisare che il livello piezometrico della falda è soggetto a processi idrici di ricarica il cui andamento è connesso all'andamento delle precipitazioni atmosferiche. Ciò ne consegue che nei periodi di siccità la falda freatica tende ad abbassarsi, mentre nei periodi di maggiore piovosità, le acque vengono velocemente assorbite e trasmesse, cosicché la superficie freatica si innalza per periodi più o meno brevi facendo dunque variare il livello piezometrico.

CARTA IDROGEOLOGICA


scala 1:5000



LEGENDA

 ROCCE A PERMEABILITÀ ELEVATA PER POROSITÀ. Depositi Alluvionali

Segni convenzionali

 Direzione preferenziale del deflusso sotterraneo

 Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.

5. Quadro Litotecnico

Al fine di definire il quadro litotecnico del sito di studio è stata condotta una ricerca bibliografica mirando alla raccolta del maggior numero di informazioni circa *“lo spessore delle coltri e sulle sue caratteristiche geotecniche ... e del substrato, nonché all’acquisizione di eventuali “notizie storiche che riguardano fenomeni che hanno interessato in passato le aree in studio, quali frane, alluvioni, terremoti, ecc.”*

Di fatti è stata condotta una raccolta di informazioni riguardanti soprattutto le indagini eseguite in prossimità del luogo allo scopo di comprendere e documentare il modello geologico preliminare e i fenomeni naturali che hanno interessato l’area e che potrebbero verificarsi in futuro e le eventuali loro implicazioni nella pericolosità sismica.

5.1. Condizioni Litotecniche locali

Le condizioni litotecniche del sito d’interesse sono state valutate sulla base dei dati di letteratura e sulla base dei dati ricavati da indagini eseguite in aree limitrofe e su litotipi analoghi. L’insieme delle informazioni ha consentito la redazione della carta litotecnica in scala 1:5.000 in linea con quanto indicato nell’Allegato D della Circolare prot. 28807 del 20/06/2017, dell’Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Siciliana. Di seguito viene proposta la classificazione litotecnica del terreno affiorante:

Deposito alluvionale: Si tratta di sedimenti a grana medio fine, materiali coesivi composti da sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati e ghiaie con passaggi di facies laterali. Secondo la classificazione di riferimento, rientrano nell’**Unità Litotecnica di Copertura** definita come **G2_c** con i seguenti parametri geotecnici di riferimento di massima e di largo range:

Peso Specifico γ (Kg/m ³)	Angolo Attrito Interno α (°)	Coesione C_u (kg/cm ²)
1700 - 1900	20 - 30	0

6. Quadro Sismico

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

6.1. Sismicità del territorio

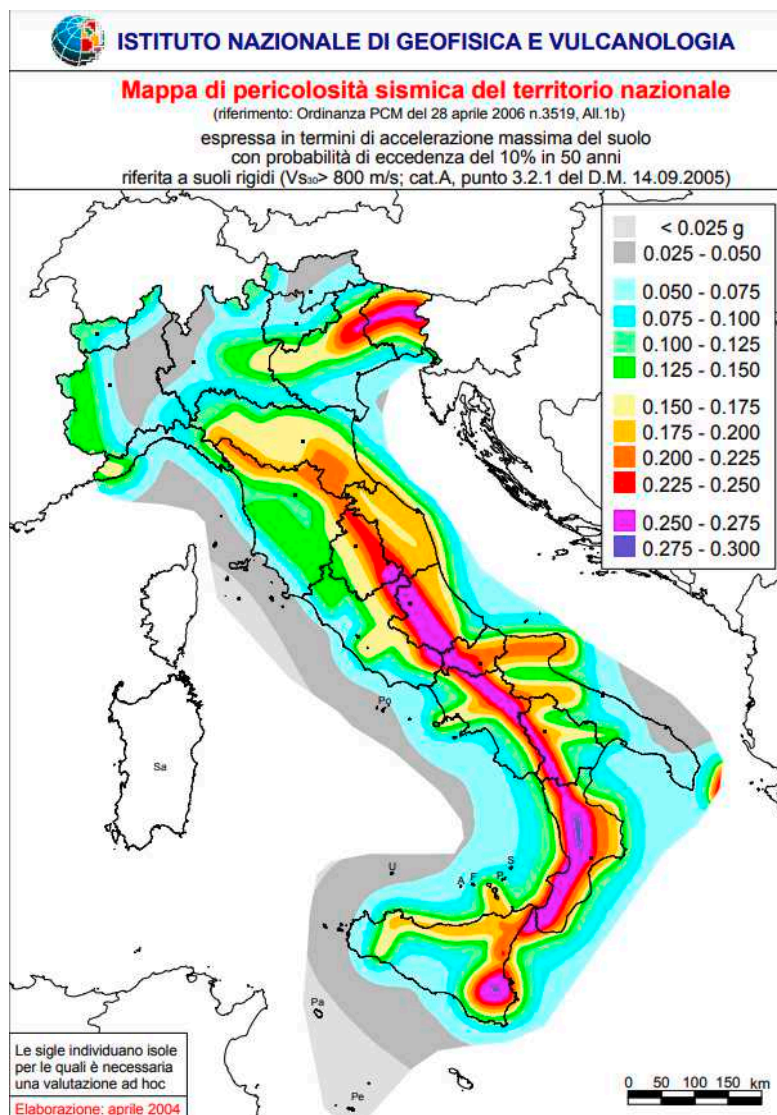


Figura n.20: Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale

Nell'Ordinanza PCM 28 aprile 2006, n. 3519 è allegata la presente mappa di riferimento dei valori di a_g utilizzabile per la classificazione sismica del territorio.

I criteri in essa contenuti si basano sui risultati di studi di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

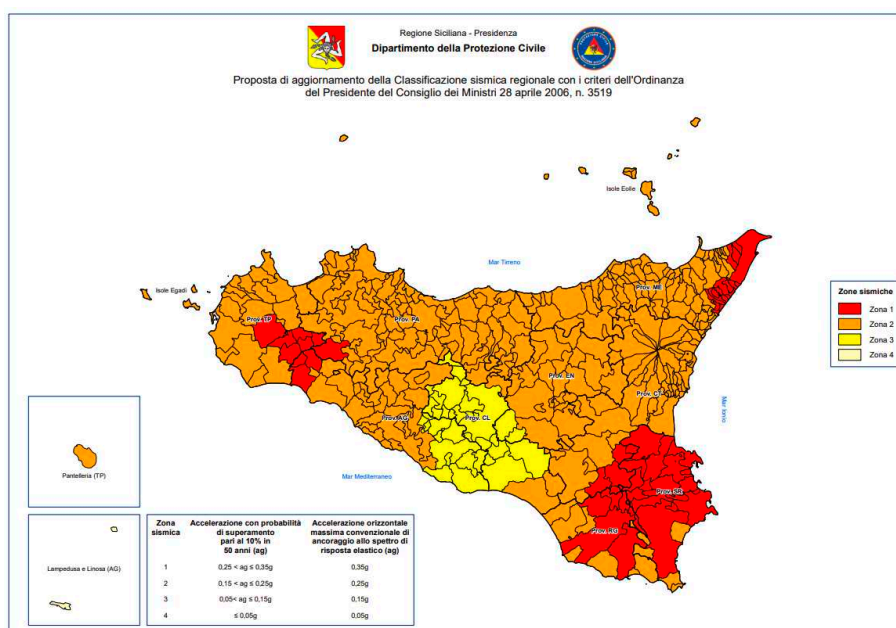


Figura n.20: Classificazione sismica della Sicilia

Nello specifico l'area dei Monti Peloritani nord-orientali è stata coinvolta in una complessa storia geodinamica legata anche alla tettonica compressiva dell'Arco Calabro – Peloritano oltre ad una tettonica distensiva che ha coinvolto la regione tirrenica.

Studi sismici in Sicilia Orientale (Barbano et Al., 1978, 1980, 1981, 1984) e sui maggiori terremoti degli ultimi mille anni (Barbano & Casentino, 1981) hanno provato che, almeno per una volta, il 48% del territorio siciliano è stato interessato da un evento sismico con intensità superiore al 9° M.S.K. 64.

Anche altri autori, come Riznichenko, 1964, individuano nella fascia orientale della Sicilia una delle aree ad elevata pericolosità sismica, oltre alla Calabria. Inoltre, gli studi rivelano che le zone più densamente popolate coincidono anche con quelle con rischio sismico più alto.

L'area peloritana pur avendo un'evoluzione tettonica specifica rispetto alle altre zone siciliane, mostra aree ad intenso sollevamento e soggette a forti tassi d'erosione come nell'adiacente Catena dei Nebrodi-Madonie. Lo studio delle faglie mostra l'esistenza di tre principali sistemi (NE-SW; WNW-ESE) che indicano movimenti di tipo "dip-slip".

Nell'area peloro-nebroidea e nell'antistante area tirrenica si registrano terremoti da superficiali ad intermedi, a profondi, questi ultimi nel solo settore occupato dalle Isole Eolie.

In effetti, gli eventi sismici superficiali si verificano, almeno per gli eventi "tettonici", nella crosta, giacché lo spessore di questa, nell'area peloro-nebroidea, risulta variante tra i 15 ed i 25 Km, ed altresì si verificano nelle porzioni più superficiali della litosfera e possono essere attribuiti ai sistemi transtensivi (Tindari-Letojanni e Messina-Fiumefreddo) oltre che a quelli distensivi (faglie peri-tirreniche). L'approfondirsi dei fuochi indica, invece, un processo ben diverso. Infatti, le sorgenti sismiche intermedie e profonde sono distribuite lungo un piano inclinato che si approfondisce sempre più verso il Tirreno. Tale evidenza viene interpretata come un processo di subduzione di zolla litosferica.

All'interno dell'area peloritana è collocato il terremoto del 1908 per il quale sono state proposte sorgenti differenti ed è stata ipotizzata l'attivazione di sistemi complessi. Nel settore peloritano occidentale di questa area, un fitto addensamento dell'attività sismica si registra sul versante tirrenico e, in particolare, lungo l'allineamento Patti-Vulcano-Salina. Questa sismicità è associabile alle strutture trascorrenti destre orientate NO-SE: ad esse è imputato il terremoto di Patti del 15/04/1978.

I terremoti dell'area Novara di Sicilia-Raccuia, invece, sembrano ascrivibili a strutture esterne all'allineamento Patti-Isole Eolie. Questi risultano essere di magnitudo più bassa ed ipocentri più superficiali. Ancora, gli eventi sismici di Naso potrebbero essere associati a faglie normali, con orientamento appenninico, che sarebbero responsabili del sollevamento della Catena.

Il territorio comunale di Milazzo è caratterizzato dalla presenza di terreni alluvionali di recente deposizione (Olocene) che rendono difficile l'individuazione di eventuali strutture tettoniche che potrebbero essere presenti nell'area. Di fatti non sono state individuate delle morfologie, quali linee di faglie di recente attivazione. Tuttavia non è possibile escludere l'eventuale loro presenza poiché potrebbero collocarvi in mare o dormienti sotto la coltre alluvionale.

Per zonazione sismica si intende un insieme di criteri geologici, geofisici, ingegneristici e sociali atti ad individuare e delimitare aree a risposta omogenea nei riguardi di calamità naturali.

In funzione dell'estensione delle aree studiate si parla di:

- *Macrozonazione*, se la scala delle aree è a livello regionale;
- *Microzonazione*, se la scala per la destinazione d'uso è a livello comunale;
- *Caratterizzazione sismica dei siti*, se la risposta è a scala di una singola struttura.

Nello studio di una Macrozonazione è importante definire qual è il periodo di ritorno riferito alla magnitudo d'interesse.

Per *magnitudo* si intende la misura quantitativa della dimensione di un terremoto e tramite una relazione, Cosentino & Lombardo (1980), legano la magnitudo macroscopica (M) all'intensità di un terremoto:

$$M = 0.52 I (M.S.K.) + 1.35$$

in cui l'intensità sismica I (M.S.K.) è legata all'intensità della scala Percalli Modificata (IMM) dalla relazione:

$$I (M.S.K.) = 0.94 IMM + 0.08$$

Barbano, Carrozzo, Casentino et Al., 1984, in accordo con Riznichenko 1964, sottolineano come le aree di Messina – Reggio e del Monte Etna siano ad alto rischio sismico.

Gli stessi autori in accordo con Gumbel, forniscono una tabella che lega la magnitudo al *periodo di ritorno* considerato come intervallo medio di tempo intercorrente tra un terremoto e un altro di pari magnitudo o intensità ed origine nella stessa area sismogenetica.

Per la parte Nord della Sicilia Orientale forniscono i seguenti dati:

Magnitudo	Periodo di Ritorno (anni)
3.0	4
4.0	12
5.0	39
6.0	123

Tabella 3: Valori di periodo di ritorno in funzione della magnitudo
(Barbano, Carrozzo, Casentino et Al., 1984)

Come si può ben notare, per piccoli valori di magnitudo, si hanno periodi di ritorno di circa 4 anni.

Questa correlazione mette in evidenza come a piccoli periodi di ritorno corrispondono eventi sismici di bassa magnitudo, mentre a grandi periodi corrispondono eventi con magnitudo elevata.

Stabilita la magnitudo, per un dato periodo di ritorno, si va a calcolare l'accelerazione massima per il sito posto ad una distanza R dell'ipocentro mediante la relazione:

$$a_m = (1230 e^{0.8M}) / (R + 25)^2 \text{ (cm/sec}^2\text{)}$$

Le analisi di pericolosità sismica più recenti forniscono le intensità massime attese con probabilità di superamento del 10% in 50 anni per suoli rigidi e per la Sicilia viene fornita la seguente raffigurazione:

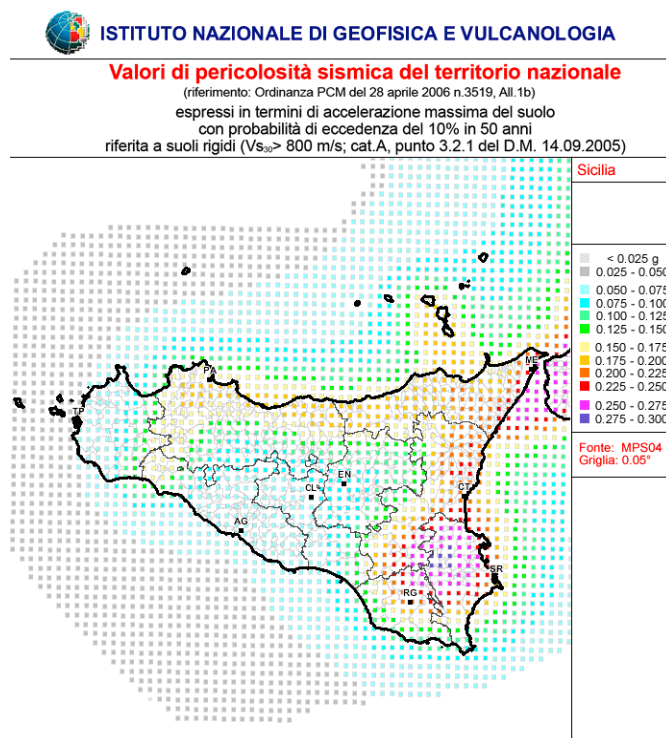


Figura n. 20: Valori di pericolosità sismica in Sicilia

Le caratteristiche sismo-tettoniche del territorio della Provincia di Messina sono note da tempo e sono ben documentate in numerosi cataloghi. In particolare, una prima determinazione della sensibilità sismica del territorio è possibile realizzarla, considerando che essa risulta direttamente proporzionale ai massimi valori di intensità macrosismica registrata nel territorio stesso.

6.2. Sismicità dell'area e classificazione sismica

Nell'area peloro-nebroidea e nell'antistante area tirrenica si registrano terremoti da superficiali ad intermedi, a profondi, questi ultimi nel solo settore occupato dalle Isole Eolie. In effetti, gli eventi sismici superficiali si verificano, almeno per gli eventi "tettonici", nella crosta, giacche lo spessore di questa, nell'area peloro-nebroidea, risulta variante tra i 15 ed i 25 Km, ed altresì si verificano nelle porzioni più superficiali della litosfera e possono essere attribuiti ai sistemi transtensivi (Tindari-Letojanni e Messina - Fiumefreddo) oltre che a quelli distensivi (faglie peri-tirreniche). L'approfondirsi dei fuochi indica, invece, un processo ben diverso. Infatti, le sorgenti sismiche intermedie e profonde sono distribuite lungo un piano inclinato che si approfondisce sempre più verso il Tirreno. Tale evidenza viene interpretata come un processo di subduzione di zolla litosferica.

All'interno dell'area peloritana è collocato il terremoto del 1908 per il quale sono state proposte sorgenti differenti ed è stata ipotizzata l'attivazione di sistemi complessi. Nel settore peloritano occidentale di questa area, un fitto addensamento dell'attività sismica si registra sul versante tirrenico e, in particolare, lungo l'allineamento Patti-Vulcano-Salina. Questa sismicità è associabile alle strutture trascorrenti destre orientate NO-SE: ad esse è imputato il terremoto di Patti del 15/04/1978.

I terremoti dell'area Novara di Sicilia-Raccuia, invece, sembrano ascrivibili a strutture esterne all'allineamento Patti-Isole Eolie. Questi risultano essere di magnitudo più bassa ed ipocentri più superficiali. Ancora, gli eventi sismici di Naso potrebbero essere associati a faglie normali, con orientamento appenninico, che sarebbero responsabili del sollevamento della Catena.

Milazzo

PlaceID IT_67008
Coordinate (lat, lon) 38.224, 15.240
Comune (ISTAT 2015) Milazzo
Provincia Messina
Regione Sicilia
Numero di eventi riportati 50

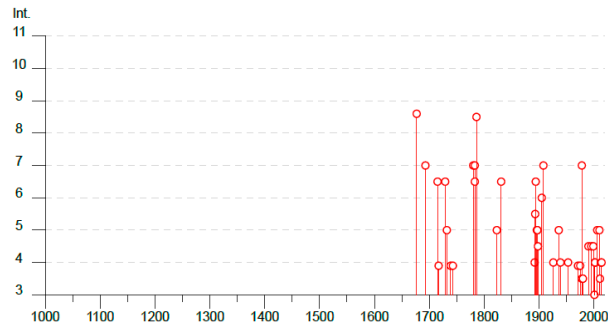
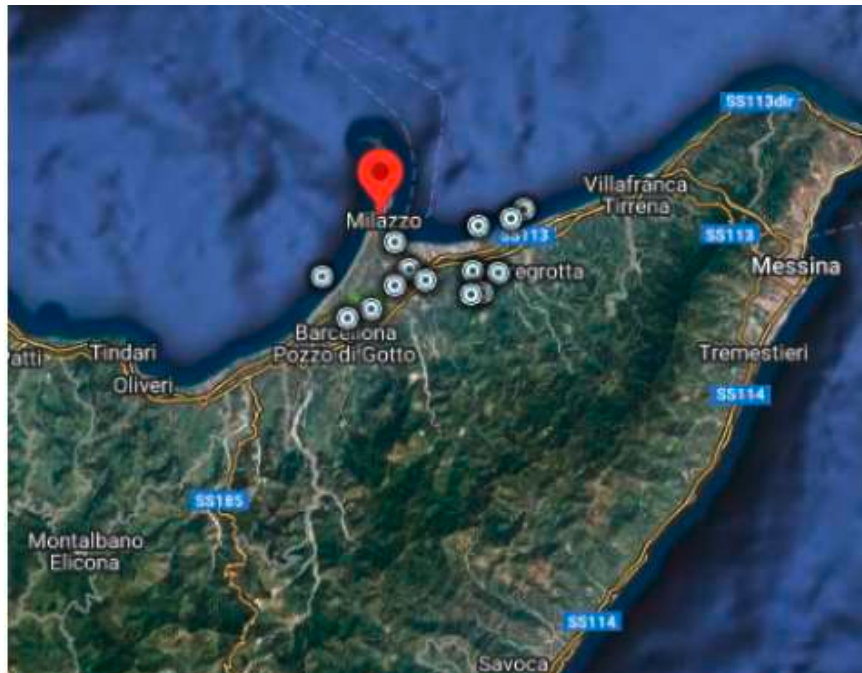


Figura n. 19: Eventi sismici con intensità compresa tra 3 e 11 fino al 2020

Di seguito viene proposta l'analisi degli eventi sismici per un intorno di 10Km da Milazzo.



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
San Pietro	1	4
Olivarella	2	6
Merì	13	7
San Filippo del Mela	15	7
Giammoro	1	7
Caldera	1	7
Pozzo di Gotto	5	8
Pace del Mela	10	8
Monforte Marina	2	9
Barcellona Pozzo di Gotto	37	9
Soccorso	1	9
Scala	1	10
Condò	10	10
Gualtieri Sicaminò	9	10

Figura n. 19: Individuazione degli eventi sismici

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Mo	Mi	Se	Area epicentrale	NMDF	Io	Mw
HD	1677	02					Milazzo	1		
7	1692	01	11	13	20		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
6-7	1715	02					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	1722	02	28				Monti Peloritani	3	5	4.16
F	1729	05	10	15	25		Monti Nebrodi	6	8	5.41
F	1742	02	20				Ionio settentrionale	24	9	6.68
7	1780	09	14				Golfo di Patti	5	7-8	5.33
7	1782	02	05	12			Calabria meridionale	256	11	7.10
6-7	1782	04	26	02	10		Sicilia nord-orientale	2	5-6	4.40
8-9	1786	02	10	14	10		Golfo di Patti	10	9	6.14
5	1822	02	05	16	27		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
6-7	1821	01	28				Milazzo	4	5-6	4.40
4	1892	02	16	12	28		Alicudi	28	7	5.24
5-6	1892	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	3	Calabria meridionale	11	5	4.27
5	1897	02	11	23	33	0	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	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
4	1926	08	17	01	42		Isole Eolie	25	7-8	5.28
5	1936	10	08	08	04		Patti	16	5-6	4.61
4	1939	01	27	20	10	1	Isole Eolie	23	7	5.10
NF	1941	05	22	06	16		Isola di Stromboli	7	7-8	5.33
4	1952	02	25	00	07	4	Vibonese	56	5-6	4.88
2-3	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
F	1971	02	03	04	53	3	Tirreno meridionale	12		4.57
F	1975	01	16	00	09	4	Stretto di Messina	246	7-8	5.18
2	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
3-4	1978	02	11	19	20	4	Aspromonte	126	8	5.22
7	1978	04	15	23	33	4	Golfo di Patti	220	8	6.02
3-4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1294	10	6.81
4-5	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1995	07	23	18	44	2	Isole Eolie	58	6	4.63
4-5	1995	08	27	19	42	1	Golfo di Patti	55	4-5	4.11
4-5	1999	02	14	11	45	5	Golfo di Patti	101		6.66
NF	2000	05	29	14	25	3	Golfo di Patti	24	4-5	3.66
3	2001	05	17	11	43	5	Tirreno meridionale	206	4	4.97
4	2002	04	05	04	52	2	Isole Eolie	21	5-6	4.49
4	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	122	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56
5	2006	02	27	04	24	0	Monti Peloritani	55	5	4.38
5	2010	08	16	12	54	4	Isole Eolie	29	5-6	4.68
3-4	2011	06	23	22	02	4	Monti Nebrodi	54	5-6	4.70
4	2012	08	15	23	06	5	Monti Peloritani	49	5-6	4.38
4	2014	01	14	03	43	4	Isole Eolie	20		4.10

Figura n. 20: Località vicine al sito per un intorno di 10Km

La classificazione sismica del territorio adottata a partire dagli anni 80 si basa sulla sismicità registrata dall'anno 1000 sino al 2020, considerando maggiormente pericolose quelle aree in cui gli eventi sismici si presentano con più frequenza

I provvedimenti relativi all'utilizzo del territorio secondo il grado di sismicità sono molteplici e tra questi il D.M. 23/09/1981 ed il D.M. 27/07/1982. In funzione delle nuove conoscenze sulla pericolosità sismica, sono state individuate le nuove zone sismiche, sulla base del documento Proposta di riqualificazione sismica del territorio nazionale.

In base a questa classificazione territoriale il Comune di Milazzo risulta inserito nella 2° categoria nonché tra i comuni con $S=9$

Con il O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 è stata effettuata la nuova classificazione sismica del territorio nazionale che viene suddiviso in 4 zone, in funzione dei valori di accelerazione orizzontale d'ancoraggio dello spettro elastico di risposta. La Regione Siciliana con delibera di Giunta Regionale n.408 del 19 dicembre del 2003 e successivo decreto del Dipartimento regionale della Protezione Civile, D. D. G. n.3 del 15 gennaio 2004, rende esecutiva la nuova classificazione sismica dei comuni della regione.

In base a questa classificazione territoriale il Comune di Milazzo risulta inserito nella Zona 2.

Con il D.D.G. del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64 è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Siciliana, redatta con i criteri dell'Ordinanza PCM 28 aprile 2006, n. 3519, la cui proposta è stata condivisa dalla Giunta Regionale con la Deliberazione 24 febbraio 2022, n. 81.

In base a questo aggiornamento nella classificazione territoriale il Comune di Milazzo rimane inserito nella Zona 2.

6.3. Sismica di base

Vita nominale di progetto

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella seguente Tabella:

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 n.4: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Se dovessimo considerare per ipotesi una tipologia di costruzione con livelli di prestazione ordinari indicati con il n.2, i valori minimi di V_n sono pari a 50 anni

Classi d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 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 DM 5/11/2001, 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.

Dove in funzione delle classi d'uso viene stabilito un coefficiente d'uso secondo la seguente tabella:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0.7	1.0	1.5	2.0

Tabella n.5: Valori del coefficiente d'uso C_u

Se dovessimo considerare una Classe d'uso II, il Coefficiente C_u risulta pari a 1.0.

Periodo di riferimento

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N * C_U$$

Nella nostra ipotesi, per un V_N pari a 50 e un C_U pari a 1.0, V_r sarà dunque pari a

$$V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Pericolosità sismica di base

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” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_{e(T)}$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Secondo le NTC 2018, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- T_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T_C , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Nel caso specifico di seguito vengono indicati i nodi del reticolo intorno al sito:

- **Latitudine:** **38.194828°**
- **Longitudine:** **15.245505°**

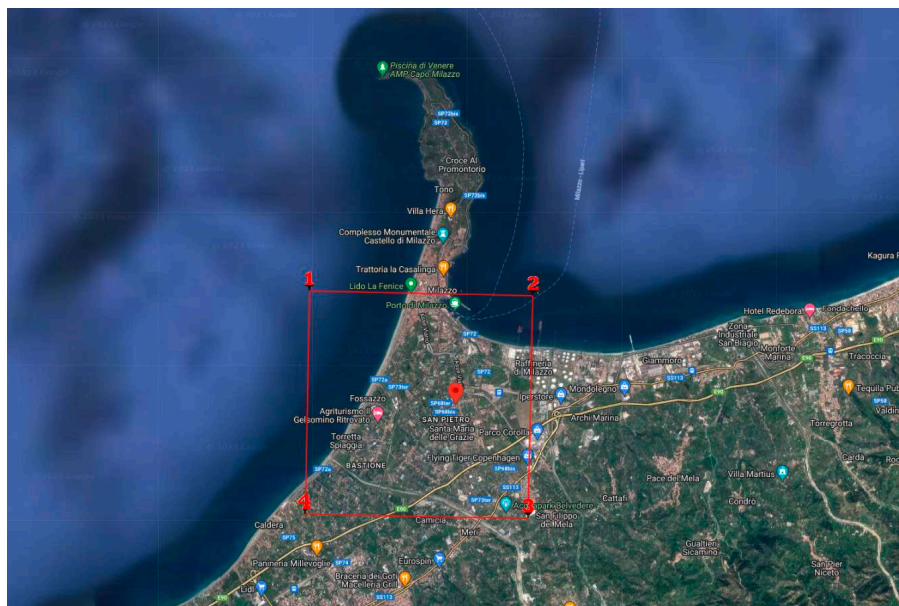


Figura n.21: Nodi del reticolo intorno al sito di nostro interesse

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione la

relazione di seguito indicata, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_1, 2$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1, 2}$. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p 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 l'espressione dell'Allegato A alle NTC2018:

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

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

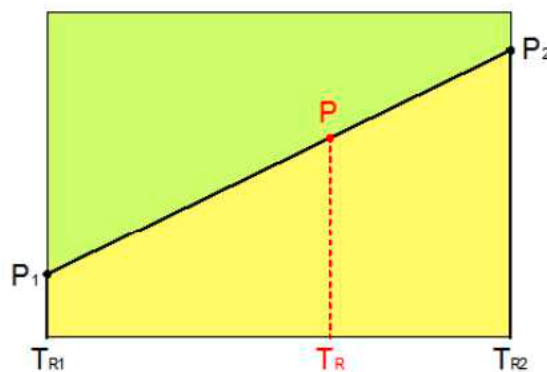


Figura n.22: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella seguente figura:

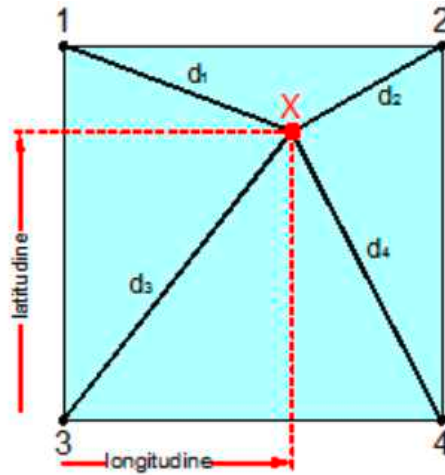


Figura n.23: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)]$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze

(scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile. Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

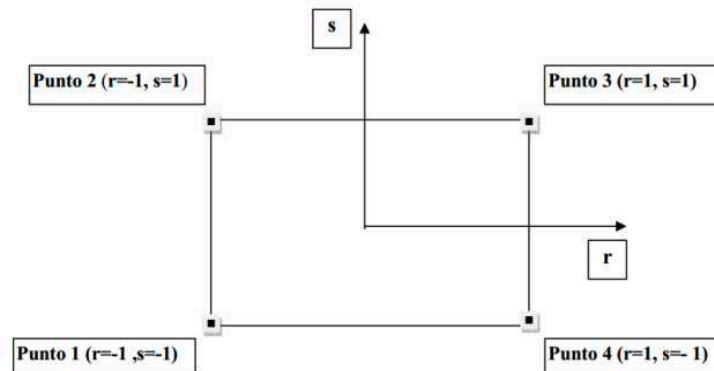


Figura n.24: Applicazione dell'interpolazione bilineare

Determinati i 4 vertici di una generica maglia i polimeri di Lagrange sono così determinati:

$$\begin{aligned}h_1 &= (1-r) \cdot (1-s)/4 \\h_2 &= (1-r) \cdot (1+s)/4 \\h_3 &= (1+r) \cdot (1+s)/4 \\h_4 &= (1+r) \cdot (1-s)/4\end{aligned}$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri a_g , F_0 , T_c * dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

Nel caso specifico:

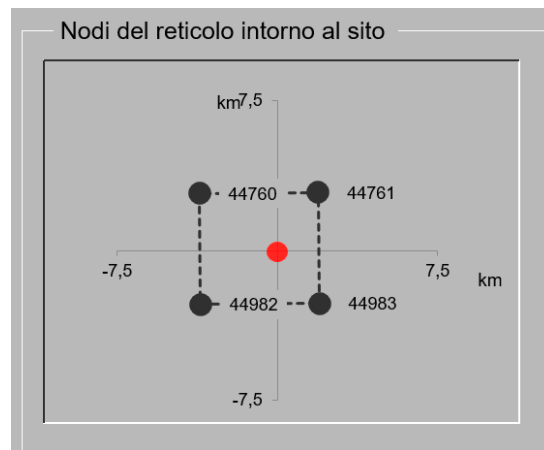


Figura n.25: ID nodi del reticolo intorno al sito di

Punto	ID	Long	Lat	Distanza sito (m)
1	44760	38.221520	15.204920	4606.4
2	44761	38.220490	15.268370	3347.2
3	44983	38.170500	15.267040	3352.4
4	44982	38.171520	15.203600	4612.6

Tabella n.6: Indicazioni ID nodi

Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo

complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed 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 e 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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

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

Le NTC 2018, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV. Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento P_{VR} , ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/Tr$ (Tr = periodo di ritorno).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella seguente tabella:

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

Tabella n.7: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella n7 devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere. Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento VR si ricava il periodo di ritorno Tr del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR})$$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC 2018.

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché nella nostra ipotesi V_R è uguale a 50 anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Stati Limite	Periodo di ritorno	
Stati limite di esercizio	SLO	$T_R = 30$
	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimi	SLV	$T_R = 475$
	SLC	$T_R = 975$

Tabella n.8: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_r

Punto Indagine

Longitudine	Latitudine
15.245505°	38.194828°

Tabella n.9: Latitudine e Longitudine del punto di indagine

Stato Limite	Prob. Superamento (%)	T_r	a_g	F_0	T_c^*
SLO	81	30	0.054	2.414	0.276
SLD	63	50	0.069	2.410	0.298
SLV	10	475	0.165	2.514	0.362
SLC	5	975	0.208	2.569	0.379

Tabella n.10: Valori riferiti al punto di indagine

Risposta sismica locale

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala

della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove. Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione (accelerogrammi) su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A). Per la scelta degli accelerogrammi di ingresso, si deve fare riferimento a quanto già specificato al § 3.2.3.6. delle NTC 2018.

Fattori di amplificazione stratigrafica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella n.16, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ 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. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale

Categoria	Descrizione
	miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella n.11: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

In condizioni stratigrafiche e morfologiche schematizzabili con un modello monodimensionale e per profili stratigrafici riconducibili alle categorie di sottosuolo, il moto sismico alla superficie di un sito è definibile mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s \cdot a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Nel caso specifico, al fine di ottenere una caratterizzazione sismica dei terreni dell'area d'interesse progettuale e la conseguente classificazione dei suoli è stata eseguita un'indagine geofisica con metodo MASW-attivo nel sito d'interesse.

Di seguito vengono riportate le risultanze ma per una trattazione più approfondita si raccomanda la visione dell'*Allegato n.1- Indagini Geosismiche*.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

Nel caso specifico, la velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità di seguito riportata ha dato un valore pari a 312 m/s, dunque la categoria di sottosuolo di progetto risulta essere la **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).**

Fattori di amplificazione topografica

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione espressa nella seguente tabella:

Classe	Descrizione
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 $i > 30^\circ$

Tabella n.12: Classificazione topografica secondo il D.M. 17/01/2018

Le 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.

Per condizioni topografiche riconducibili alle categorie di cui alla tabella n.6, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST. Il parametro ST deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°, altrimenti si applicano i criteri indicati nel § 3.2.2. delle NTC2018

Considerate le caratteristiche topografiche, la fascia in oggetto rientra nella categoria **T1 - "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "**.

Spettro di risposta elastico ed elastico in accelerazione

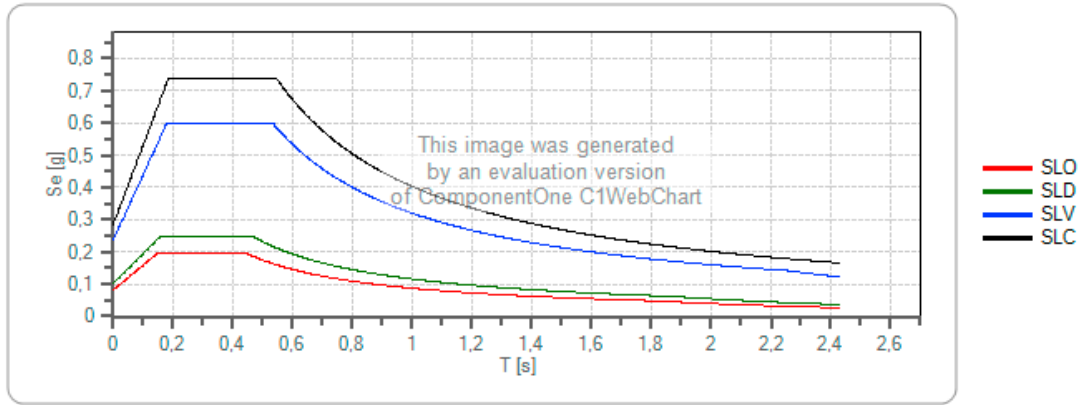
Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} .

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro di risposta elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%.

Coefficiente di smorzamento viscoso $\xi = 5\%$

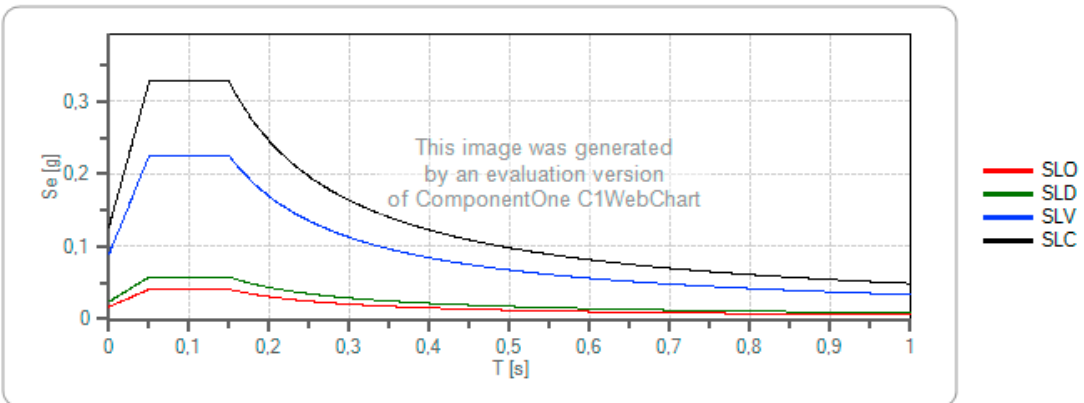
Fattore che altera lo spettro elastico $\eta = 1.000$

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0.054	2,415	0,276	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,148	0,444	1,817
SLD	1	0.068	2,412	0,298	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,156	0,468	1,873
SLV	1	0.164	2,516	0,364	1,450	1,470	1,000	1,450	1,000	0,178	0,535	2,255
SLC	1	0.207	2,571	0,381	1,380	1,440	1,000	1,380	1,000	0,183	0,548	2,429

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	c _u	ag[g]	Fo	Tc*[s]	Ss	Cc	St	S	η	TB[s]	TC[s]	TD[s]
SLO	1	0,054	2,415	0,276	1,000	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,068	2,412	0,298	1,000	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,164	2,516	0,364	1,000	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,207	2,571	0,381	1,000	1,440	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

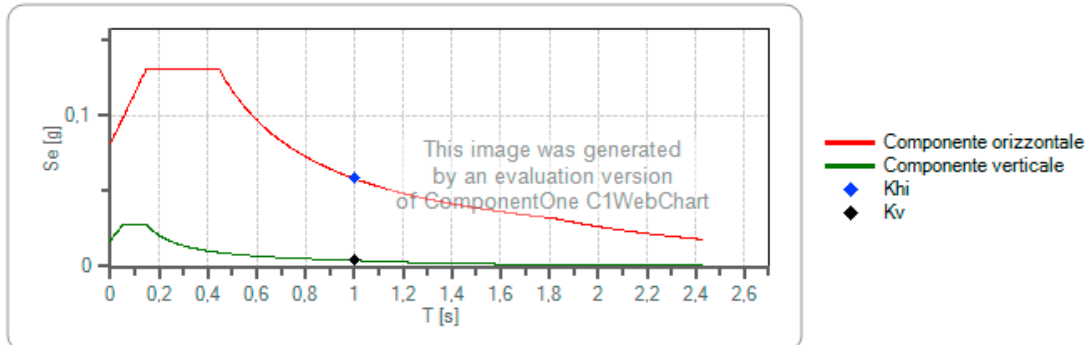
Per lo stato limite di operatività lo spettro di risposta di progetto $S_{d(T)}$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro di risposta elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata

Qualora le verifiche agli stati limite di danno, di salvaguardia della vita e di prevenzione al collasso non vengano effettuate tramite l'uso di opportune storie temporali del moto del terreno ed analisi non lineari dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle costruzioni le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tenga conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio di vibrazione a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di risposta di progetto $S_{d(T)}$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Nello specifico:

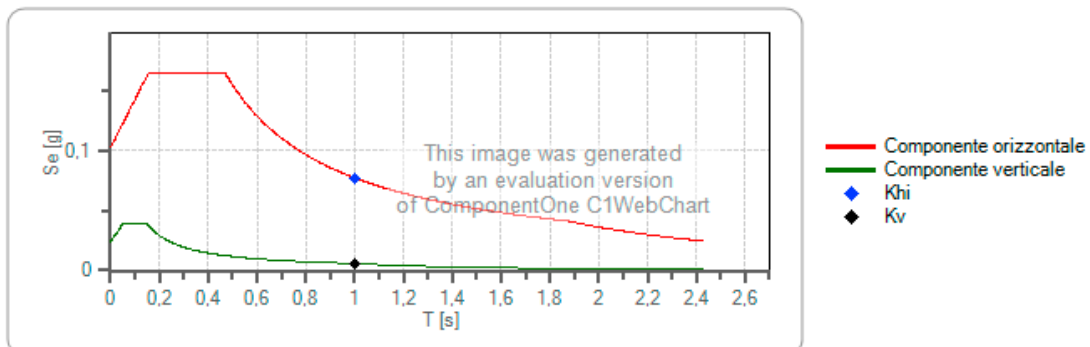
Fattore di struttura spettro orizzontale q :	1.5
Fattore di struttura spettro verticale q :	1.5
Periodo Fondamentale T :	1.00(s)

Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



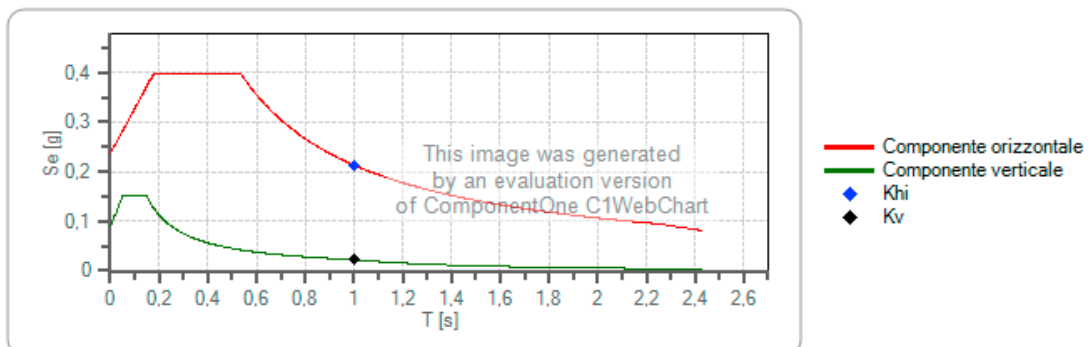
Khi = 0,058 [g]; Kv = 0,004 [g]

Spettri di progetto per lo stato limite: SLD

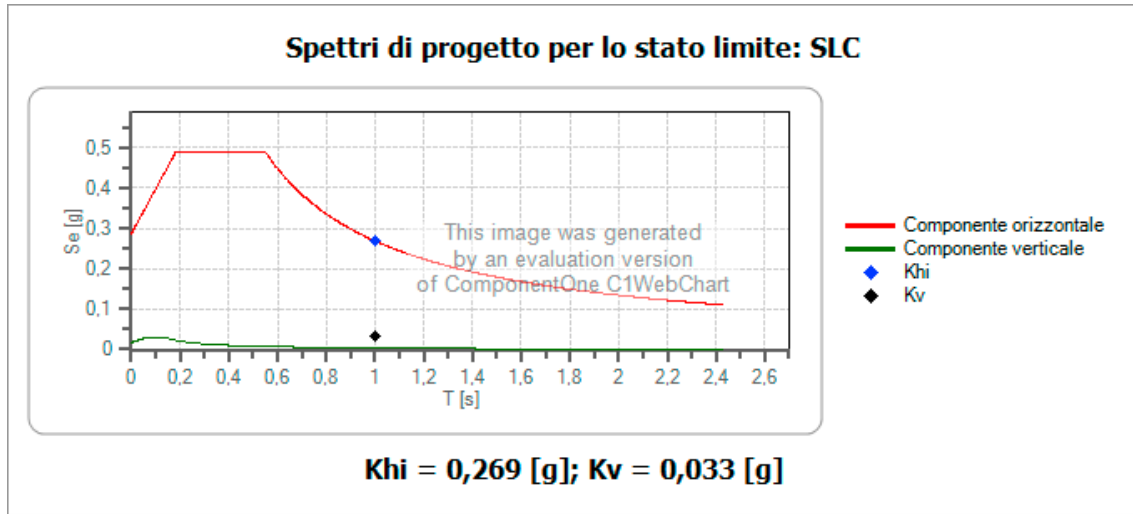


Khi = 0,077 [g]; Kv = 0,006 [g]

Spettri di progetto per lo stato limite: SLV



Khi = 0,213 [g]; Kv = 0,023 [g]



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO orizzontale	1	0,054	2,415	0,276	1,500	1,610	1,000	1,500	1,500	0,148	0,444	1,817
SLO verticale	1	0,054	2,415	0,276	1,500	1,610	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000
SLD orizzontale	1	0,068	2,412	0,298	1,500	1,570	1,000	1,500	1,500	0,156	0,468	1,873
SLD verticale	1	0,068	2,412	0,298	1,500	1,570	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000
SLV orizzontale	1	0,164	2,516	0,364	1,450	1,470	1,000	1,450	1,500	0,178	0,535	2,255
SLV verticale	1	0,164	2,516	0,364	1,450	1,470	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000
SLC orizzontale	1	0,207	2,571	0,381	1,380	1,440	1,000	1,380	1,500	0,183	0,548	2,429
SLC verticale	1	0,207	2,571	0,381	1,380	1,440	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

Stabilità nei confronti della liquefazione

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi,

prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

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

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso specifico, i fenomeni di liquefazione dei terreni in presenza di sollecitazioni sismiche, possono essere esclusi inquanto il livello piezometrico della falda presente

nel sito in oggetto si attesta ad una profondità di circa -16m dal p.c. ad una profondità maggiore a quella limite indicata nella condizione numero 2.

7. Pericolosità Geologica

Secondo quanto stabilito nella **Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014, “Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici”** di seguito vengono riportate le informazioni ricavate durante la raccolta bibliografica e dall’elaborazione dell’indagine eseguita nel sito. Qui è evidenziata la presenza o meno di aree *“interessate da pericolosità geologiche (frane, erosioni, esondazioni, vulnerabilità dell’acquifero, colate laviche, fenomeni di fratturazione al suolo cosismico e/o per creep asismico, tipici nelle aree vulcaniche etnee, ecc.)* e la valutazione del grado dell’area investigata ai fini della riduzione del rischio.

Dall’analisi comparata della carta geologica, geomorfologica e idrogeologica è stato possibile redigere la Carta delle Pericolosità Geologiche (Allegato n.2).

L’area interessata dalla Variante Urbanistica al P.R.G., rientra nella **“Pericolosità Nulla: Aree stabili senza evidenza di particolari fattori che influenzano la stabilità geomorfologica o che necessitano particolari indicazioni geotecniche. Tali aree devono pur sempre essere conformi al DM 17 gennaio 2018 Aggiornamento “Norme Tecniche di Costruzione”** coincidente con quanto riportato nella cartografia allegata alla relazione geologica “Aggiornamento degli studi geologici a supporto della Variante Generale al PRG redatto ai sensi della circolare ATA n.3/DRA del 20/06/2014” del Comune di Milazzo.

8. Pericolosità Sismica

Secondo quanto stabilito nella **Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014, “Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici”** “nei Comuni oggetto di studi di Microzonazione sismica e dell’analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE), finanziati e successivamente validati nell'ambito del Piano Nazionale per gli interventi di prevenzione del rischio sismico previsti dall'art. 11 del D.L. 28/04/2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla Legge 24/06/2009 n. 77, saranno recepite integralmente le risultanze degli studi medesimi.

Nei Comuni che non rientrano nel suddetto Piano Nazionale per la prevenzione sismica, i fattori di caratterizzazione e risposta sismica locale dovranno essere definiti sulla base delle conoscenze fornite dai dati esistenti ed eventualmente implementate con indagini integrative.

In particolare dovranno essere individuate sia le problematiche geologiche che gli effetti di sito attendibili nell’area in studio in cui devono essere distinte le zone interessate prevalentemente da: fenomeni franosi in atto e quiescenti; aree potenzialmente franose; aree di fondovalle; aree suscettibili a potenziali fenomeni di liquefazione, ecc.

Gli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica* (MS) e successivi aggiornamenti, approvati dal Dipartimento della Protezione civile e dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome, definiscono la metodologia per la redazione di questa carta e della relativa legenda, con riferimento agli studi e cartografie del Livello 1 di MS.

La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

Lo studio di MS fornisce una base conoscitiva della pericolosità sismica locale delle diverse zone e consente di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico, a varie scale.

Nello specifico è richiesto il livello 1 di approfondimento, definito propedeutico ai veri e propri studi di M, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte.

Nella Carta della Pericolosità Sismica Allegato n.3 viene attenzionata la risposta sismica tendente a definire la morfologia superficiale e sepolta con l'individuazione del bedrock rigido nei primi 30m, il regime delle acque sotterranee, la stratigrafia del sottosuolo, le proprietà litotecniche dei terreni affioranti e lo stato deformativo. Tutto ciò mira a fornire informazioni circa gli eventuali problemi che possono sorgere in occasione di un terremoto e una prima indicazione sugli approfondimenti opportuni e in quali zone applicarli.

Considerato che nell'area d'interesse è stata eseguita una misura di sismica passiva a stazione singola è stato possibile interpretare una curva HVSR dalla quale si evince la presenza di un picco a frequenza f_0 di 0,46 Hz con ampiezza A_0 2,39, per cui, valutando una velocità media maggiore ai 360 m/s si può ipotizzare un contrasto di rigidità prossimo ai 190 m dal p.c. il che esclude fenomeni di amplificazione sismica locale.

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

In virtù di quanto esposto sopra e considerando che l'area oggetto di Variante Urbanistica al P.R.G., individuata nella piana pericostiera che caratterizza questo settore del comune di Milazzo (ME), può essere inquadrata come **ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONI LOCALI** e conseguentemente classificata come *“Area con sedimenti a grana medio – fine, costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie a clasti eterometrici e poligenici, sciolti nei quali sono stati eseguiti indagini sismiche dove è emerso che possono essere esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti.*

9. Suscettività all'Edificazione

Secondo quanto stabilito nella **Circolare A.R.T.A. prot. 28807 del 20/06/2014**, **“Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici”** *“la carta di suscettività all'edificazione è una carta di sintesi delle caratteristiche geologiche s.l. del territorio ... che fornisce tutte le indicazioni in ordine alle limitazioni (vincoli e restrizioni definite da strumenti di pianificazione territoriale o leggi sovraordinate) ed ai condizionamenti (criticità di carattere geologico s.l. comprese le limitazioni provenienti dalla carta della pericolosità sismica), che implicano la necessità di prevedere specifiche cautele nella realizzazione degli interventi consentiti nell'uso del territorio.*

Alla luce di ciò, l'area oggetto di variante Urbanistica al P.R.G. rientra nell' **Area a suscettività alta: Area geomorfologicamente stabile caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali dove sono esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti.**

10. Conclusioni

L'area oggetto del presente studio, si localizza nel versante settentrionale della Sicilia, all'interno della provincia di Messina, nel Comune di Milazzo e precisamente nella frazione di San Pietro ad una quota di circa 19m slm e distante dalla linea di costa della Riviera di Levante o Golfo di Milazzo circa 1.8Km e 2.0Km dalla Riviera di Ponente o Golfo di Patti.

Dall'osservazione della struttura geomorfologica pianeggiante dettata dalla presenza di depositi alluvionali e dall'osservazione degli edifici esistenti e limitrofi all'area di interesse, dove non è stata rilevata la presenza di lesioni o altri elementi riconducibili a cedimenti secondari dei terreni di sottofondazione, è possibile affermare che l'area in studio presenta buone condizioni di stabilità.

Ciò è ulteriormente confermato dall'assenza di vincoli idraulici, geomorfologici e di dissesto come mostrato dalla cartografia allegata alla relazione PAI riferita all'Area Territoriale tra i Bacini del Torrente Corriolo e del Torrente Mela di cui si riportano gli stralci.

La presente area destinata alla "Variante Urbanistica del P.R.G. in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania Sez. IV n. 538/2021 su ricorso n. 1118/2020 per un lotto di terreno individuato in catasto al Foglio n. 12 part. 1804 del Comune di Milazzo mostra livelli di pericolosità geologica e sismica con implicazione nella suscettività all'edificazione tali per cui non si evidenziano situazioni rilevanti che condizionano in modo negativo il sito in oggetto.

Nello specifico:

- Ai fini della pericolosità geologica, l'area di interesse rientra nella **Pericolosità Nulla: Aree stabili senza evidenza di particolari fattori che influenzano la**

stabilità geomorfologica o che necessitano particolari indicazioni geotecniche.

Tali aree devono pur sempre essere conformi al DM 17 gennaio 2018 Aggiornamento “Norme Tecniche di Costruzione”.

- Ai fini della pericolosità sismica, l’area strettamente interessata dalla Variante Urbanistica al P.R.G. risulta **ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONI LOCALI** e classificata come *“Area con sedimenti a grana medio – fine, costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie a clasti eterometrici e poligenici, sciolti nei quali sono stati eseguiti indagini sismiche dove è emerso che possono essere esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti”*;
- Ai fini della suscettività all’edificazione, l’area si inserisce **Area a suscettività alta: Area geomorfologicamente stabile caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali dove sono esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti”**.

Per quanto concerne i parametri geotecnici, quanto riportato nel relativo capitolo riguardante il quadro Litotecnico sono da intendersi indicativi e di larga massima. Pertanto, per le proprietà fisico-meccaniche dei terreni coinvolti nella realizzazione delle fondazioni delle strutture edili da realizzare, si raccomanda l’esecuzione di studi geologico- tecnico di dettaglio che stabiliscano, puntualmente, l’adeguato dimensionamento delle strutture in funzione delle tipologie costruttive in ottemperanza alle normative vigenti.

Venetico, 30/05/2023

Il Geologo



Indagini Geofisiche

Comune di Milazzo

Città Metropolitana di Messina

Oggetto: Relazione Indagini Geofisiche allegata alla Relazione Geologica relativa alla “Variante Urbanistica del P.R.G. in accoglimento della sentenza del T.A.R. di Catania Sez. IV n. 538/2021 su ricorso n. 1118/2020 per un lotto di terreno individuato in catasto al Foglio n. 12 part. 1804 del Comune di Milazzo”

Committente: **Ing. Formica Daniela**



geologo Sindoni Angela Carmela

via F. Agnello, 18 - Venetico - (ME) - Mobile: 333 3547315 - P.I.: 03027810831
e-mail: angela.sindoni@tiscali.it - pec: angela.sindoni@epap.sicurezzapostale.it

SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Prospezione Geofisica col metodo MASW	4
2.1. <i>Classificazione sismica dei suoli con il metodo MASW</i>	4
2.2. <i>Fondamenti teorici del metodo MASW</i>	5
2.3. <i>Onde di Rayleigh in un semispazio infinito omogeneo</i>	5
2.4. <i>Curva di dispersione</i>	7
3. Indagine MASW in Sito	9
3.1. <i>Strumentazione utilizzata</i>	9
3.2. <i>Configurazione spaziale della prova MASW in sito</i>	10
3.3. <i>Metodo di Elaborazione mediante Software dedicato</i>	11
4. Basi teoriche della sismica passiva a stazione singola	21
4.1. <i>Strumentazione utilizzata</i>	24
4.2. <i>Processing</i>	26
4.3. <i>Elaborazione ed interpretazione delle curve di H/V</i>	29

1. Premessa

Nel mese di Maggio dell'anno 2023, è stata eseguita una campagna d'indagine geofisica che ha visto la realizzazione di, **n° 1** sondaggio sismico MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e **n°1** acquisizione di microtremore ambientale.

Nella presente relazione sono riassunti i risultati della campagna geognostica eseguita con particolare riferimento alla strumentazione ed alle tecniche d'indagine utilizzate.

Per una corretta individuazione dell'ubicazione dell'indagini geofisiche eseguite, per ogni singola tipologia d'indagine si riportano:

- **le coordinate geografiche**
- **la geometria dello stendimento**
- **la fotografia dell'indagine eseguita**
- **la planimetria di ubicazione**

2. Prospezione Geofisica col metodo MASW

2.1. Classificazione sismica dei suoli con il metodo MASW

I sondaggi geofisici **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, rappresentano una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Nel metodo di indagine MASW attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori, consentendo così generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo. Pertanto il metodo MASW attivo consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

2.2. Fondamenti teorici del metodo MASW

Il metodo MASW si basa sul moto di propagazione delle onde di Rayleigh.

In un mezzo omogeneo infinito la propagazione ondosa può avvenire solo tramite due tipi di onde: le onde P di compressione, dette anche onde primarie e le onde distorsionali o di taglio S, dette anche onde secondarie.

La velocità con cui si propagano le onde P e le onde S dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato. Le onde di compressione P viaggiano con una velocità

$$c_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

dove

λ = costante elastica del mezzo

E = modulo di Young

e ν = coefficiente di Poisson,

$\mu = G$ è la rigidezza al taglio,

ρ è la densità di massa e le particelle di materia oscillano nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Le onde di taglio Vs viaggiano con una velocità

$$c_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

e le particelle di materia oscillano nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

2.3. Onde di Rayleigh in un semispazio infinito omogeneo

Quando uno dei due mezzi semi-infiniti separati da un'interfaccia, per esempio quello superiore, è costituito da aria, si può assumere che non esistano onde trasmesse e in generale esistono solo onde riflesse. E' dimostrabile che in un semispazio omogeneo, oltre alle onde P e S già trovate in un mezzo infinito, esiste un tipo di onda denominata onda di Rayleigh.

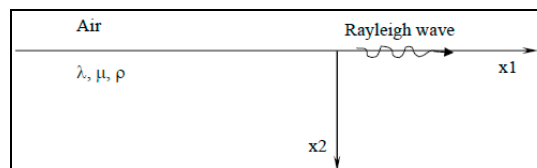
L'onda di Rayleigh è il risultato della combinazione di onde P e S in modo che siano soddisfatte le seguenti due condizioni:

1. il moto associato all'onda di Rayleigh si attenua rapidamente con la profondità;
2. lo stato tensionale è nullo sulla superficie libera del semispazio solido ;

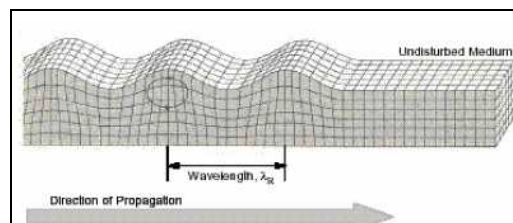
La velocità con cui si propaga l'onda di Rayleigh sulla superficie libera di un semispazio omogeneo è leggermente inferiore alla velocità C_s delle onde di taglio S tra $0,862 \cdot C_s$ e $0,955 \cdot C_s$ e dipende dal coefficiente di Poisson ν (Achenbach, 1999).

$$c_R = \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \cdot c_s$$

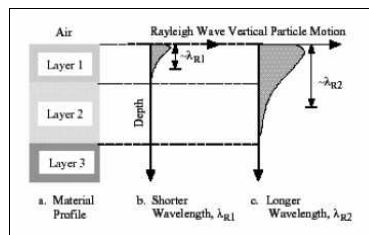
In un semispazio omogeneo la velocità di fase dell'onda di Rayleigh non dipende dalla frequenza o dal numero d'onda k , quindi si dice che non è dispersiva.



Le componenti orizzontale e verticale sono sfasate di 90° , quindi durante il moto le particelle descrivono un'ellisse. L'asse maggiore dell'ellisse è parallela alla superficie libera orizzontale fino alla profondità di circa 0.2λ (λ è la lunghezza d'onda), dove lo spostamento orizzontale cambia segno e quindi gli assi e il senso di percorrenza dell'ellisse si invertono.



L'ampiezza degli spostamenti decresce rapidamente con la profondità, così che l'onda di Rayleigh è confinata nella parte superficiale del semispazio, in una striscia di spessore pari a circa $1,5\lambda$. Dato che le onde di Rayleigh viaggiano in prossimità della superficie del sito in una fascia profonda circa $1\div 2$ volte la lunghezza d'onda, le onde caratterizzate da grandi lunghezze d'onda interessano anche gli strati più profondi del sito. Al contrario, a parità di velocità di fase c , le onde ad alta frequenza hanno una lunghezza d'onda così corta da interessare essenzialmente lo strato più superficiale del sito, senza avvertire la presenza degli strati sottostanti.

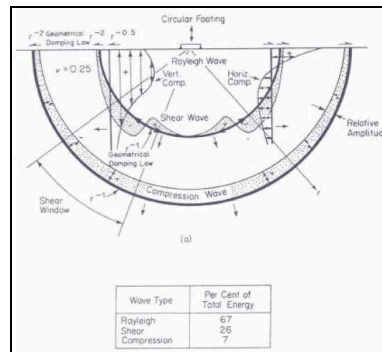


2.4. Curva di dispersione

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano i diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte.

Se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.


Nel metodo MASW proposte si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh (Vedi fig.), intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.



3. Indagine MASW in Sito

3.1. Strumentazione utilizzata

L'equipaggiamento strumentale utilizzato per la realizzazione della prova consiste in:
SISMOGRAFO 24 CANALI - 24 BIT PASI MODELLO GEA 24 di cui di seguito si riportano le principali caratteristiche:

	Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
	Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
	Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
	Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
	Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
	Stacking	Numero di stacking illimitato
	Impedenza di ingresso	2MOhm // 22nF
	Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
	Distorzione	0.007% @16kHz
	Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
	Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz

		Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
	Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
	Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
	Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
	Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
	Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
	Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
	Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
	Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
	Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
	Umidità	80% umidità relativa, non condensante
	Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
	Peso	2 Kg

N° 1 Computer portatile.

N° 12 Ricevitori: geofoni (4,5 Hz).

N° 2 CAVI SISMICI 12 TRACCE, 80m, intervallo 5m, con connettori NK2721C e attacchi singoli.

N° 1 MAZZA DI BATTUTA kg 8 CON STARTER.

N° 1 PIATTELLO DI BATTUTA IN ALLUMINIO (dimensioni 20x20x5 cm).

3.2. Configurazione spaziale della prova MASW in sito

La prova MASW fornisce il profilo di velocità Vs monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5m e 4,0m.

Si precisa che il tempo massimo totale di acquisizione è stato pari a 2 s (pari a 2048 campioni temporali per singolo geofono acquisto per ogni colpo di mazza).

Nel sondaggio la sorgente è stata posta a -2,0m, -4,0 m e -6,0 m dal primo e dall'ultimo geofono.

Nell'elaborazione è stata scelta l'acquisizione che visivamente ha fornito la curva di dispersione più facile da individuare. A parità di numero di ricevitori un interasse di 2,0 m consente di avere un intervallo più ampio di numeri d'onda anche se comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.

Stendimenti più lunghi danno una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda ma tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.

Il numero d'onda di Nyquist è pari a:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{N \cdot \Delta x}$$

dove ΔK è il minimo interasse tra i ricevitori ed N è il numero dei ricevitori dello stendimento.

3.3. Metodo di Elaborazione mediante Software dedicato

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. La prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. La seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa γ degli

strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedure manuali o con procedure automatiche o con una combinazione delle due.



Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e le velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale si assegnano per tentativi diversi valori delle velocità V_s (all'interno del range di dispersione) e degli spessori h , cercando di avvicinare le curve di dispersione numeriche alle curve di dispersione sperimentale. In genere quando l'errore relativo tra curve sperimentali e curve numeriche compreso tra il 5% e il 20% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve ed il profilo di velocità delle onde di taglio V_s .

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente $V_{s,eq}$ e quindi individuare le categorie sismiche del suolo.

Di seguito si riportano le coordinate geografiche, la geometria dello stendimento, la fotografia dello stendimento, la planimetria di ubicazione della prova.

Infine, si riportano le tracce misurate, lo spettro e la curva di dispersione sperimentale prima e dopo la selezione dei punti utili della stessa curva.

Allegato 1	Ubicazione Indagine MASW Mw1 attiva 12 CANALI
<p>38°11'41.33"N</p> <p>15°14'44.11"E</p> <p><i>Tempo di acquisizione 2,0 sec</i></p> <p><i>Spaziatura intergeofonica 2 (m)</i></p>	
 <p>Mw1 Sondaggio sismico Masw Mw1</p>	

A - ANALISI SISMICA MASW MW1

Numero di ricevitori 12

Distanza tra i sensori: 2m

Numero di campioni temporali 2000

Passo temporale di acquisizione 1ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi 12

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms

I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

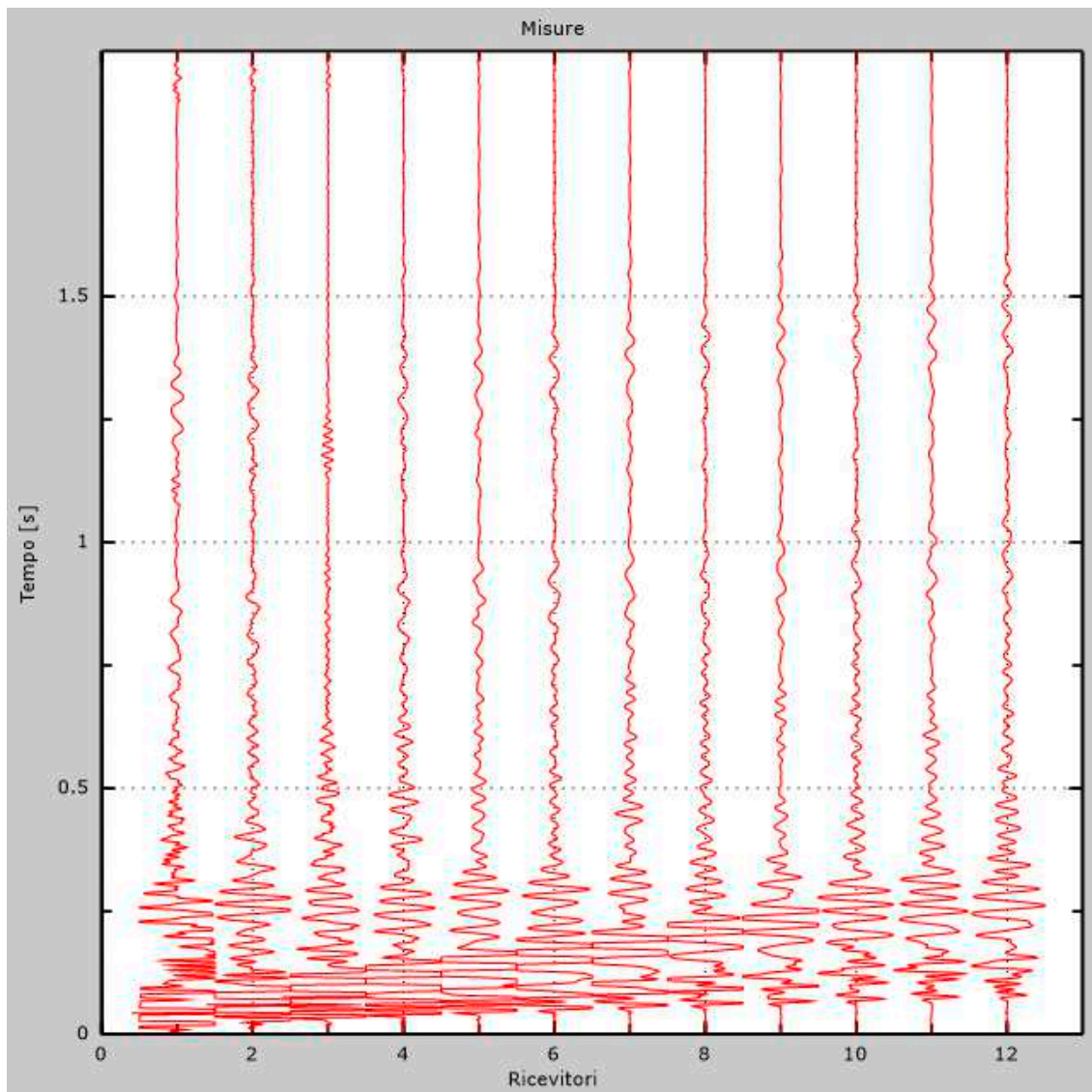


Figura n.1: Tracce sperimentali

B - Risultati delle analisi

Frequenza finale 35Hz

Frequenza iniziale 2Hz

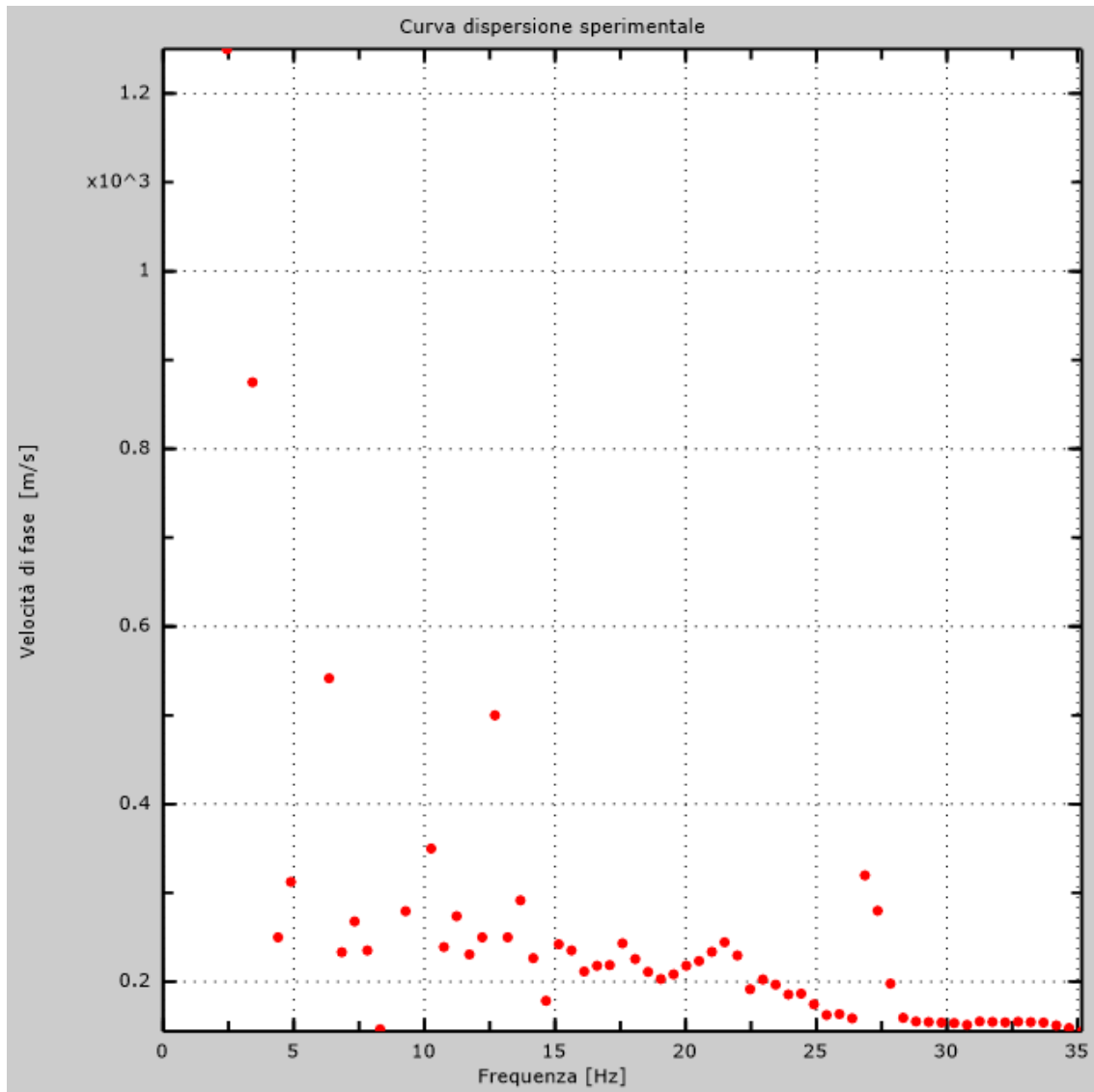


Figura n.2: Curva dispersione sperimentale

C - Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase max [m/s]
4.91337	302.18	197.428	406.931
9.94773	245.439	134.14	356.738
14.2788	232.345	147.234	317.456
18.8319	203.975	138.505	269.445
22.5336	186.516	110.135	262.898
26.6055	173.422	90.4938	256.351
29.2708	153.781	103.588	203.975
33.0095	158.146	110.135	206.157
34.8974	153.781	112.317	195.246

Tabella n.1: Curva di dispersione

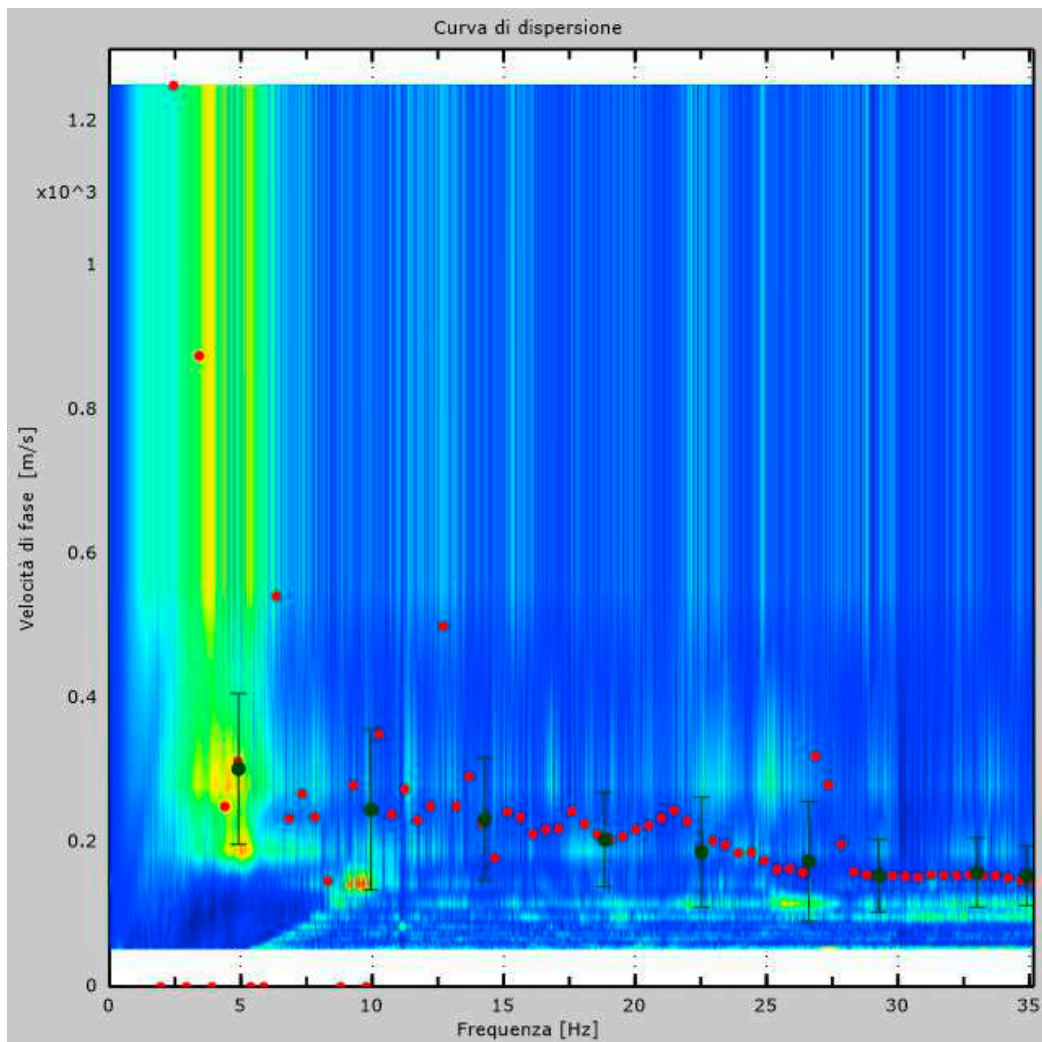


Figura n.3: Curva di dispersione

D - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	12
Numero modi.....	1

Strato 1

h [m]	2.5
z [m]	-2.5
Vs min [m/s]	85
Vs max [m/s]	245
Vs fin.[m/s]	163

Strato 2

h [m]	3.5
z [m]	-6
Vs min [m/s]	118
Vs max [m/s]	369
Vs fin.[m/s]	246

Strato 3

h [m]	5
z [m]	-11
Vs min [m/s]	129
Vs max [m/s]	462
Vs fin.[m/s]	308

Strato 4

h [m]	7
z [m]	-18
Vs min [m/s]	136
Vs max [m/s]	504
Vs fin.[m/s]	336

Strato 5

h [m]	12
z [m]	-00
Vs min [m/s]	168
Vs max [m/s]	611
Vs fin.[m/s]	407

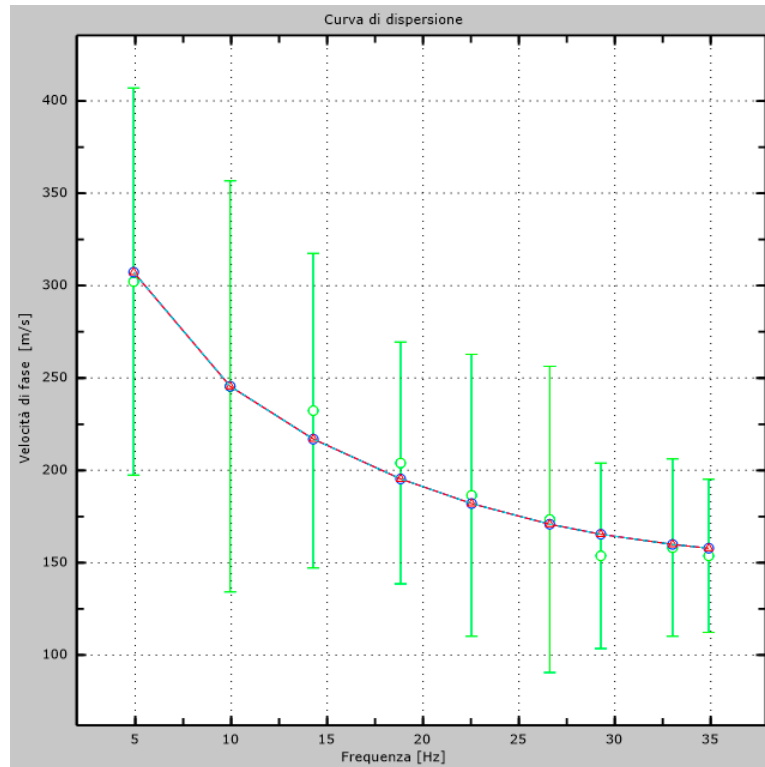


Figura n.4: Velocità numeriche - punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), Curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

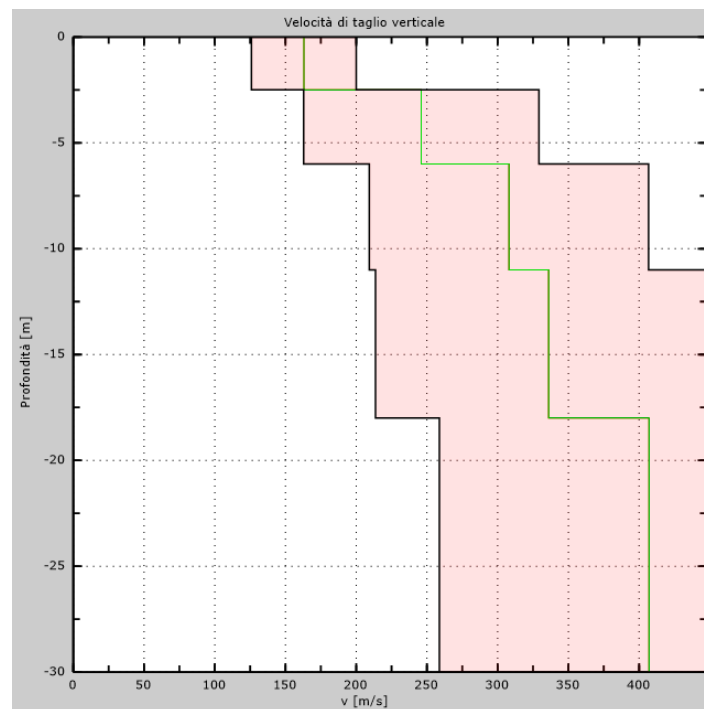


Figura 5: Profilo Vs numerico

E - Risultati finali

Sulla base del profilo di Vs misurato nei primi 30 m dal p.c. si cinque sismo-strati con velocità di propagazione delle onde di taglio progressivamente crescente con la profondità.

Considerato che la profondità del substrato rigido non è stata rinvenuta nei primi 30 m dal p.c. (vedi fig. 5 e paragrafo D), ai sensi delle **NTC 2018** bisogna procedere al calcolo della velocità equivalente $V_{s,eq}$ definita mediante l'equazione 3.2.1 delle NTC e quindi individuare le categorie sismiche del suolo facendo riferimento allo spessore di terreni nei primi 30 m ossia $H=300,00m$.

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

Nella fattispecie i primi cinque sismo-strati sono riconducibili ad una categoria di suolo di tipo **C** con **$V_{s,eq}= 312m/s$** (vedi tabelle sottostanti).

(H>30m)		Suolo tipo		C		
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	2,5	0	163	0,015337	312
(m)	h2=	3,5	2,5	246	0,014228	
30	h3=	5	6	308	0,016234	
	h4=	7	11	336	0,020833	
	h5=	12	18	407	0,029484	
	somma	30				
		30				

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella n.3: Tabella 3.2.II - NTC 17/01/2018 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

4. Basi teoriche della sismica passiva a stazione singola

La prova, comunemente nota con il termine H/V, fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti: per questo motivo la prova assume anche la denominazione di prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Nel campo delle vibrazioni ambientali sono presenti sia onde di volume (P e S) che onde di superficie (Love e Rayleigh): la frazione di energia associata alla componente di onde di volume rispetto a quelle di onde superficiali varia da caso a caso e dipende dall'intervallo di frequenze considerato.

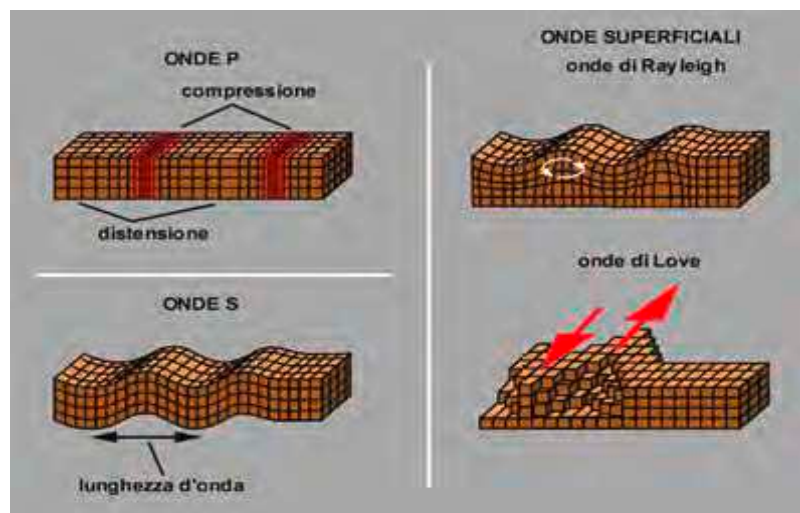


Figura n.5: onde P, onde S, onde di Rayleigh, onde di Love

Indipendentemente dalla natura del campo d'onde, la funzione H/V sarà sempre caratterizzata da valori massimi in corrispondenza della frequenza di risonanza delle onde S. In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario, sia nel caso di rumore ambientale dominato da onde di volume, che da onde di superficie. Studi teorici e osservazioni sperimentali mostrano

che esiste una relazione non lineare tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica alla base della copertura. Altri fattori che influenzano l'ampiezza dei massimi H/V sono il contributo delle diverse fasi sismiche, lo smorzamento, il rapporto di Poisson nelle coperture e la distribuzione delle sorgenti attorno al ricevitore (*"Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola - D. Albarello, S. Castellaro-2011"*).

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione:

1. della forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti "s" dei microtrempi;
2. della modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali;
3. del percorso dell'onda dalle sorgenti "s" fino alla posizione "x" del sito oggetto di indagine e dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda.

Proprio in considerazione di quest'ultimo punto, si denota l'importanza della scelta del posizionamento dello strumento.

L'esito della prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione (Fig.7). Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura; in generale, la stima della frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno (*"Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola-D. Albarello, S. Castellaro- 2011"*).

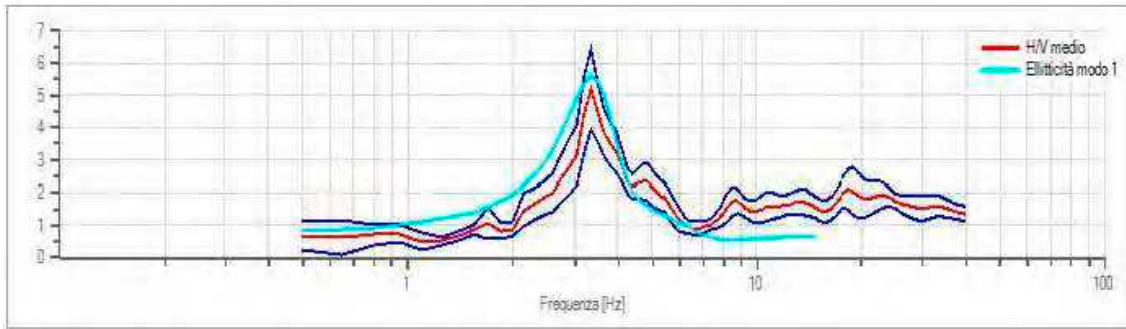


Figura n.2: esempio di rapporto spettrale H/V

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una indagine HVSR sono i seguenti:

- frequenza caratteristica di risonanza del sito (**f_0**), che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici. La **f_0** è necessaria per la redazione della carta di Microzonazione sismica (MS) e per quella delle MOPS di 1°livello ("Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica"), elaborati di supporto alla pianificazione urbanistica;
- frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso.
- sismo-stratigrafia (comprendente il parametro V_{seq}) con un ampio range di profondità di indagine. Tale interpretazione deriva dall'inversione del dato HVSR e quindi necessita di conoscenze approfondite dell'assetto geologico locale.

La conoscenza delle frequenze fondamentali di risonanza dei terreni di fondazione e delle strutture antropiche che vi si trovano, è di cruciale importanza in quanto, se questi due parametri dovessero coincidere, in caso di sisma, si creerebbe il cosiddetto fenomeno della "doppia risonanza".

Le frequenze fondamentali di risonanza di terreni e strutture possono essere misurati direttamente (tramite l'impiego della tecnica HVSr), oppure ricavati, in modo approssimato, attraverso relazioni empiriche:

- In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra la profondità H del substrato sismico, la velocità media delle onde S all'interno dello strato superficiale (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f_0 :

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

- Grossolanamente, la frequenza fondamentale di un edificio può essere ricavata come di seguito (*"Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica-Francesco Mulargia, Silvia Castellaro e Piermaria Luigi Rossi"*):

$$f_0 = \frac{10 \text{ hz}}{n}$$

Dove $n=n^\circ$ piani dell'edificio.

4.1. Strumentazione utilizzata



Figura n.3: Strumentazione

Lo strumento utilizzato è un SISMOGRAFO 24 CANALI - 24 BIT PASI MODELLO GEA 24 24di cui di seguito si riportano le principali caratteristiche:

Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2MΩ // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps
Largh.Banda +/- 0.1dB	3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosi-vo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante

Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

Per la registrazione passiva (H/V) è stato utilizzato un geofono Tridirezionale da 4,5 Hz AMBROGEO. I dati acquisiti in campagna sono stati processati attraverso l'utilizzo del software "Grilla" della MOHO.



Figura n.4: Strumentazione

4.2. Processing

Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L;
2. elimina il trend da ciascuna finestra (eliminazione dei segnali anomali);
3. ne fa il "taper" con una finestra Bartlett;
4. fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamiento f, e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media geometrica e vengono poi divise per la componente verticale. Per le tre misure la durata di registrazione è stata di 30 minuti. I dati di rumore ambientale sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 125 Hz, amplificati e digitalizzati a 24 bit,

ed elaborati con il software GRILLA 9.5.2. Il processing dei dati ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo in funzione della frequenza consentendo di determinare le frequenze fondamentali di vibrazione del terreno.

La curva H/V riportate in allegato mostrano dei picchi H/V, che per comodità di studio sono rappresentati di seguito:

La presenza di almeno un massimo significativo nella curva HVSR viene interpretata come un'indicazione di possibili fenomeni di possibile amplificazione del locale moto del suolo.

Considerando un sistema bistrato (strato tenero + bedrock-like) si allegano altresì delle figure che illustrano la relazione tra velocità del primo strato (ossia dello strato tenero), spessore di detto strato sovrastante il bedrock-like e frequenze di risonanza dello strato tenero.

Si precisa che le relazioni tengono rigorosamente solo per i sistemi bistrato e in quelli multistrato è necessaria una modellazione più complessa. Infatti nei casi multistrato le figure sottostanti possono essere impiegate per effettuare unicamente stime di primissima approssimazione.

Per questioni di chiarezza i grafici sono stati distinti in 3 classi di frequenza, corrispondenti a 3 classi di profondità (5÷50 Hz, 1÷50 Hz, 0.1÷1 Hz).

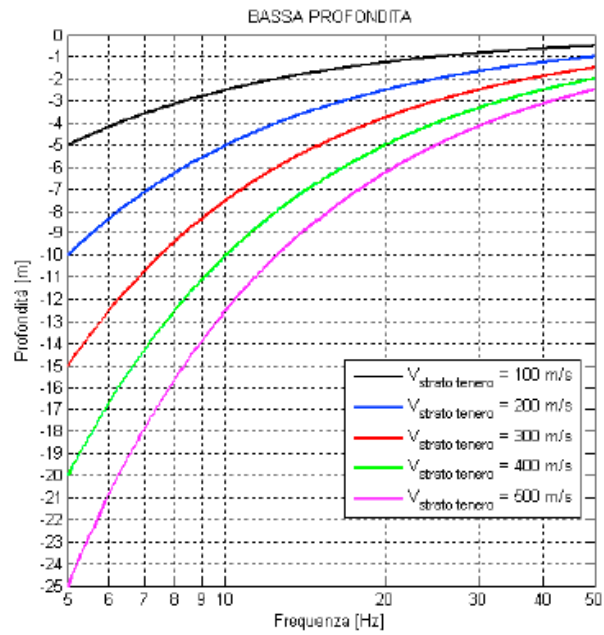


Figura n.5: Relazione tipica frequenza – velocità delle onde di taglio – profondità del bedrock-like per sistemi bistrato (dettaglio ad alte frequenze).

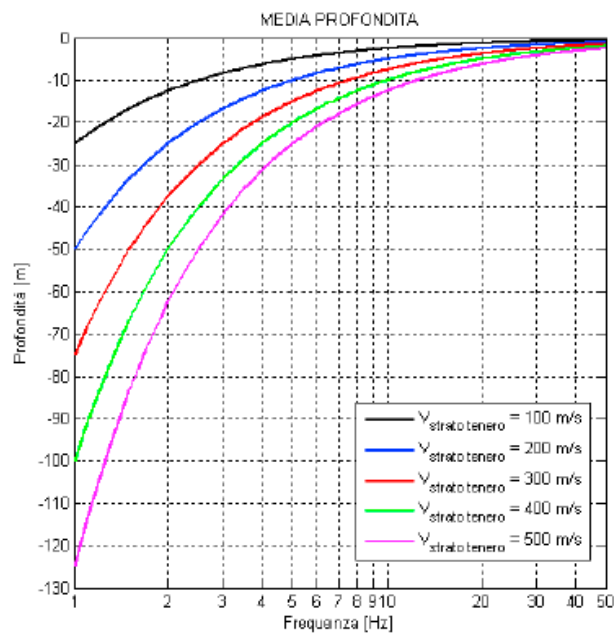


Figura n.6: Relazione tipica frequenza – velocità delle onde di taglio – profondità del bedrock-like per sistemi bistrato (dettaglio a medie frequenze).

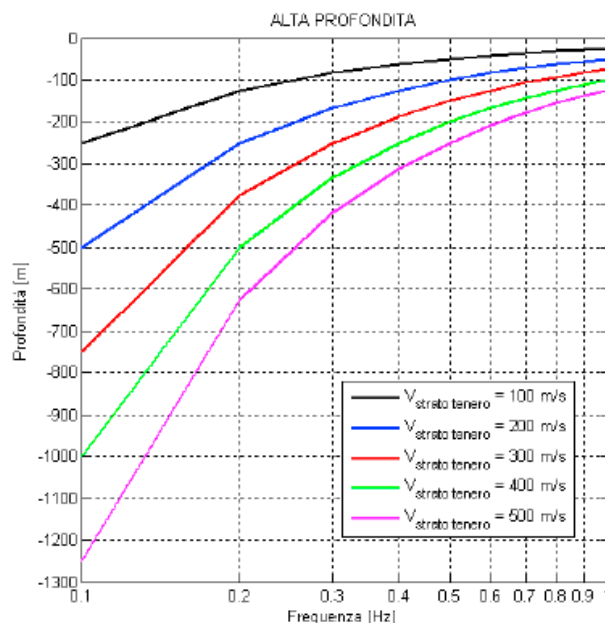


Figura n.7: Relazione tipica frequenza – velocità delle onde di taglio – profondità del bedrock-like per sistemi bistrato (dettaglio a basse frequenze).

4.3. Elaborazione ed interpretazione delle curve di H/V

Le misure sono state eseguite secondo i dettami delle linee guida del progetto SESAME (*progetto europeo, Site Effects Assessment Using Ambient Excitations*). Tale progetto, che ha coinvolto 14 istituti di ricerca e 85 ricercatori, costituisce attualmente uno dei riferimenti tecnici più seguiti in ambito europeo per il metodo HVSR.

Di seguito sono riportati il grafico delle tracce sismiche registrate lungo le tre componenti (N-S, E-W e verticale), lo spettro di risposta H/V, lo spettro delle singole componenti (N-S, E-W e verticale), e la direzionalità del segnale della misura H/V a stazione singola effettuata con il tromografo.

Allegato 2 - Ubicazione Indagine tromografica (HVSr1) – Località Santo Pietro di Milazzo (ME)		
<p>Coordinate geografiche</p> <p>38°11'40.97"N</p> <p>15°14'44.32"E</p> <p>Durata registrazione:</p> <p>0h.20'.00"</p> <p>Freq. campionamento: 125 Hz</p>		 <p> (HVSr1) Misura microtremore a stazione singola (HVSr1)</p>
		

HVSr1 Santo Pietro di Milazzo (ME)

Instrument: EXT-PASI_Gea24

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 19/05/2023 08:52:18 End recording: 19/05/2023 09:12:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 72% trace (manual window selection)

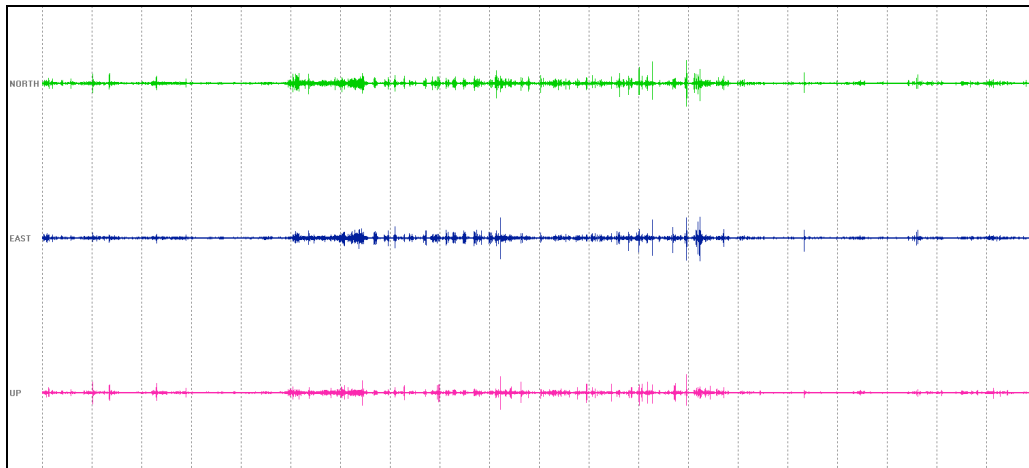
Sampling rate: 125 Hz

Window size: 20 s

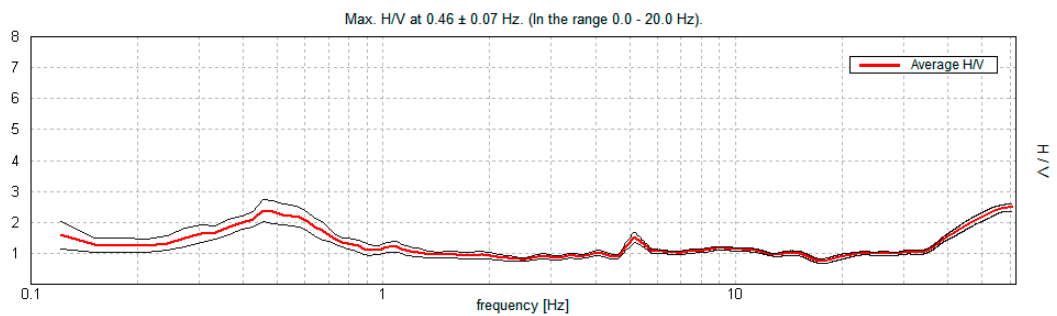
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

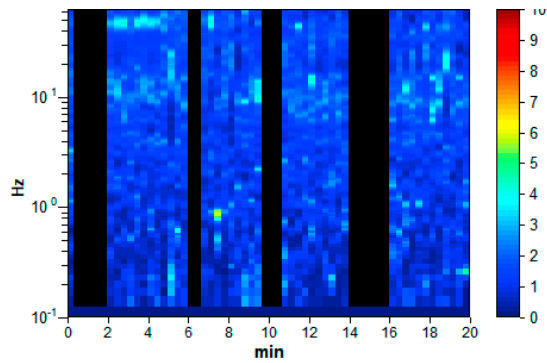
GRAFICO TRACCE



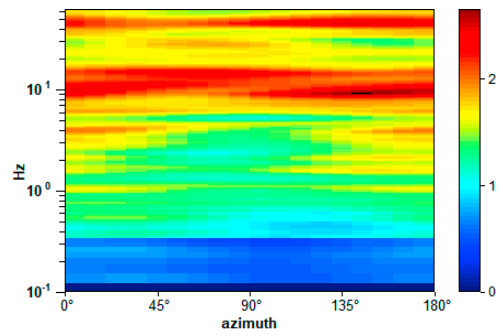
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



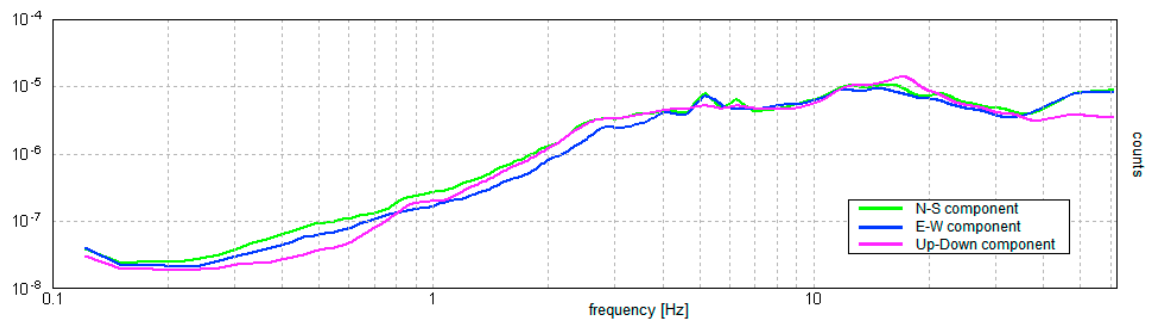
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[LINEE GUIDA CRITERI SESAME, 2005]

Max. H/V at 0.46 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz). [$A_0=2,39$]

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.46 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$393.7 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f$ $< 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f$ $< 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 23 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.885 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.39 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] =$ $f_0 \pm 5\%$	$ 0.15783 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \sigma(f_0)$	$0.07225 < 0.09155$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.3448 < 2.5$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\sigma(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$

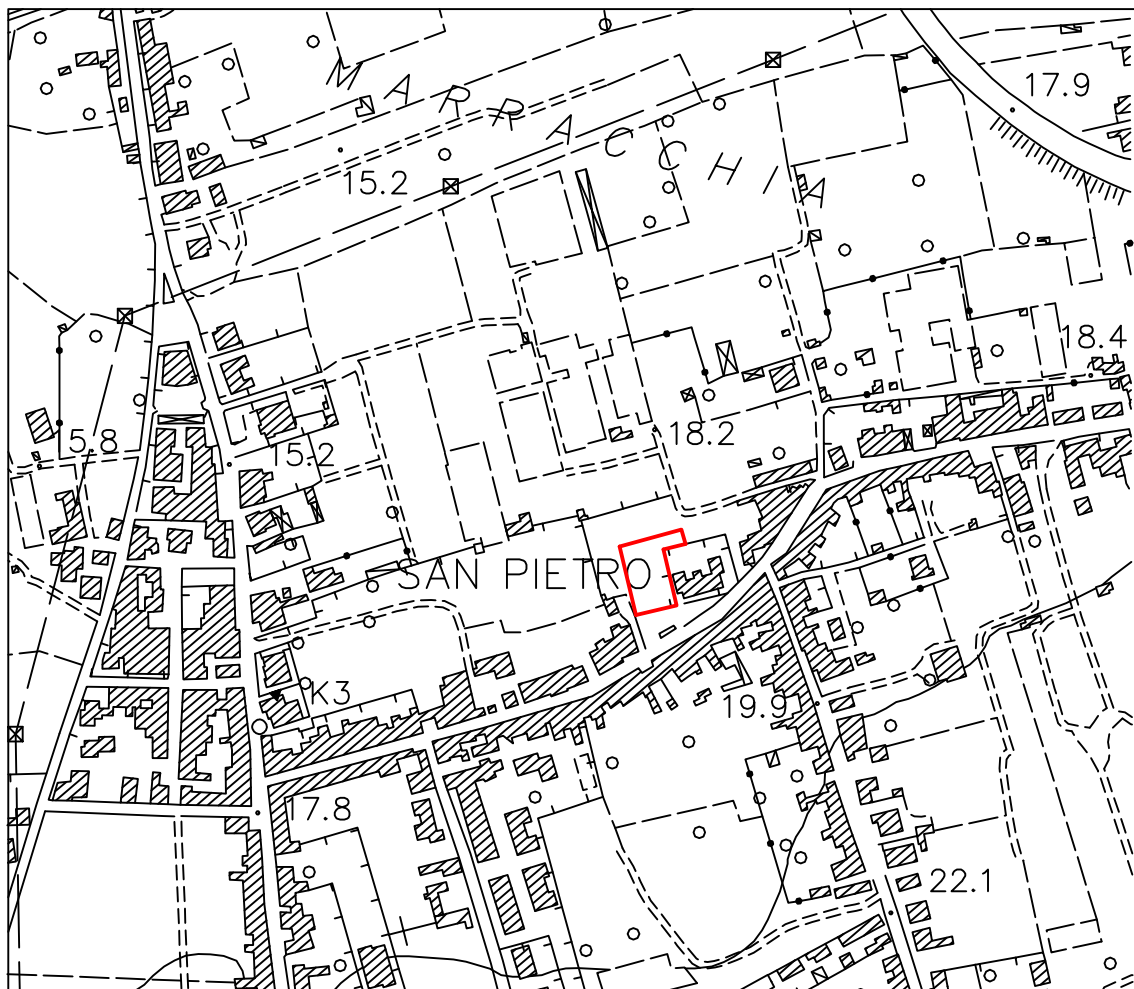
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\sigma(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

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


CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

scala 1:5000


Allegato n. 2



LEGENDA

 PERICOLOSITA' NULLA: Aree stabili senza evidenza di particolari fattori che influenzano la stabilità geomorfologica o che necessitano particolari indicazioni geotecniche. Tali aree devono pur sempre essere conformi al DM 17 gennaio 2018 Aggiornamento "Norme Tecniche di Costruzione"

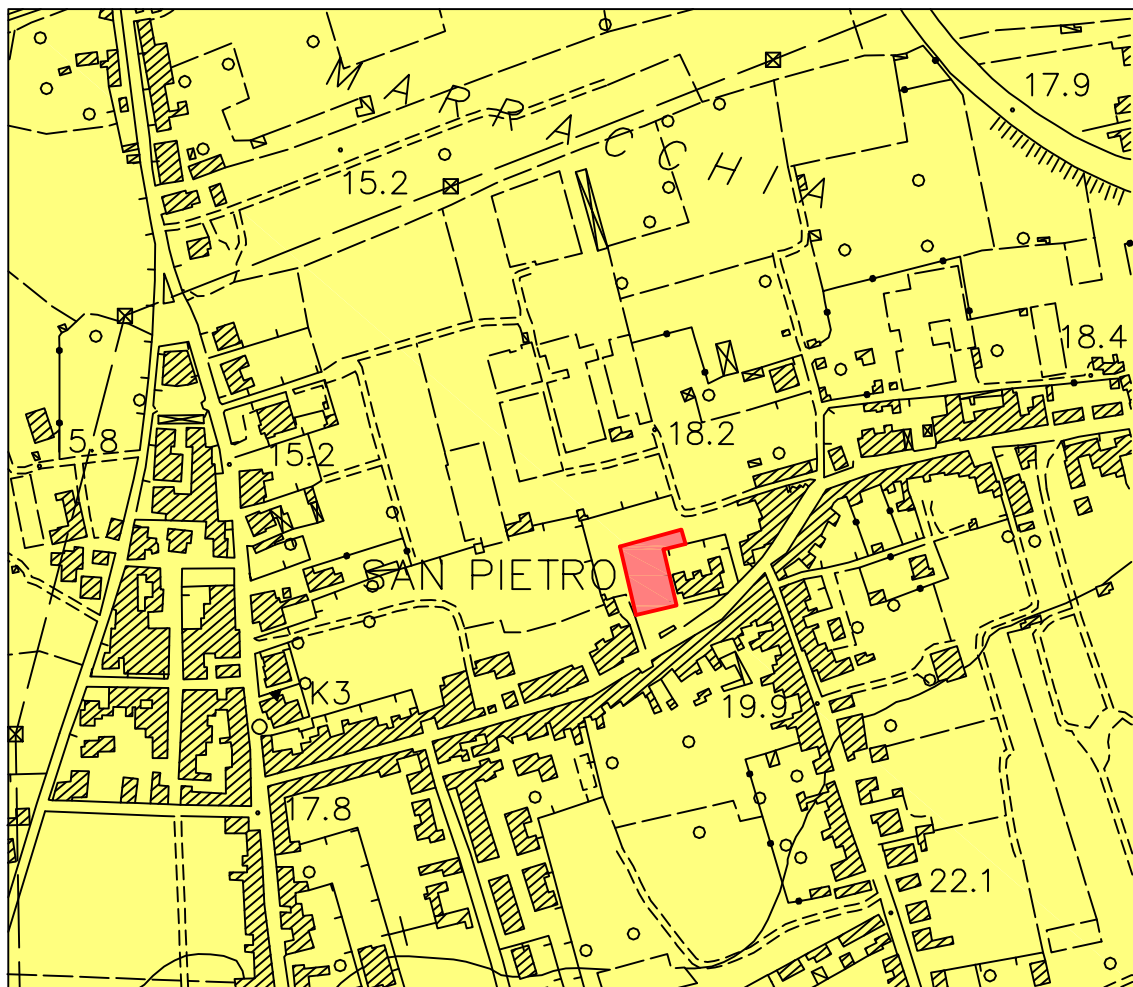
Segni convenzionali

 Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.


CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA


scala 1:5000

Allegato n. 3




LEGENDA

 Zona stabile suscettibile di amplificazione locale e classificata come Area con sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie a clasti eterometrici e poligenici, sciolti nella quale è stata eseguita indagine sismica dove è emerso che possono essere esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti

 Zona stabile suscettibile di amplificazione locale e classificata come Area con sedimenti a grana medio - fine, costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie a clasti eterometrici e poligenici, sciolti

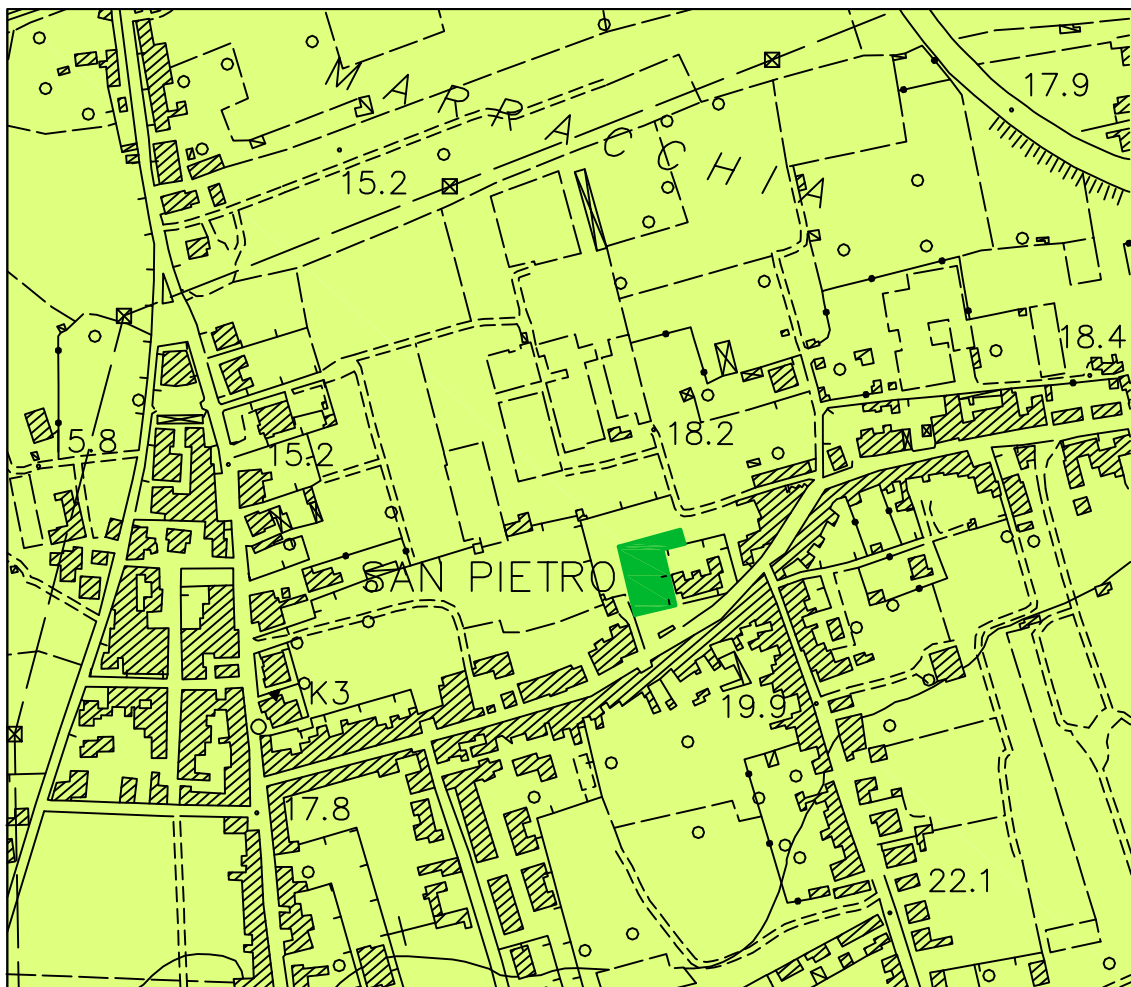
Segni convenzionali

 Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.


CARTA DELLA SUSCETTIVITA' ALL'EDIFICAZIONE


scala 1:5000

Allegato n. 4




LEGENDA

 Area a suscettività d'uso non condizionata: Area che non comprende particolari limiti all'utilizzo e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalla vigenti Norme Tecniche per le costruzioni.

 Area a suscettività alta: Area geomorfologicamente stabile caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali dove sono esclusi eventuali amplificazioni sismiche locali rilevanti

Segni convenzionali

 Area oggetto di Variante urbanistica del P.R.G.