

Accordo Quadro triennale per l'affidamento di Servizi di ingegneria e architettura:
progetto di fattibilità tecnica ed economica e/o progettaz. definitiva e/o esecutiva e/o attività di supporto
per l'esecuzione nella Regione Campania di interventi sui sistemi di mobilità ex Delib. G.R. 104/2018 - 109/2018 e ss.mm.ii.
Lotto n. 3 - CUP: B49J18002170001 - CIG: 75188184E5

Responsabile del procedimento: arch. Paolo FRESCHI

Direttore dell'esecuzione del contratto: ing. Umberto PISAPIA

ENTE APPALTANTE:



Comune di Morigerati

Contratto Attuativo: Comune di Morigerati

OGGETTO:

**Intervento di consolidamento del dissesto idrogeologico
Strade Provinciali n° 54 e n° 210
CUP: I27H19002810006**

PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Responsabile del procedimento: geom. Giuseppe FERRIGNO



N° ELABORATO

B_01

Codice Elaborato

ESE_B_01_00

ALLEGATI:		SCALA DI MISURA	AGGIORNAMENTO
PLANIMETRIE	<input type="checkbox"/>		DATA
PIANTE	<input type="checkbox"/>		DATA
SEZIONI/PROSPETTI	<input type="checkbox"/>		DATA
SCHEMI FUNZIONALI	<input type="checkbox"/>		DATA
DOCUMENTI	<input checked="" type="checkbox"/>	-----	DATA

00	MAG-24	UCCI	SIB	SIB	
REV	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

TITOLO ELABORATO

RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE

RELAZIONE GEOLOGICA

Capogruppo: **studioingegneriabello**



sib
s.r.l.

Responsabile delle interazioni fra le diverse prestazioni specialistiche:
ing. Giovanni Vito BELLO

Mandanti:

duomi
Maglione Engineering

MATILDI+PARTNERS



A.T. Advanced
Technologies S.r.l.

interdata



Agr. Domenico CIAMPA
Geol. Francesco UCCI

PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta dal geologo Francesco UCCI -n. 205 dell'Albo dei Geologi della Regione Campania- a corredo del **Progetto esecutivo** relativo all'**intervento di consolidamento da dissesto idrogeologico delle Strade provinciali n. 54 e n. 210**, che collegano fra di loro i centri abitati di Morigerati (SA) e della frazione Sicilì ai comuni limitrofi. Si precisa, che questa fase di indagine fa seguito alla consulenza geologica preliminare redatta dallo scrivente nell'ambito dell'opera di studio e progettazione.

Il progetto prevede la realizzazione di opere tese alla stabilizzazione di aree caratterizzate da dissesti idrogeologici che interessano, in questa sede, n. 8 siti dei predetti assi stradali provinciali.

Scopo della presente relazione, quindi, è quello di:

- inquadrare le aree interessate dal progetto nel contesto geologico e geomorfologico generale;
- definire le caratteristiche idrogeologiche generali;
- definire natura e caratteristiche fisico meccaniche dei terreni affioranti;
- caratterizzare la sismicità dei materiali presenti sull'area;
- compiere delle valutazioni riguardanti la stabilità dei siti.

A tal fine, dopo una approfondita ricerca bibliografica, sono stati svolti sopralluoghi, a scala più ampia delle sole aree d'intervento, in cui è stata analizzata la morfologia, gli eventuali dissesti e l'idrografia superficiale. Successivamente, è stata programmata ed eseguita una mirata campagna d'indagini in sito atta ad acquisire degli elementi utili per la ricostruzione stratigrafica e per la caratterizzazione meccanica e sismica dei terreni presenti nei pressi delle sedi stradali interessate dai movimenti franosi.

L'indagine si è articolata essenzialmente nell'esecuzione di quanto segue:

- a) n. 6 Sondaggi a carotaggio continuo;
- b) n. 5 prelievi di campionatura indisturbata e successive analisi di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- c) n. 13 prove penetrometriche SPT effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi;
- d) n. 6 sondaggi sismici MASW;
- e) n. 2 indagini di sismica passiva HVSR

Si riporta, di seguito, il quadro sinottico delle indagini effettuate:

SITO	SONDAGGIO GEOGNOSTICO	PROVA SPT	PROVE LABORATORIO	INDAGINE SISMICA
1	S ₁	SPT ₁ -SPT ₂	S ₁ C ₁	MASW ₁
2	S ₂	SPT ₁ -SPT ₂	S ₂ C ₁	MASW ₂
3	---	---	---	HVSR ₃
4	S ₄	SPT ₁ -SPT ₂	S ₄ C ₁	MASW ₄
5	S ₅	SPT ₁ -SPT ₂	S ₅ C ₁	MASW ₅
6	S ₆	SPT ₁ -SPT ₂	S ₆ C ₁	MASW ₆
7	---	---	---	HVSR ₇
8	S ₈	SPT ₁ -SPT ₂ -SPT ₃	---	MASW ₈

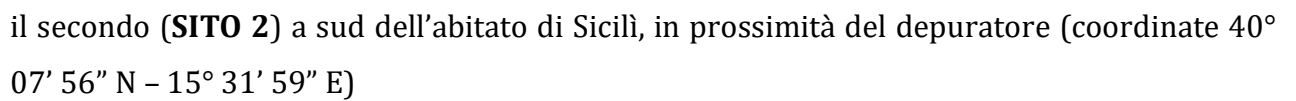
I report grafici, i certificati e le schede relative alle indagini sono riportati in allegato alla presente e della stessa fanno parte integrante.

Gli elaborati cartografici e le relative note di riferimento sono stati redatti secondo gli standard metodologici più diffusi in ambito scientifico, nazionale ed internazionale.

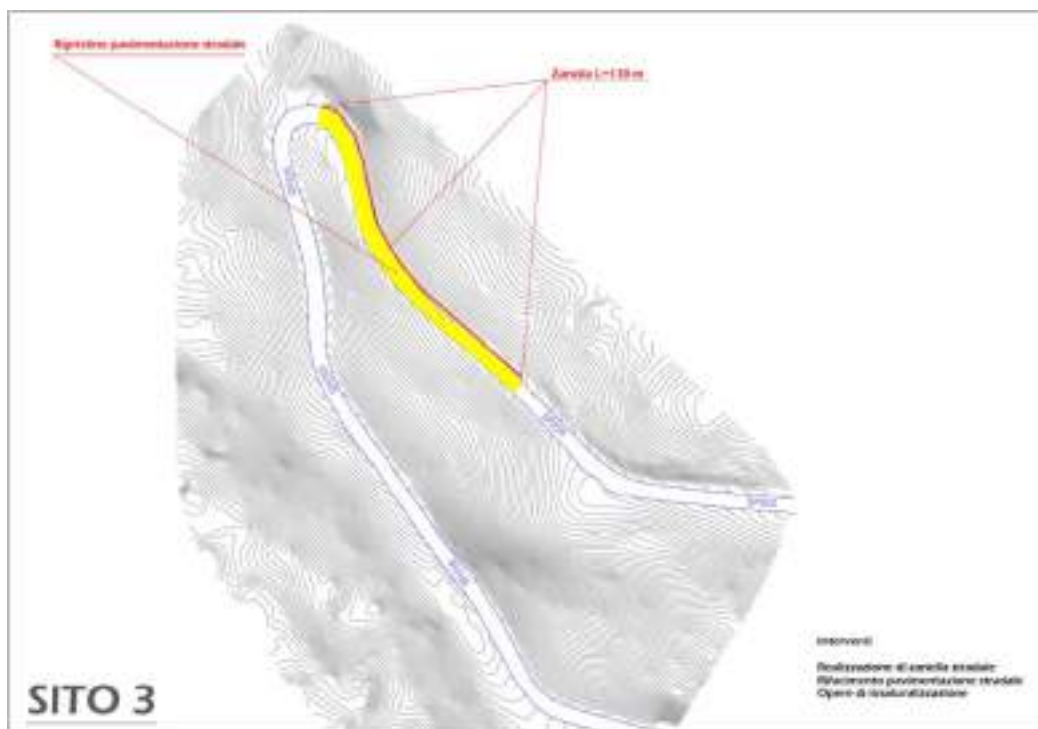
Inoltre, il presente studio è stato redatto anche secondo quanto previsto dalla normativa dell'Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale Sele, territorialmente competente.

Si riporta, di seguito, il report aerofotografico, corredato di riferimenti topografici, dei siti interessati dagli interventi di consolidamento, numerati in ordine successivo (1 ÷ 8).

il primo (**SITO 1**) in corrispondenza dell'immissione sulla SS 517 var (coordinate 40° 08' 53" N - 15° 33' 59" E)

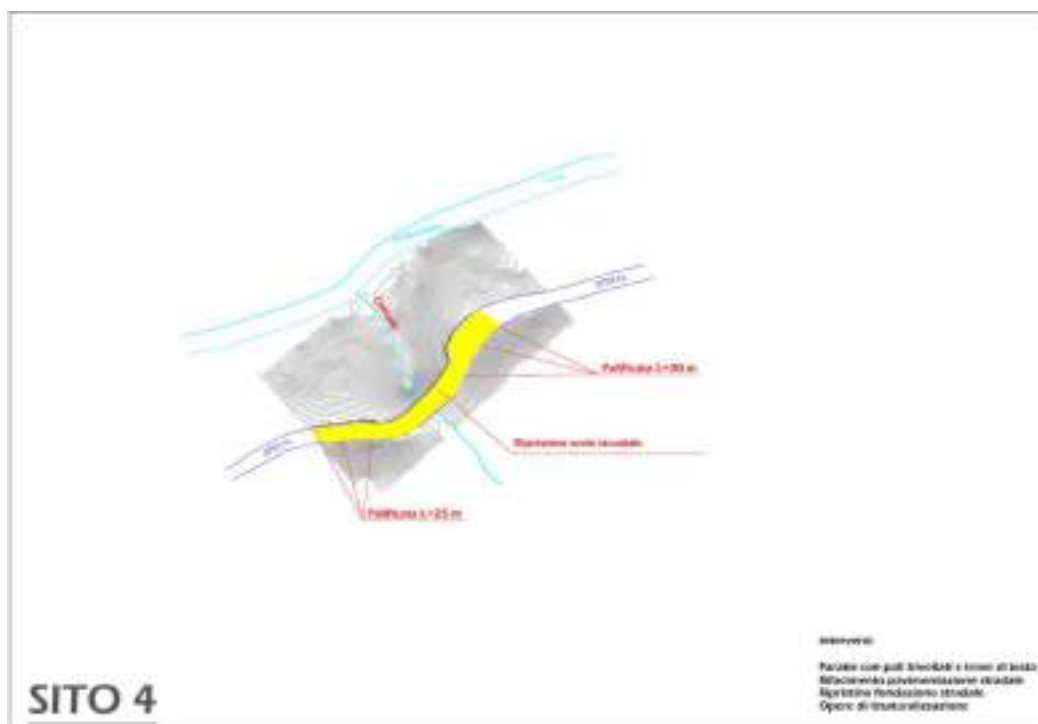


- il terzo (**SITO 3**) a circa 700 metri dall'immissione della SP 54 (coordinate 40° 07' 59" N – 15° 32' 57" E).

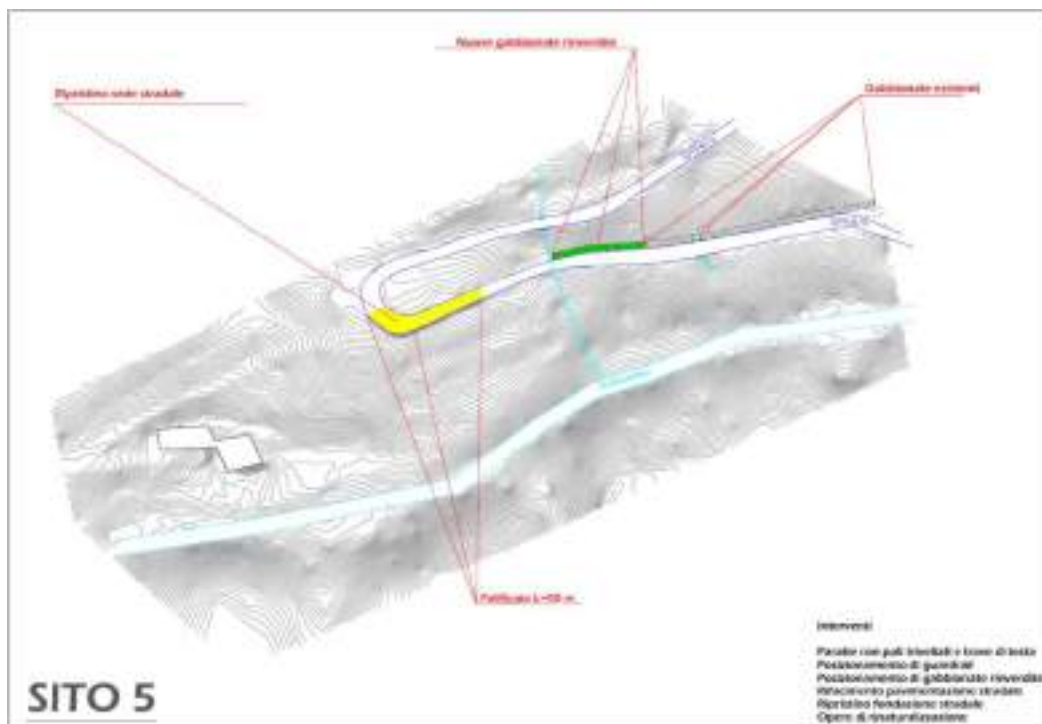


Lungo la Strada Provinciale 54 sono invece previsti cinque interventi, di cui quattro lungo i tornanti che collegano il centro abitato di Morigerati alla Strada Provinciale 210, mentre il quinto e ultimo è previsto a metà strada tra il centro abitato di Morigerati e la Strada Provinciale 16.

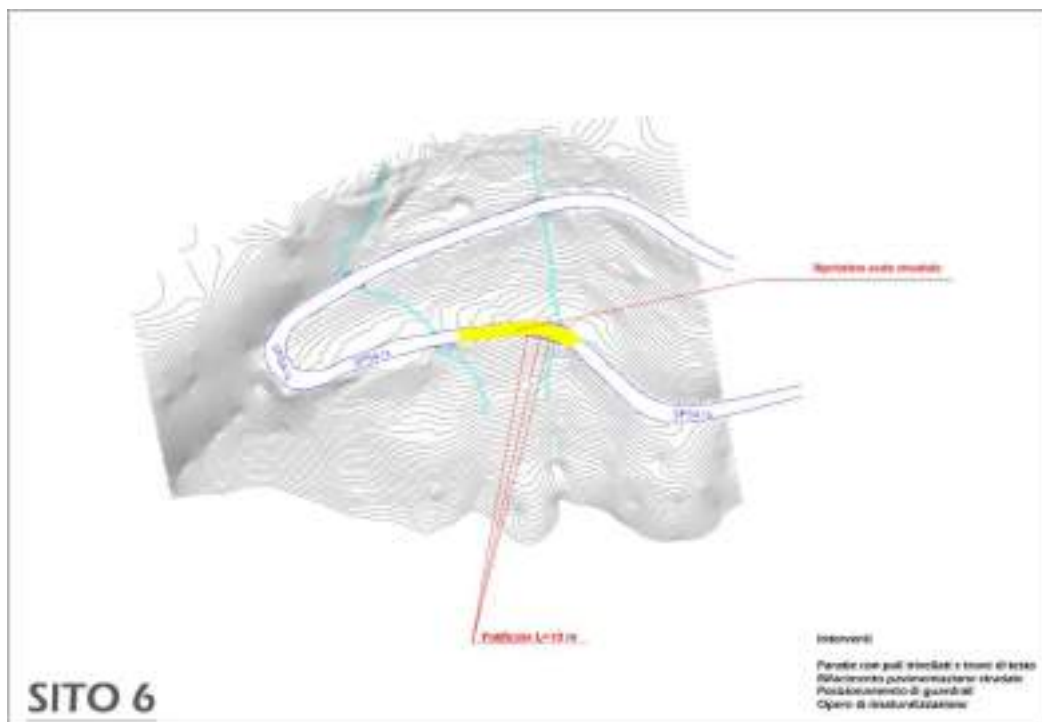
- il primo (**SITO 4**) alle coordinate 40° 08' 18" N – 15° 33' 47" E;



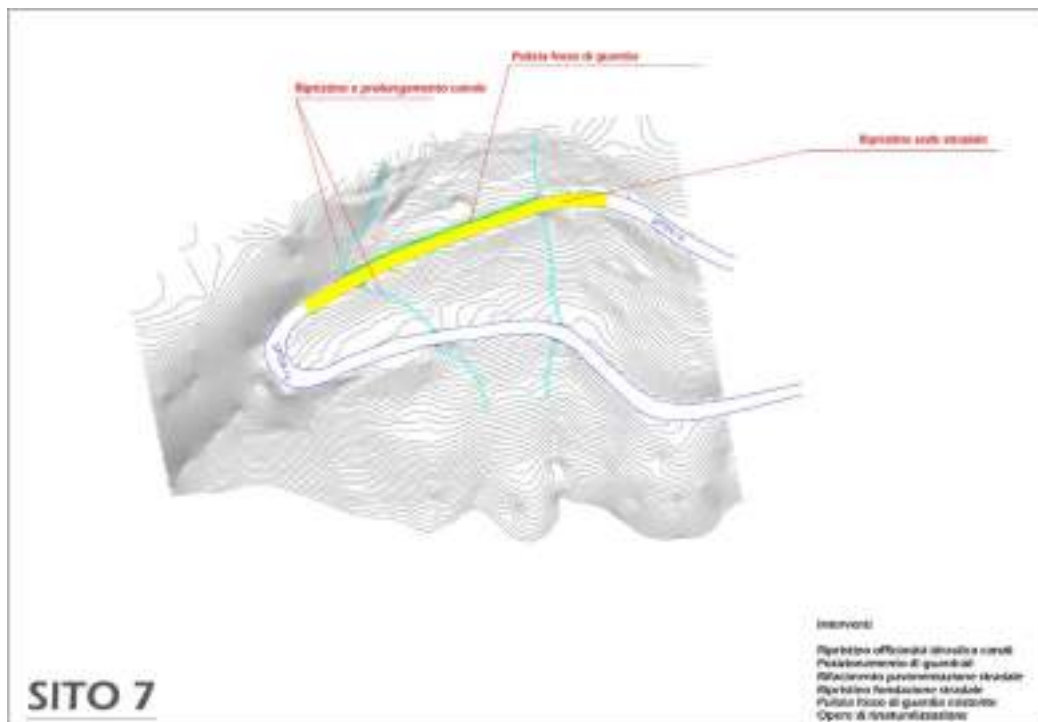
- il secondo (**SITO 5**) alle coordinate 40° 08' 21" N – 15° 33' 43" E



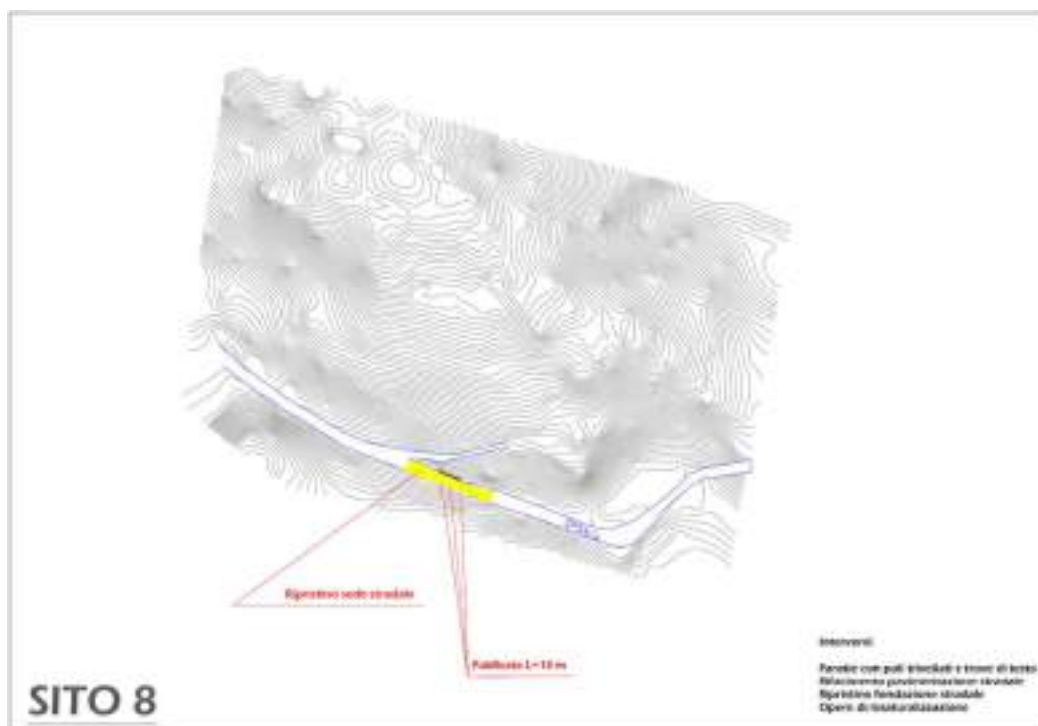
- il terzo (**SITO 6**) alle coordinate 40° 08' 27" N – 15° 33' 46" E;



- il quarto (**SITO 7**) alle coordinate 40° 08' 28" N – 15° 33' 48" E);



- il quinto (**SITO 8**) alle coordinate 40° 08' 54" N – 15° 33' 38" E.



La Relazione geologica è corredata delle seguenti tavole tematiche ed allegati:

- **COROGRAFIA**
- **CARTA GEOLITOLOGICA**
- **CARTA GEOMORFOLOGICA**
- **CARTA DELLE COPERTURE SCIOLTE**
- **STRALCIO CARTA RISCHIO DA FRANA DEL P.A.I.**
- **STRALCIO CARTA PERICOLOSITÀ DA FRANA DEL P.A.I.**
- **STRALCIO CARTA INVENTARIO FRANE**
- **STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO**
- **CERTIFICATI ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO**
- **RAPPORTO SULLE INDAGINI GEOFISICHE E MODELLAZIONE SISMICA DI SITO**

Le indagini in sito sono state eseguite in prossimità di ciascun punto d'intervento: per l'esatta ubicazione delle stesse, si rimanda ai correlati elaborati presenti in allegato.

1. RIFERIMENTI LEGISLATIVI E APPROCCIO METODOLOGICO

La presente relazione geologica è stata redatta in ottemperanza di quanto previsto dalla vigente legislazione in materia; in particolare considerando i dettami della Legge della Regione Campania 9/83, della L. 64/74, delle NTC 2018 di cui al D.M. 17/01/2018, nonché delle Norme di Attuazione a corredo del vigente PSAI di competenza dell'Autorità di Bacino Campania Sud ed Interregionale del Fiume Sele.

Gli interventi previsti interesseranno esclusivamente la rete viaria esistente.

Sono state condotte osservazioni sulla morfologia e geologia dell'area d'interesse e delle zone limitrofe, sia mediante sopralluoghi, sia attraverso la consultazione della cartografia tematica a disposizione.

Detta fase d'indagine ha consentito di ricostruire l'andamento geologico e di valutare, mediante correlazioni bibliografiche, le principali caratteristiche fisiche dei litotipi rinvenuti.

Si è ritenuto, pertanto, integrare il descritto rilevamento geologico con il programma di indagini dirette riportato in Premessa; successivamente, i dati di campagna sono stati confrontati con le risultanze reperite nella Letteratura tecnica disponibile.

La risposta tecnica dei terreni superficiali individuati è stata valutata in condizioni cautelative, considerando quanto riportato nella bibliografia tecnica ufficiale e in precedenti lavori effettuati in zona e/o sui medesimi litotipi. Tutto ciò allo scopo di consentire al progettista di individuare le eventuali opere che consentano la compatibilità idrogeologica delle opere da realizzare, nonché le condizioni di sicurezza delle stesse, senza condizionare oltremodo l'equilibrio idrogeologico del circostante ambito geomorfologico di riferimento.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

2.1 Inquadramento Geologico regionale

L'intera area rientra nell'ambito della c.d. "Provincia Morfostrutturale Cilentana" (Guida et alii, 1980), che rappresenta una subunità della più vasta Regione Tettonica Campano-Lucana.

Per avere una chiara visione delle caratteristiche geologiche dell'area in titolo non si può prescindere da una conoscenza generale dell'assetto stratigrafico e strutturale del territorio regionale. Tanto è stato possibile dalla consultazione/correlazione del Foglio Geologico "520 - Sapri", scala 1: 50.000, del Progetto CARG in corso di stampa da parte dell'ISPRA e della Carta Geolitologica del substrato -Elementi 503071 e 503074- a cura dell'Autorità Regionale di Bacino ex Sinistra Sele nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (aggiornamento 2012).

Il Cilento è una delle aree geologicamente più interne dell'Appennino Meridionale, dove i terreni affioranti possono essere ricondotti a due grandi insiemi, nettamente differenti per litologia e posizione strutturale e provenienti da domini paleogeografici ben distinti:

- le unità terrigene, note come "Internidi";
- la successione carbonatica di piattaforma, nota come piattaforma carbonatica interna dell'Appennino Meridionale o dei Monti Alburno-Cervati-Pollino con la sua copertura terrigena (Cocco & Pescatore, 1968; Ogniben, 1969; ecc.).

Le unità terrigene "Internidi" sono costituite da torbiditi bacinali argilloso- calcaree ed argilloso-arenacee, di età per lo più Oligo-Miocenica, originariamente deposte su un substrato di tipo oceanico o su crosta continentale assottigliata. Esse sono strutturate in almeno tre unità tettoniche, intendendo per "unità tettonica" un corpo roccioso, di importanza regionale, limitato alla base e al tetto (quando affiorante) da superfici di scorrimento e che si differenzia dalle altre unità tettoniche per diverse caratteristiche strutturali e per una diversa successione stratigrafica.

Si tratta dei terreni riferibili, dall'alto verso il basso, alle seguenti formazioni:

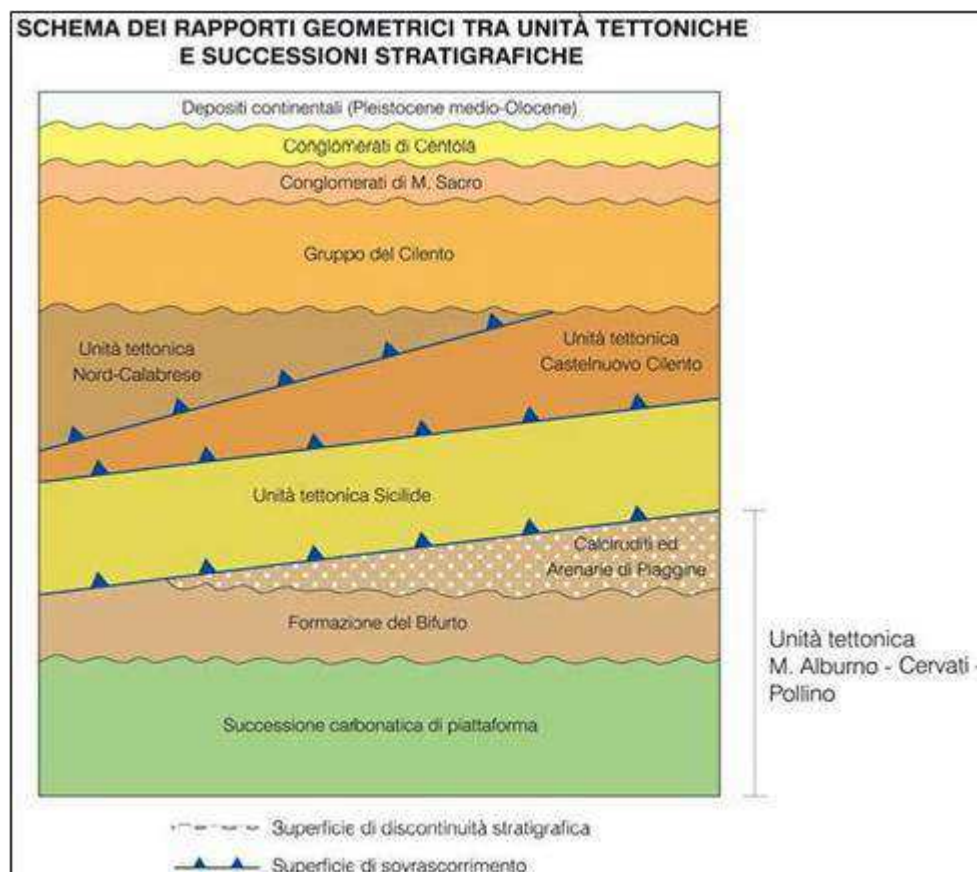
- Unità Nord-calabrese (formazioni delle Crete Nere e del Saraceno) di Bonardi et alii (1988);
- Terreni ad "Affinità Sicilide" Auctt. (Bonardi et alii, 1988);
- Terreni delle Unità Sicilidi s.s.

Sull'unità tettonica più alta giace in discordanza una successione torbiditica sintettonica prevalentemente arenacea e marnoso-arenacea, di bacino confinato di età miocenica media, riferibile al Gruppo del Cilento Auctt., correlata con la Formazione di Albidona del confine calabro-lucano (Selli, 1962; Ietto et alii, 1965; Vezzani, 1970; ecc.), e quindi i Conglomerati di Monte Sacro del Miocene superiore, correlati con il Flysch del Gorgoglione (Amore et alii, 1988; Guerra et alii, 1993).

La successione carbonatica affiorante è costituita da calcari di piattaforma, di età compresa tra il Cretacico inferiore ed il Miocene inferiore (Selli, 1957, 1962; Sgroso, 1968; Cestari, 1961; ecc.), su cui poggiano in discordanza argille e marne emipelagiche con intercalazioni di torbiditi calcareo-marnose di bacino profondo del Miocene medio (Formazione del Bifurto) ed un'unità terrigena di piggy back costituita da brecce e torbiditi arenaceo-pelitiche del Miocene medio e superiore (Calciruditi ed Arenarie di Piaggine).

Ancora oggi i rapporti tra le unità "Internidi" e i carbonati sono quasi ovunque di sovrapposizione tettonica delle prime sulla successione carbonatica; tuttavia, localmente queste relazioni di sovrapposizione sono rielaborate e mascherate dalla tettonica recente, responsabile del forte sollevamento dei carbonati e di locale inversione dei rapporti. Infatti, quasi sempre, le cime più alte sono costituite da rilievi carbonatici (come Monte Bulgheria, a ovest, e Monte Rotondo a est), mentre le unità pelitico-arenacee, più facilmente erodibili, sono conservate solo nelle valli e nei bassi strutturali. I rilevamenti e i nuovi dati di terreno hanno sostanzialmente confermato la strutturazione in unità tettoniche e successioni sopra sinteticamente illustrata e già descritta da vari Autori (Ogniben, 1969; Amore et alii, 1988; Bonardi et alii, 1988; ecc.).

In sintesi, la successione geometrica delle unità pre-quaternarie che compongono l'edificio strutturale di questo settore del Cilento è così costituita, dall'alto (vedi figura):



- Gruppo del Cilento e Conglomerati di Monte Sacro;
- Unità Nord-Calabrese;
- Unità di Castelnuovo Cilento (cfr. “affinità Sicilide” Auctt.);
- Unità Sicilide;
- Unità carbonatiche dei Monti Alburno-Cervati-Pollino e di Monte Bulgheria.

Su queste unità giacciono in discordanza i depositi continentali, essenzialmente quaternari, riferibili ai Conglomerati di Centola oltre che a più recenti depositi alluvionali e detritici di versante.

Le superfici d'accavallamento mioceniche sono variamente dislocate a varie altezze da elementi tettonici lineari costituiti essenzialmente da faglie normali subverticali a diversa orientazione ed a rigetto variabile.

Il sistema di faglie dirette si compone di elementi maggiori che costituiscono le faglie bordiere dei massicci calcarei e da elementi minori di accompagnamento o vicarianti con le prime.

Il risultato finale della tettonogenesi è la formazione delle più evidenti morfostrutture dell'area e della loro differenziazione in unità minori, su cui hanno agito i processi morfogenetici responsabili dell'attuale conformazione territoriale.

2.2 Inquadramento Geologico locale

Per facilitare la ricostruzione dell'assetto geolitologico di interesse locale, le aree oggetto degli interventi di consolidamento idrogeologico in questione sono riportate sulla **Carta Geolitologica**, come già detto in Premessa, in ordine numerico (da 1 fino ad 8).

L'elaborato delinea i principi formazionali e stratigrafici in senso stretto, secondo le indicazioni contenute nella “Guida al rilevamento geologico” edita dal Servizio Geologico Nazionale (Quaderni, Serie III, vol.1, 1992), dove sono riportate metodologie, simbologia, ecc.

Nella descrizione dei caratteri geolitologici si è proceduto, pertanto, ad un accorpamento delle aree di intervento connotate dalla presenza di analoghe unità litostratigrafiche riferibili alla Letteratura Ufficiale (ISPRA – Servizio Geologico d'Italia – “Progetto CARG”) e alla Carta Geolitologica del substrato -Elementi 503071 e 503074- a cura dell'Autorità Regionale di Bacino Sinistra Sele, secondo lo schema tettonico illustrato in figura.



In particolare, la classificazione e la discriminazione fra elementi geologici ed elementi geolitologici è stata operata secondo i criteri contenuti delle note di Guida, Iaccarino e Perrone (1988), riferite al settore territoriale di Monte Centaurino.

Nel dettaglio, differenziazioni e correlazioni sono riferite a:

- Unità (o Gruppo) litostratigrafica/o (Sequenza geolitologica);
- Formazione litostratigrafica (Complesso geolitologico);
- Membro o intervallo litostratigrafico (Litotipo)

La descrizione del Complesso geolitologico contiene informazioni relative alla:

- a. natura geolitologica;
- b. struttura della stratificazione;
- c. stato di deformazione.

La descrizione del Litotipo aggiunge ai precedenti informazioni relative alla:

- d. granulometria (clasti e matrice);
- e. tessitura;
- f. struttura sedimentaria;
- g. stato fisico (fratturazione e allentamento);
- h. stato chimico-mineralogico (alterazione e ammorbidimento);
- i. spessore dell'orizzonte di alterazione e allentamento.

A tal fine, vengono riconosciute per le aree indagate le principali *unità stratigrafico-strutturali o Gruppi*.

SITO 1

Unità di Castelnuovo Cilento

Formazione del Torrente Trenico

Membro calcilutitico marnoso (TNC1) costituito litologicamente da calcilutiti marnose, calcareniti e marne

Unità litologica (MA_B2) litologicamente costituita da alternanze di marne-calcaree, marne arenacee e argilliti. Deformazione media.

SITI 2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8

Unità Alburno Cervati Pollino

Formazione del Bifurto (BIF) litologicamente costituito da argille, arenarie, calciruditi e calcilutidi

Unità litologica (ABK_B3) litologicamente costituita da argille e marne fluidali (B3), con intercalazioni di olistoliti di varia natura e corpi calciruditici canalizzati passanti verso l'alto a successione arenaceo-pelitiche con A/Ph 0,3-0,7.

SITO 4

Gruppo del Cilento

Formazione di Albidonia

Membro calcareo marnoso (ABD2) costituito litologicamente da calcilutiti e marne

Unità litologica (MC) litologicamente costituita da banchi e banconi di calcareniti e calcilutiti passanti a marne con fratturazione amigdaloide. Fratturazione media.

2.3 Aspetti geomorfologici

L'attuale fisionomia acquisita dall'area rappresenta il prodotto risultante dal controllo strutturale e morfogenetico prodotto sui rilievi dalla tettonica recente e dalle vicissitudini climatiche.

Gli effetti combinati del controllo strutturale acquisito dalla tettogenesi, della neotettonica, della morfogenesi e delle oscillazioni glacioeustatiche del livello del mare, hanno condotto alla formazione delle principali morfostrutture riconosciute nel Cilento.

La morfologia del territorio è contraddistinta da due settori caratterizzati da diverse tipologie di forme e processi differenti:

1. settore dei rilievi carbonatici: caratterizzato da forme a prevalente controllo strutturale, pendenze molto elevate e da numerose scarpate morfologiche;
2. settore dei rilievi flysciodi: caratterizzato da pendenze da medie ad elevate, da irregolarità del profilo dei versanti, riconducibili a frane di substrato, e da una media densità di drenaggio.

In particolare, per la finalità del Progetto, i processi denudazionali a rapido sviluppo sono stati quelli meglio approfonditi, mediante una verifica rispetto alla Cartografia Tematica del P.A.I. vigente, in combinazione con sopralluoghi diretti e interpretazione di foto aeree.

Con riferimento al **PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO** redatto dall'ex A.d.B. Campania Sud ed Interregionale del Fiume Sele, l'area direttamente interessata dalle opere in progetto rientra (si vedano Stralci Cartografici in allegato) in:

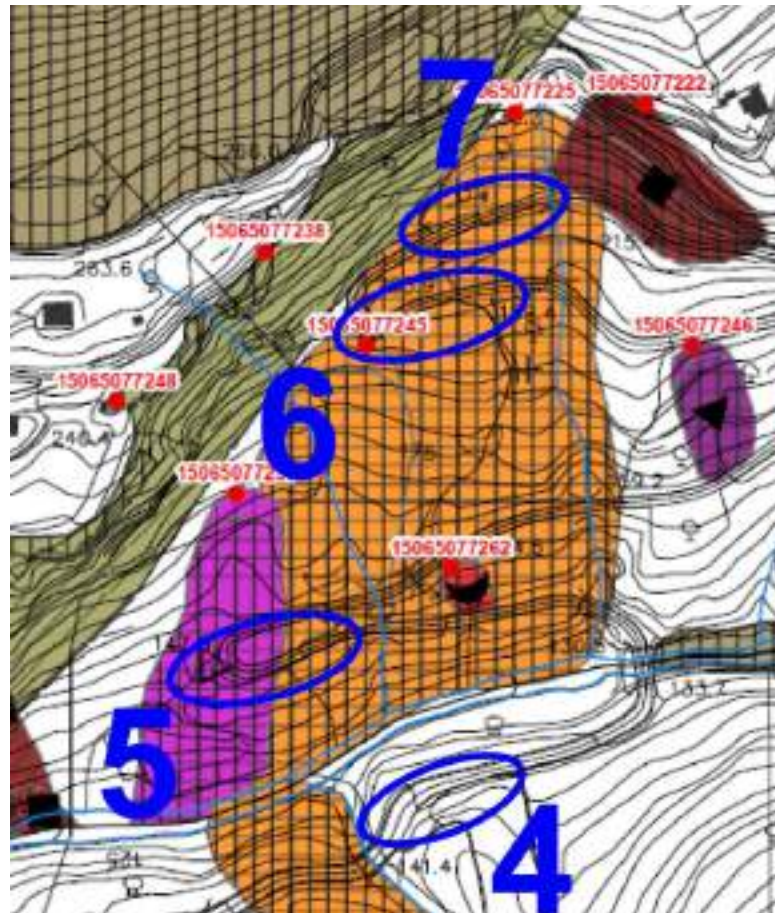
- **Aree a rischio da frana elevato R3**, in corrispondenza del **sito d'intervento n°5**;
- **Aree a rischio da frana molto elevato R4**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n°6 e 7**;
- **Aree a pericolosità d'ambito molto elevata Pa4**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 1**;
- **Aree a pericolosità d'ambito media Pa2**, in corrispondenza del **sito d'intervento n°3**;
- **Aree a pericolosità d'ambito moderata Pa1**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n°4 e 8**;
- **Aree a pericolosità da frana media P2**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 5**;
- **Aree a pericolosità da frana elevata P3**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n°6 e 7**.

L'ambito morfologico di riferimento è quello di versanti caratterizzati dalla presenza di frane di primo distacco; i siti a rischio e a pericolosità reali sono gli unici dove sono cartografati ufficialmente i dissesti riportati sulla "Carta Inventario Fenomeni Franosi" in allegato alla presente.

Le uniche frane ufficialmente censite nell'ambito del vigente P.A.I. interessano i siti d'intervento n° 5, 6 e 7.

I meccanismi d'innescio e i cinematismi sono di due tipi:

- una parte del sito 5 ricade all'interno di un fenomeno complesso, caratterizzato, secondo la classifica del Varnes, come "**scorrimento rotazionale evolvente in colata lenta**", il cui stato di attività risulta "**quiescente**";
- Parte del sito 5 e i siti 6 e 7 per intero ricadono all'interno di un fronte di distacco più ampio, caratterizzato dalla compenetrazione di una serie di piccole "**colate lente**" con stato di attività "**quiescente**".



CLT Colata lenta Intervento 5,6,7									
SCR_CLT Scorrimento rotazionale: Colata lenta Intervento 5									

Gli interventi a farsi ricadenti in aree a rischio reale da frana, sono disciplinati all'Art. 15 - Comma 5 - capo a del Testo Unico Coordinato delle N.T.A dei P.S.A.I. relativi ai bacini idrografici regionali in destra e in sinistra Sele ed interregionale del Fiume Sele, il quale recita testualmente:

" Nelle aree perimetrate a rischio reale molto elevato da frana, in relazione alle opere pubbliche o d'interesse pubblico esistenti, sono ammessi gli interventi necessari per l'adeguamento di opere e infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico;"

2.4 Aspetti idrogeologici

Le diversità geologiche dell'area di studio condizionano notevolmente la circolazione idrica sotterranea in termini idrodinamici e quantitativi; infatti, si possono distinguere tre grandi categorie di terreni, contraddistinte da tipologie differenti per quanto riguarda la permeabilità, l'approfondimento della circolazione idrica, il coefficiente d'infiltrazione potenziale e la potenzialità idrica sotterranea.

Questi si possono riassumere in tre grandi settori:

- i massicci carbonatici;
- i rilievi costituiti dalla successione terrigena e fliscioide;
- i depositi clastici quaternari che riempiono le piane alluvionali dei principali elementi idrografici del territorio.

Le successioni carbonatiche meso-cenozoiche costituiscono le principali fonti di risorse idriche. Esse si compongono essenzialmente di rocce calcaree che, per il comportamento fragile a seguito delle vicissitudini del passato geologico, risultano essere generalmente molto fratturate e che, per la loro composizione chimica, sono soggette a fenomeni carsici mediante i quali l'azione di dissoluzione delle acque meteoriche tende ad ampliare e a sviluppare la rete delle fratturazioni preesistenti fino alla formazione di grandi sistemi carsici epigei ed ipogei. La presenza di queste discontinuità diffuse e dei condotti carsici induce intensi fenomeni di infiltrazione, che si concretizzano in un prevalente deflusso sotterraneo (85/95%) rispetto al ruscellamento superficiale.

Inoltre, l'omogeneità litologica verticale e la sviluppata rete di fratture permettono all'acqua di generare notevoli riserve idriche sotterranee in termini di veri e propri serbatoi (falda di base) al contatto con l'impermeabile relativo sottostante e/o laterale, rappresentato dai depositi terrigeni arenaceo-argillosi. Abbiamo così le Unità idrogeologiche di M.te Cervati/M.te Vesole, M.te Forcella/M.te Salice/M.te Coccovello e M.te Bulgheria che rappresentano, per i motivi sopraesposti, i migliori acquiferi dell'area cilentana (Celico P., 1978; 1982; 1983; Civita M., 1977; Guida D., 1980).

I terreni flyscioidi terrigeni, invece, presentano potenzialità idriche minori in quanto la natura litologica, rappresentata da alternanze di termini conglomeratici, arenacei ed argilloso-marnosi, non permette l'instaurarsi delle stesse condizioni presenti nei massicci carbonatici. In questo caso, infatti, il deflusso idrico globale avviene prevalentemente come ruscellamento superficiale ed in un'aliquota minore come infiltrazione (10-30 %). Tutto ciò è dovuto alla presenza di strati argilloso-marnosi che, agendo da impermeabile relativo, limitano notevolmente il deflusso in

sotterraneo dell'acqua, generando più falde sovrapposte, limitatamente alla porzione più alterata dei versanti, e numerose sorgenti di piccola entità (pochi l/s).

Le aree interessate dai lavori in titolo ricadono per intero nel complesso idrogeologico flyscioide, pertanto non esistono vere e proprie falde idriche, bensì modesti travasi sotterranei legati agli apporti pluviometrici stagionali.

Ciò è stato verificato anche in sede di esecuzione delle indagini: non sono state, infatti, intercettate falde idriche per profondità di interesse geotecnico e pertanto è possibile omettere la verifica del potenziale di liquefazione dei terreni, ai sensi del Cap. 7.11.3.4.2.

3. PIANO DELLE INDAGINI E MODELLO GEOLOGICO-TECNICO LOCALE

Il piano delle indagini in sito è stato articolato come segue:

- n. 6 Sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 5 prelievi campioni con successive analisi di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- n. 13 prove penetrometriche SPT effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi;
- n. 6 sondaggi sismici MASW;
- n. 2 indagine di sismica passiva HVSR

Si riporta, di seguito, il quadro sinottico delle indagini effettuate:

SITO	SONDAGGIO GEOGNOSTICO	PROVA SPT	PROVE LABORATORIO	INDAGINE SISMICA
1	S ₁	SPT ₁ -SPT ₂	S ₁ C ₁	MASW ₁
2	S ₂	SPT ₁ -SPT ₂	S ₂ C ₁	MASW ₂
3	-	-	-	HVSR ₃
4	S ₄	SPT ₁ -SPT ₂	S ₄ C ₁	MASW ₄
5	S ₅	SPT ₁ -SPT ₂	S ₅ C ₁	MASW ₅
6	S ₆	SPT ₁ -SPT ₂	S ₆ C ₁	MASW ₆
7	-	-	-	HVSR ₇
8	S ₈	SPT ₁ -SPT ₂ -SPT ₃	-	MASW ₈

Va precisato che:

- per il sito 3, il rilievo in sito ha evidenziato la presenza in affioramento delle calcareniti della formazione di *Trentinara* (vedi foto a lato); pertanto, considerata anche la modestia dell'intervento a farsi, che riguarda la sola realizzazione della zanella ed il rifacimento del manto stradale, è stata effettuata una registrazione sismica a stazione singola, elaborata con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR;



- per il sito 7, in considerazione degli interventi previsti, della prossimità con il punto 6 e della difficoltà di posizionare la trivella lungo la strada, è stata effettuata solo l'indagine sismica in array lineare MASW.

I report grafici, i certificati e le schede relative alle indagini, compreso i punti di ubicazione delle stesse, sono riportati in allegato alla presente e della stessa fanno parte integrante.

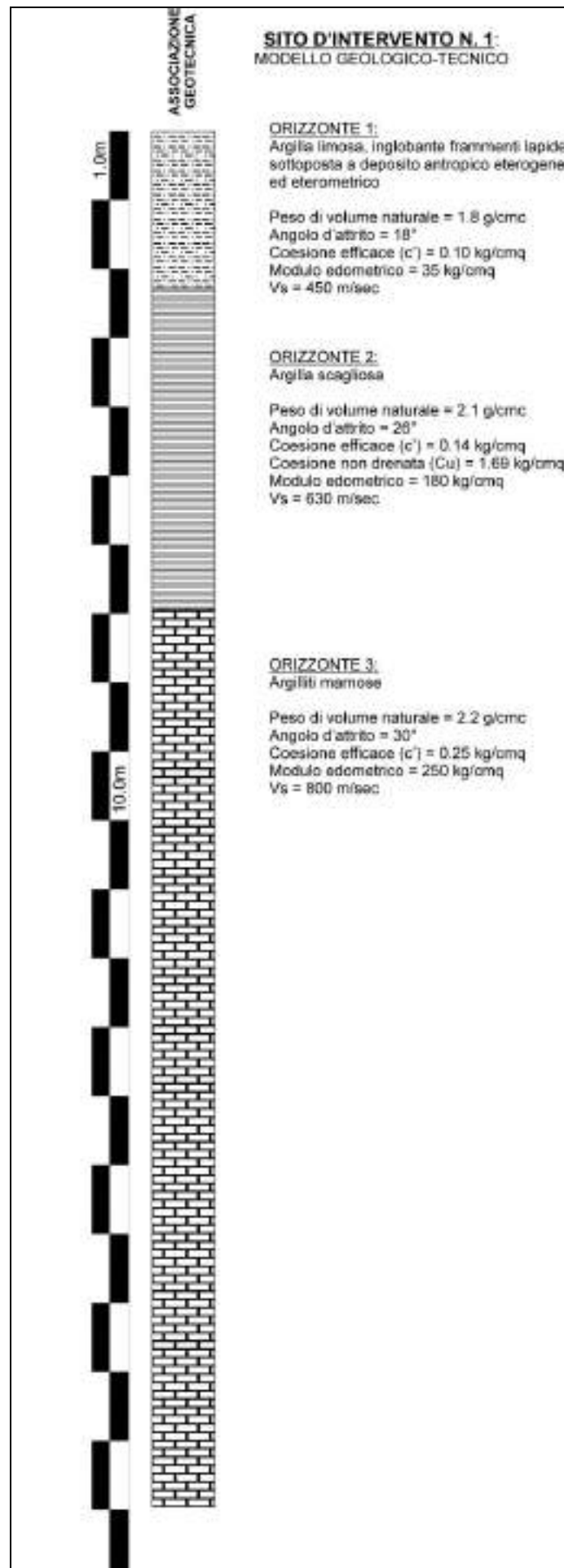
L'analisi dei dati derivanti dal piano di indagini innanzi dettagliato, ha permesso di definire il modello geologico-tecnico locale relativo a ciascun punto d'intervento.

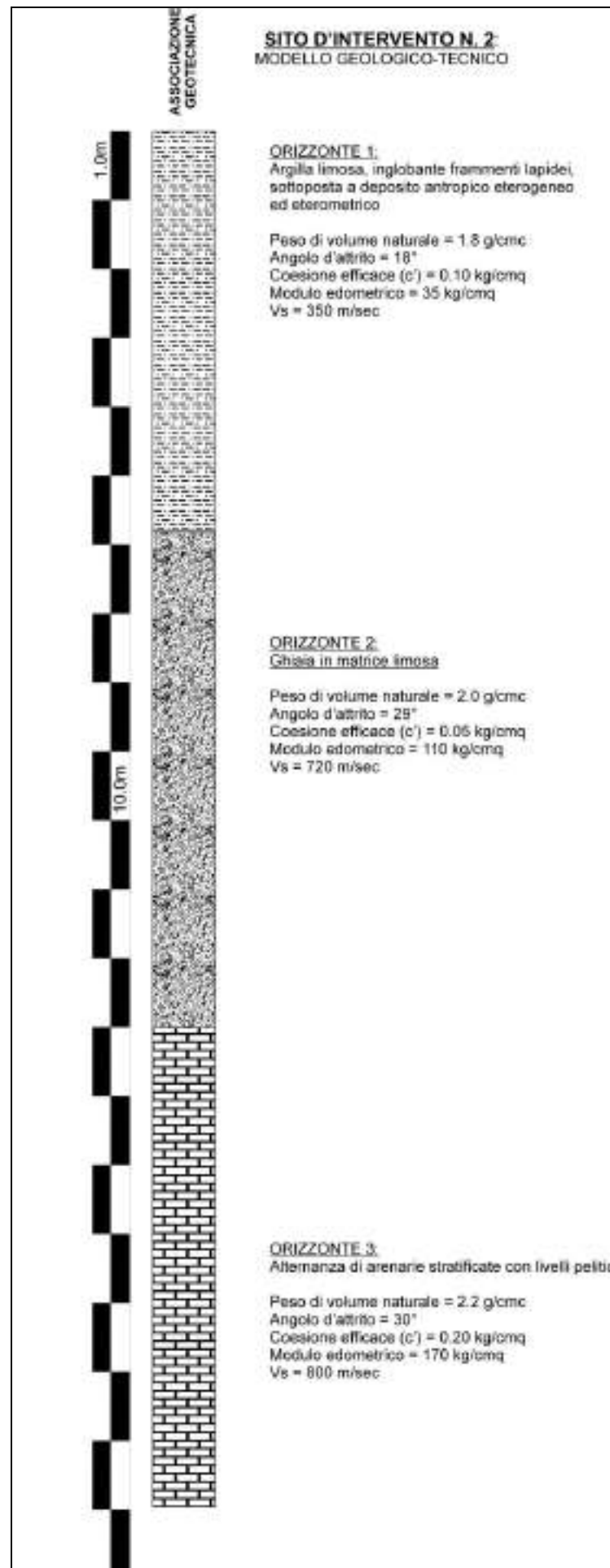
Nelle immagini seguenti sono, appunto, indicati i modelli geotecnici schematici, accorpati per principali associazioni ed opportunamente corredati dei parametri fisico-meccanici e sismici medi, relativi a ciascun orizzonte litologico individuato.

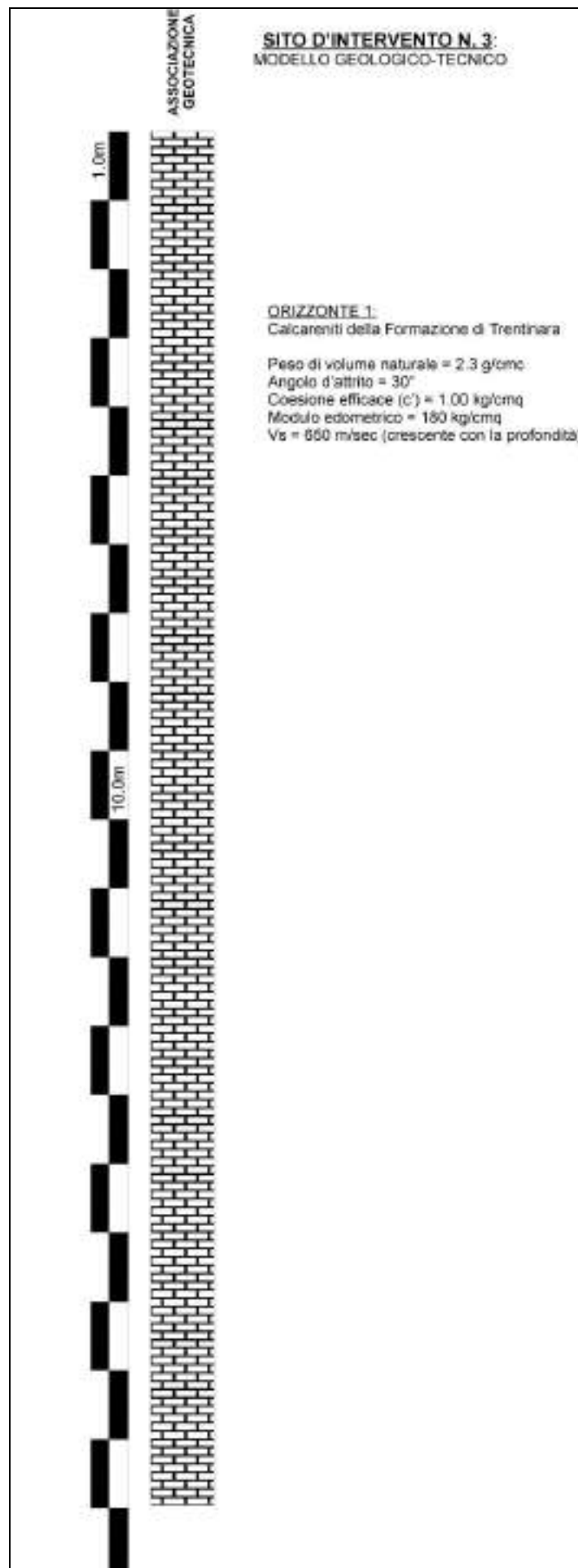
Si precisa che i valori attribuiti ai principali parametri geotecnici degli orizzonti debbono intendersi come assegnazione di riferimenti analitici medi delle sequenze litostratigrafiche intercettate, poiché le stesse proprietà fisicomeccaniche, pur caratterizzando una certa tipologia litologica, possono variare anche sensibilmente da punto a punto in funzione dell'assortimento granulometrico, del grado di consolidazione, dell'umidità, dello stato di alterazione locale, della concentrazione d'acqua ecc..

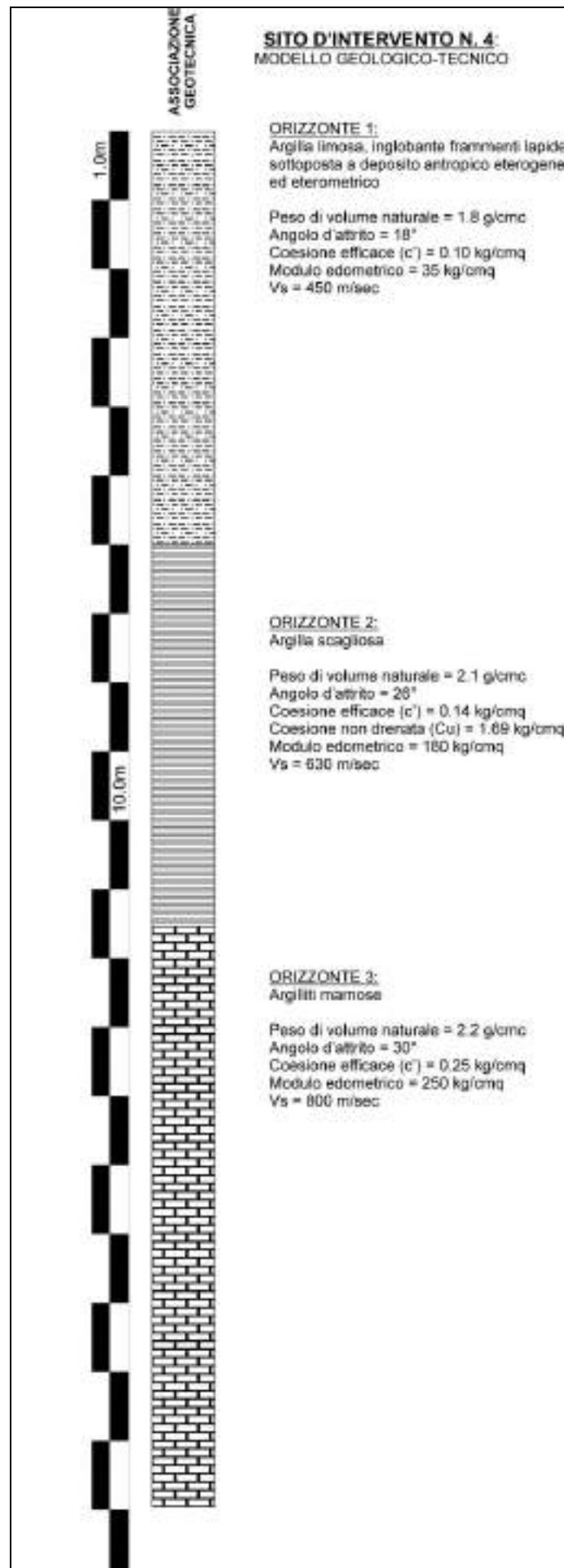
La tipologia ed il dimensionamento delle opere fondali e degli eventuali sistemi di smaltimento delle acque provenienti dagli assi viari e dal versante, fermo restante lo schema geologico descritto, resta di stretta competenza del progettista.

Ancora, durante la realizzazione di eventuali scavi, bisognerà provvedere al posizionamento di opere provvisorie di contenimento in quanto i materiali presenti possiedono una coesione apparente superiore di quella reale che non permette una tenuta in sicurezza dello scavo. Naturalmente sarà compito del progettista prevedere le opportune opere di protezione durante le varie fasi di lavorazione.



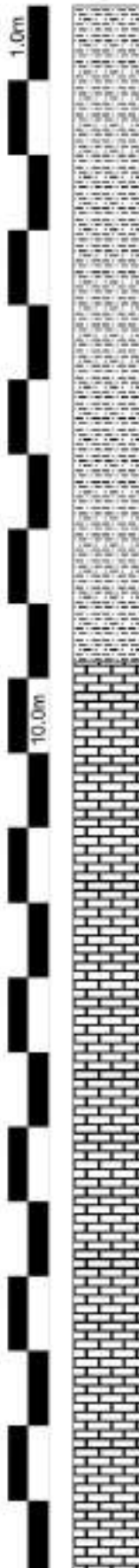






SITO D'INTERVENTO N. 5:
MODELLO GEOLOGICO-TECNICO

ASSOCIAZIONE
GEOTECNICA



ORIZZONTE 1:

Argilla limosa, inglobante frammenti lapidei
sottoposta a deposito antropico eterogeneo
ed eterometrico

Peso di volume naturale = 1.8 g/cm³

Angolo d'attrito = 16°

Coesione efficace (c') = 0.09 kg/cm²

Modulo edometrico = 30 kg/cm²

Vs = 390 m/sec

ORIZZONTE 2:

Argilliti marnose

Peso di volume naturale = 2.1 g/cm³

Angolo d'attrito = 30°

Coesione efficace (c') = 0.25 kg/cm²

Modulo edometrico = 250 kg/cm²

Vs = 640 m/sec

SITO D'INTERVENTO N. 6:
MODELLO GEOLOGICO-TECNICO



ORIZZONTE 1:

Argilla limosa, inglobante frammenti lapidei, sottoposta a deposito antropico eterogeneo ed eterometrico

Peso di volume naturale = 1.8 g/cm³
Angolo d'attrito = 17°
Coesione efficace (c') = 0.08 kg/cm²
Modulo edometrico = 30 kg/cm²
Vs = 310 m/sec

ORIZZONTE 2:

Ghiaia in matrice limosa

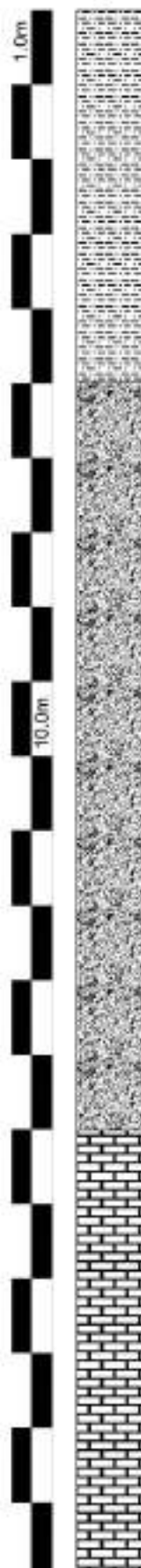
Peso di volume naturale = 2.0 g/cm³
Angolo d'attrito = 26°
Coesione efficace (c') = 0.05 kg/cm²
Modulo edometrico = 110 kg/cm²
Vs = 470 m/sec

ORIZZONTE 3:

Alternanza di arenarie stratificate con livelli pellici

Peso di volume naturale = 2.2 g/cm³
Angolo d'attrito = 30°
Coesione efficace (c') = 0.20 kg/cm²
Modulo edometrico = 180 kg/cm²
Vs = 800 m/sec

SITO D'INTERVENTO N. 7:
MODELLO GEOLOGICO-TECNICO



ORIZZONTE 1:

Argilla limosa, inglobante frammenti lapidei,
sottoposta a deposito antropico eterogeneo
ed eterometrico

Peso di volume naturale = 1.8 g/cm³
Angolo d'attrito = 17°
Coesione efficace (c') = 0.08 kg/cm²
Modulo edometrico = 30 kg/cm²
Vs = 310 m/sec

ORIZZONTE 2:

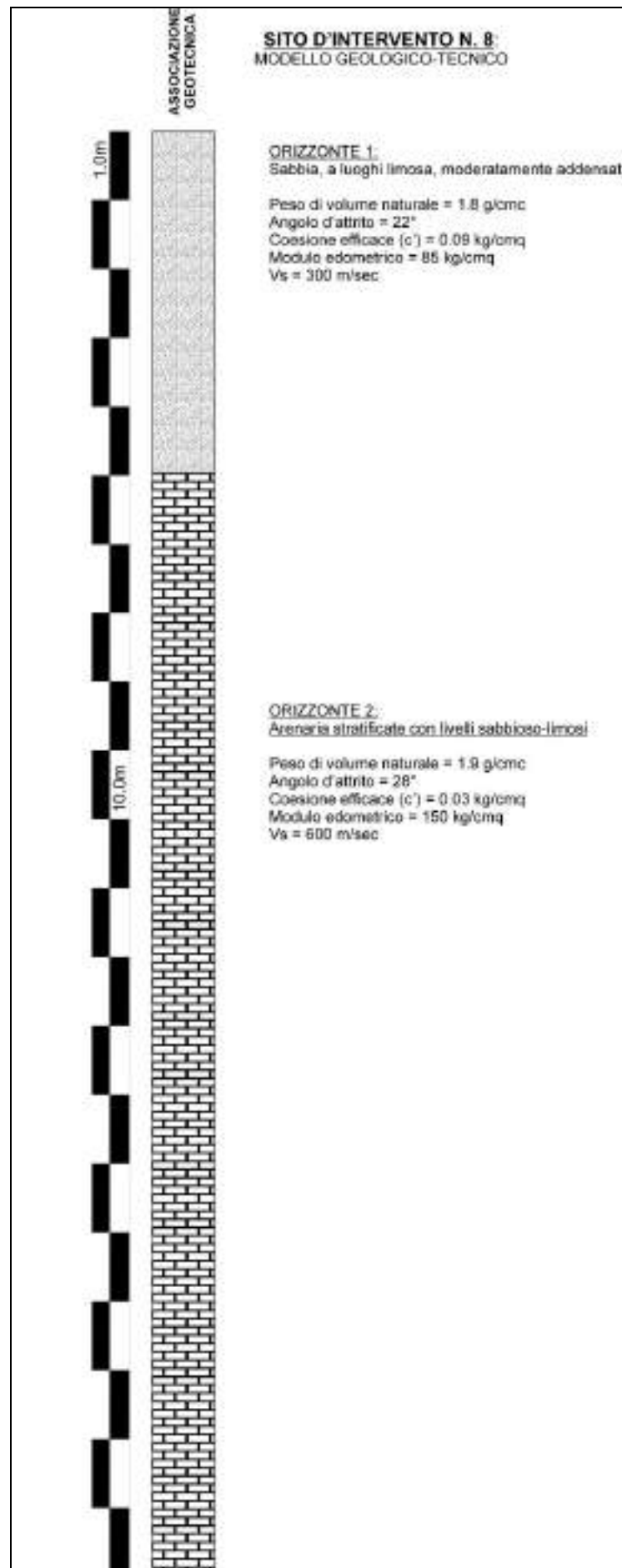
Ghiaia in matrice limosa

Peso di volume naturale = 2.0 g/cm³
Angolo d'attrito = 26°
Coesione efficace (c') = 0.05 kg/cm²
Modulo edometrico = 110 kg/cm²
Vs = 470 m/sec

ORIZZONTE 3:

Alternanza di arenarie stratificate con livelli pelitici

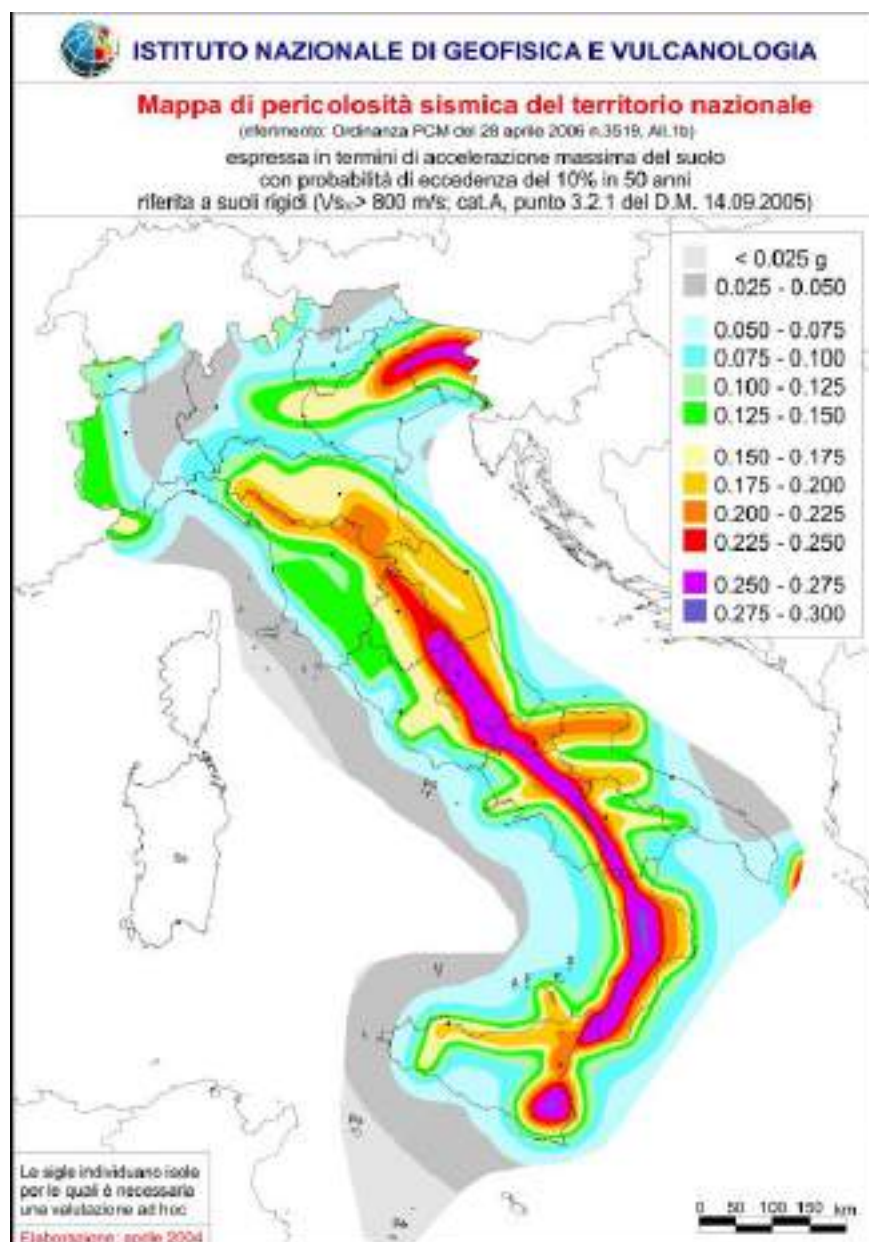
Peso di volume naturale = 2.2 g/cm³
Angolo d'attrito = 30°
Coesione efficace (c') = 0.20 kg/cm²
Modulo edometrico = 180 kg/cm²
Vs = 600 m/sec



4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

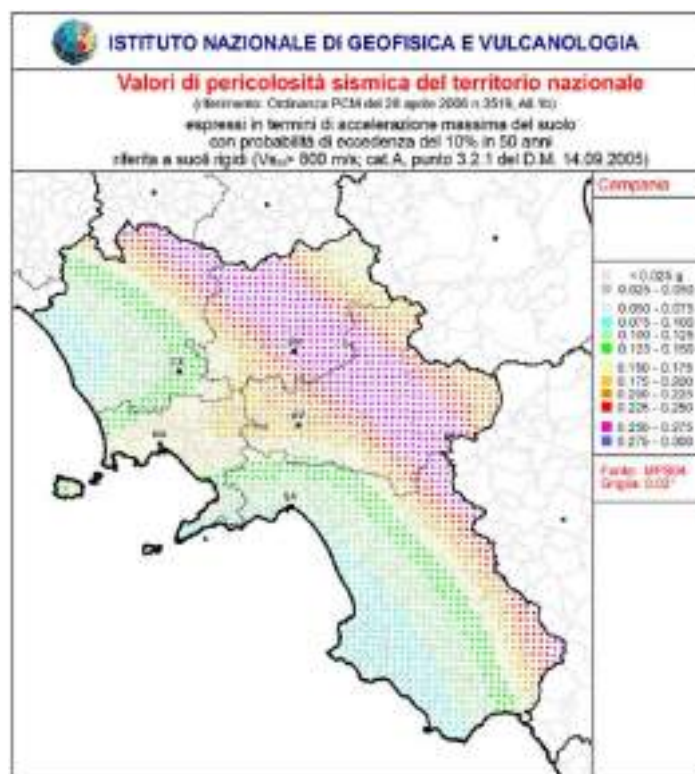
Il Comune di Morigerati (codice ISTAT 15065077) rientra nella Zona sismica II, per cui l'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A è di 0,25 g.

In seguito all'entrata in vigore dell'OPCM 3274/2003 è stata realizzata una mappa di pericolosità sismica che rappresenta un riferimento per l'individuazione delle zone sismiche; la norma, infatti, afferma che *"Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella (...) e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso, i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni"*.

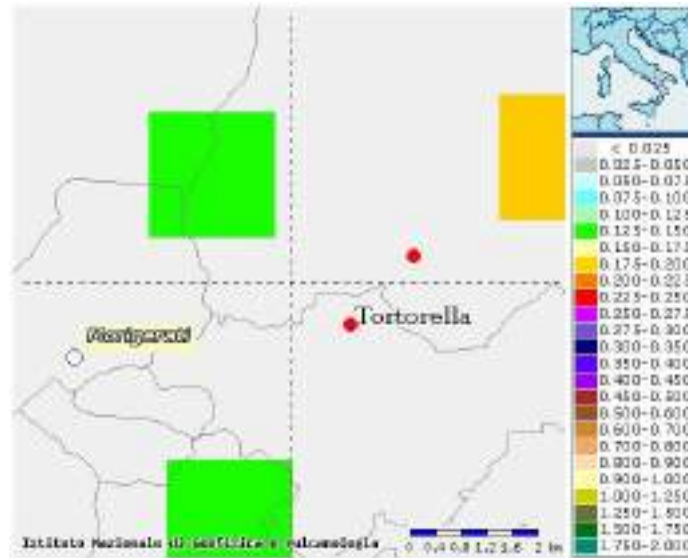


La carta di pericolosità sismica per la Campania, prevede la presenza di 8 classi di amax con valori che variano gradualmente da 0,075 g lungo la costa a 0,275 g in Irpinia; fanno eccezione le aree vulcaniche del Vesuvio-Ischia-Campi Flegrei dove si hanno valori compresi tra 0,175 g e 0,200 g.

In seguito all'OPCM 3519/2006 che specifica i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006), e stata realizzata una nuova carta di pericolosità sismica di riferimento del territorio nazionale nella quale i valori di pericolosità sismica sono sempre espressi in termini di ag, con un passo di 0,05°



Dal particolare della carta in figura successiva si evince che l'intero territorio preso in esame presenta valori di ag compresi tra 0,100 e 0,150 g.



Per ciò che attiene la modellazione sismica e gli spettri di risposta elastici relativi a ciascuno dei siti d'intervento, si rimanda agli elaborati sulle indagini geofisiche presenti in allegato, così come elaborati dal responsabile delle indagini sismiche, Dott. Geol. Francesco Cuccurullo.

5. RIEPILOGO E CONCLUSIONI

La presente relazione geologica è stata redatta a corredo del **Progetto definitivo** relativo all'**intervento di consolidamento da dissesto idrogeologico delle Strade provinciali n. 54 e n. 210**, che collegano fra di loro i centri abitati di Morigerati (SA) e della frazione Sicilì ai comuni limitrofi.

Dal punto di vista dei litotipi in affioramento, le aree indagate sono state accorpate in base alle principali unità stratigrafico-strutturali o Gruppi, secondo lo schema seguente:

SITO 1

Unità di Castelnuovo Cilento

Formazione del Torrente Trenico

Unità litologica costituita da alternanze di marne-calcaree, marne arenacee e argilliti. Deformazione media.

SITI 2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8

Unità Alburno Cervati Pollino

Formazione del Bifurto (BIF) litologicamente costituito da argille, arenarie, calciruditi e calcilutiti

Unità litologica (ABK_B3) litologicamente costituita da argille e marne fluidali (B3), con intercalazioni di olistoliti di varia natura e corpi calciruditici canalizzati passanti verso l'alto a successione arenaceo-pelitiche.

SITO 4

Gruppo del Cilento

Formazione di Albidonia

Unità litologica costituita da banchi e banconi di calcareniti e calcilutiti passanti a marne con fratturazione amigdaloidale.

Le aree interessate dai lavori in titolo ricadono per intero nel complesso idrogeologico flyscioide, pertanto non esistono vere e proprie falde idriche, bensì modesti travasi sotterranei legati agli apporti pluviometrici stagionali.

Ciò è stato verificato anche in sede di esecuzione delle indagini: non sono state, infatti, intercettate falde idriche per profondità di interesse geotecnico e pertanto è possibile omettere la verifica del potenziale di liquefazione dei terreni, ai sensi del Cap. 7.11.3.4.2.

Con riferimento al **PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO** redatto dall'ex A.d.B. Campania Sud ed Interregionale del Fiume Sele, l'area direttamente interessata dalle opere in progetto rientra (si vedano Stralci Cartografici in allegato) in:

- **Aree a rischio da frana elevato R3**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 5**;
- **Aree a rischio da frana molto elevato R4**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n° 6 e 7**;
- **Aree a pericolosità d'ambito molto elevata Pa4**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 1**;
- **Aree a pericolosità d'ambito media Pa2**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 3**;
- **Aree a pericolosità d'ambito moderata Pa1**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n° 4 e 8**;
- **Aree a pericolosità da frana media P2**, in corrispondenza del **sito d'intervento n° 5**;
- **Aree a pericolosità da frana elevata P3**, in corrispondenza dei **siti d'intervento n° 6 e 7**.

Gli interventi a farsi ricadenti in aree a rischio reale da frana, sono disciplinati all'Art. 15 - Comma 5 - capo a del Testo Unico Coordinato delle N.T.A dei P.S.A.I. relativi ai bacini idrografici regionali in destra e in sinistra Sele ed interregionale del Fiume Sele, il quale recita testualmente:
" Nelle aree perimetrate a rischio reale molto elevato da frana, in relazione alle opere pubbliche o d'interesse pubblico esistenti, sono ammessi gli interventi necessari per l'adeguamento di opere e infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico;".

In questo caso le frane sono correlabili alla presenza in affioramento e sub-affioramento di depositi terrigeni in facies di flysch, caratterizzati da una forte eterogeneità granulometrica e gli stessi sono fortemente condizionati soprattutto da aliquote di acqua meteorica di infiltrazione che imbibisce e tende a plasticizzare le componenti coesive.

In assenza di tagli antropici per l'ampliamento della sede stradale e con interventi finalizzati ad ovviare allo stato di disordine idraulico sui versanti, mediante la realizzazione e la manutenzione di opere di regimentazione delle acque superficiali e la realizzazione di opere di contenimento localizzate, si esclude che i lavori in progetto possano costituire un fattore di aggravio delle condizioni di rischio tale da compromettere la stabilità delle aree di indagine, adeguandosi a quanto indicato nelle disposizioni generali della Normativa di Attuazione del P.S.A.I. e quindi, sono **compatibili dal punto di vista idrogeologico**

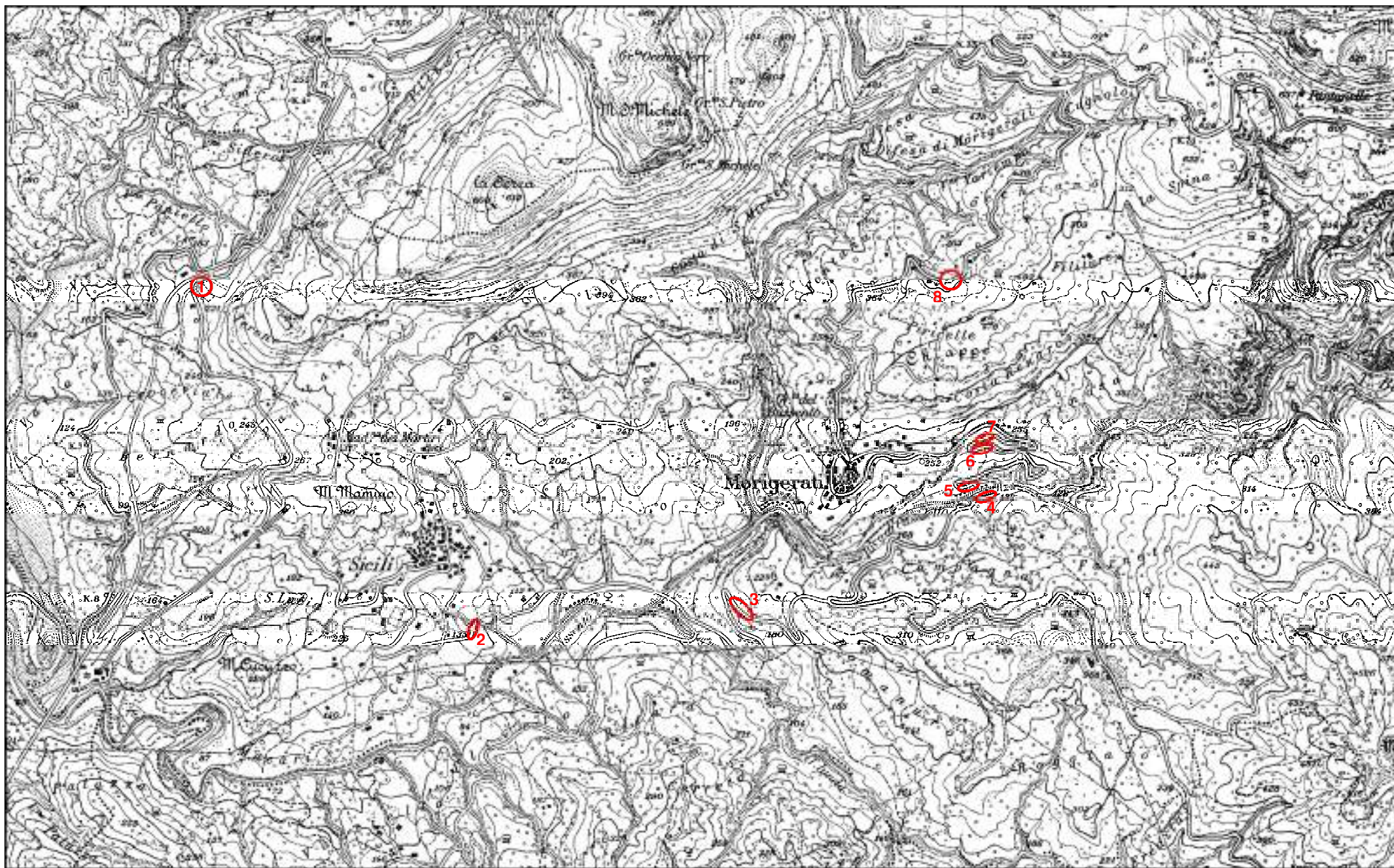
geologo Francesco Ucci



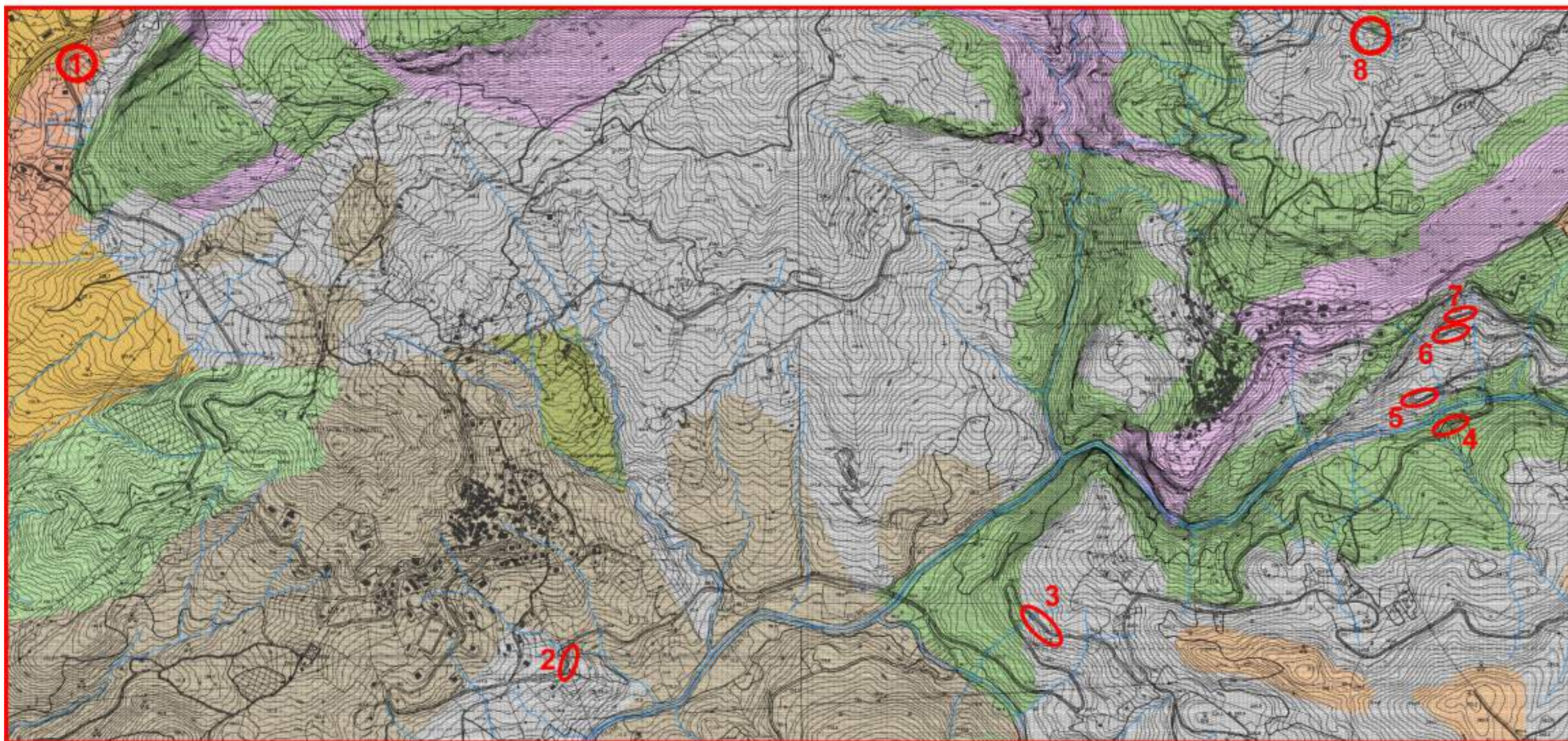
ALLEGATI

- **COROGRAFIA**
- **CARTA GEOLITOLOGICA**
- **CARTA GEOMORFOLOGICA**
- **CARTA DELLE COPERTURE SCIOLTE**
- **STRALCIO CARTA RISCHIO DA FRANA DEL P.A.I.**
- **STRALCIO CARTA PERICOLOSITÀ DA FRANA DEL P.A.I.**
- **STRALCIO CARTA INVENTARIO FRANE**
- **STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO**
- **CERTIFICATI ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO**
- **RAPPORTO SULLE INDAGINI GEOFISICHE E MODELLAZIONE SISMICA DI SITO**

COROGRAFIA IN SCALA 1:25.000 CON UBICAZIONE SITI D'INTERVENTO



CARTA GEOLITOLOGICA CON UBICAZIONE AREE D'INTERVENTO



Calclutiti marnose calcareniti marne		MA_B2	Alternanze di marne-calcaree, marne arenacee e argilliti. Deformazione media.
Argille arenarie calciruditi calclutiti		ABK_B3	Argille e marne fluidali (B3), con intercalazioni di olistoliti di varia natura e corpi calciruditi canalizzati passanti verso l'alto a successione arenaceo-pelitiche con A/Ph 0,3-0,7
Calclutiti marne		MC	Banchi e banconi di calcareniti e calclutiti passanti a marne con fratturazione amigdaloidale. Fratturazione media.

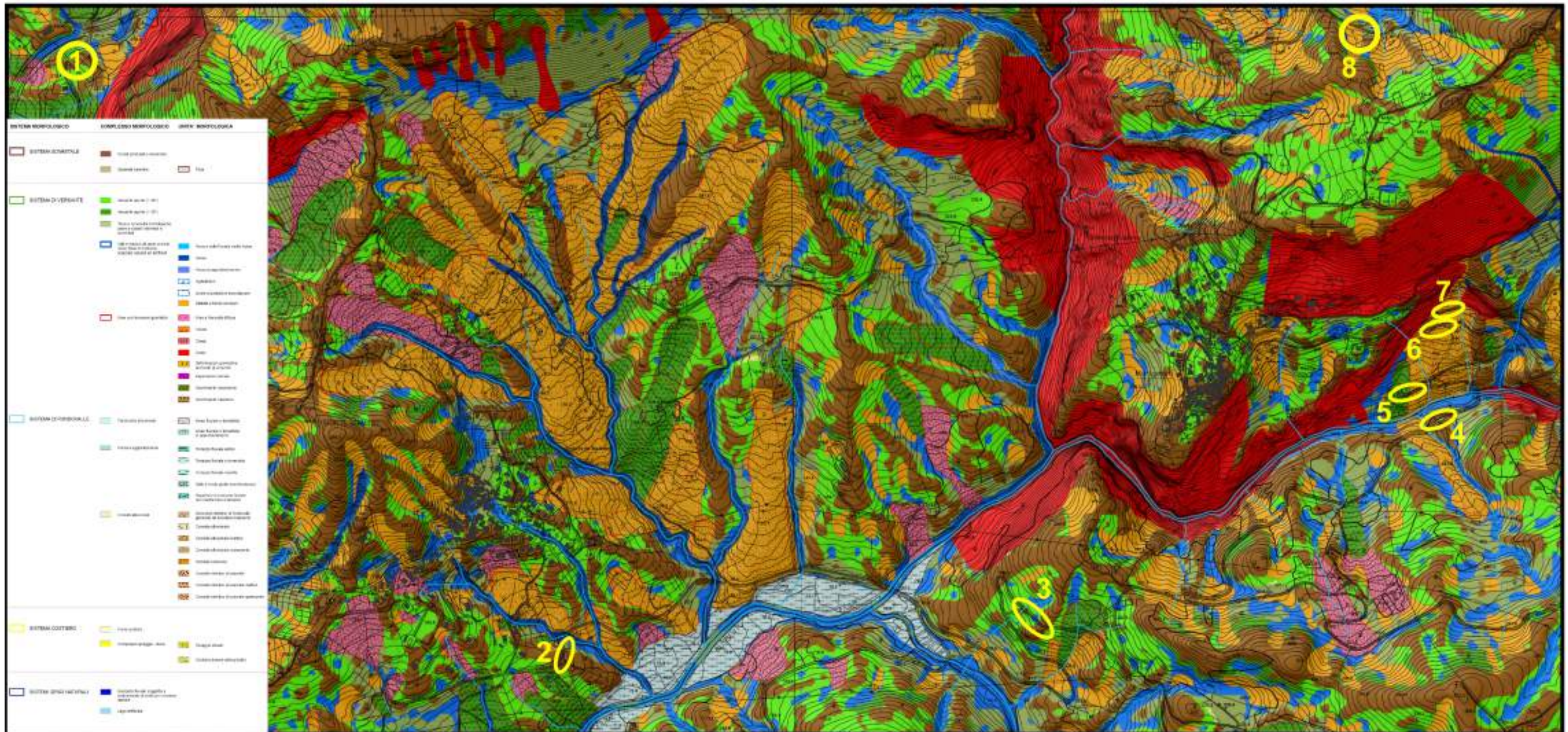
Intervento 1

**Intervento 2,
3, 5, 6, 7, 8**

Intervento 4

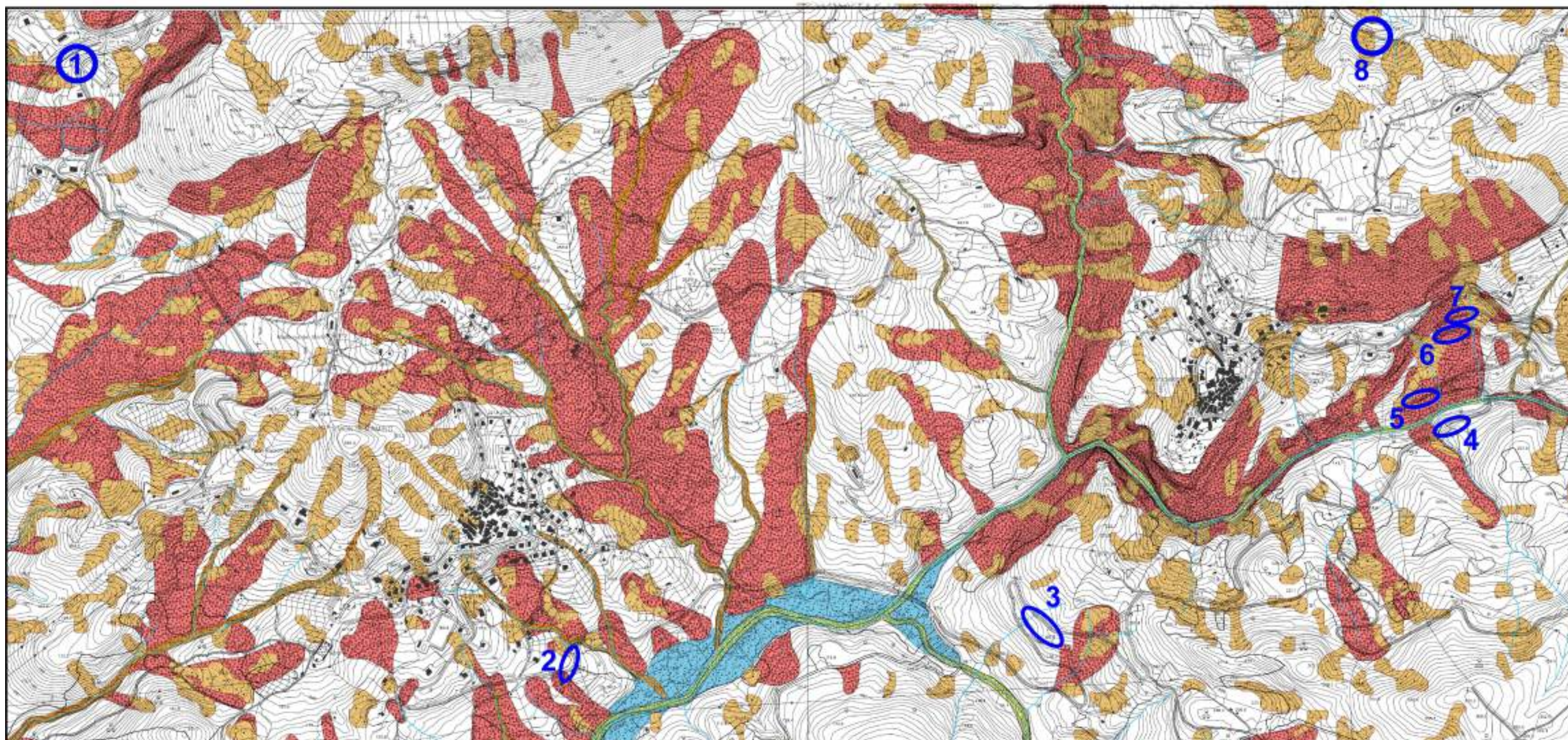
0 m 250 m 500 m

CARTA GEOMORFOLOGICA CON UBICAZIONE AREE D'INTERVENTO



0 m 250 m 500 m

CARTA DELLE COPERTURE SCIOLTE CON UBICAZIONE AREE D'INTERVENTO



Accumuli di versante con scheletro ghiaioso eterometrico con matrice limo-argillosa



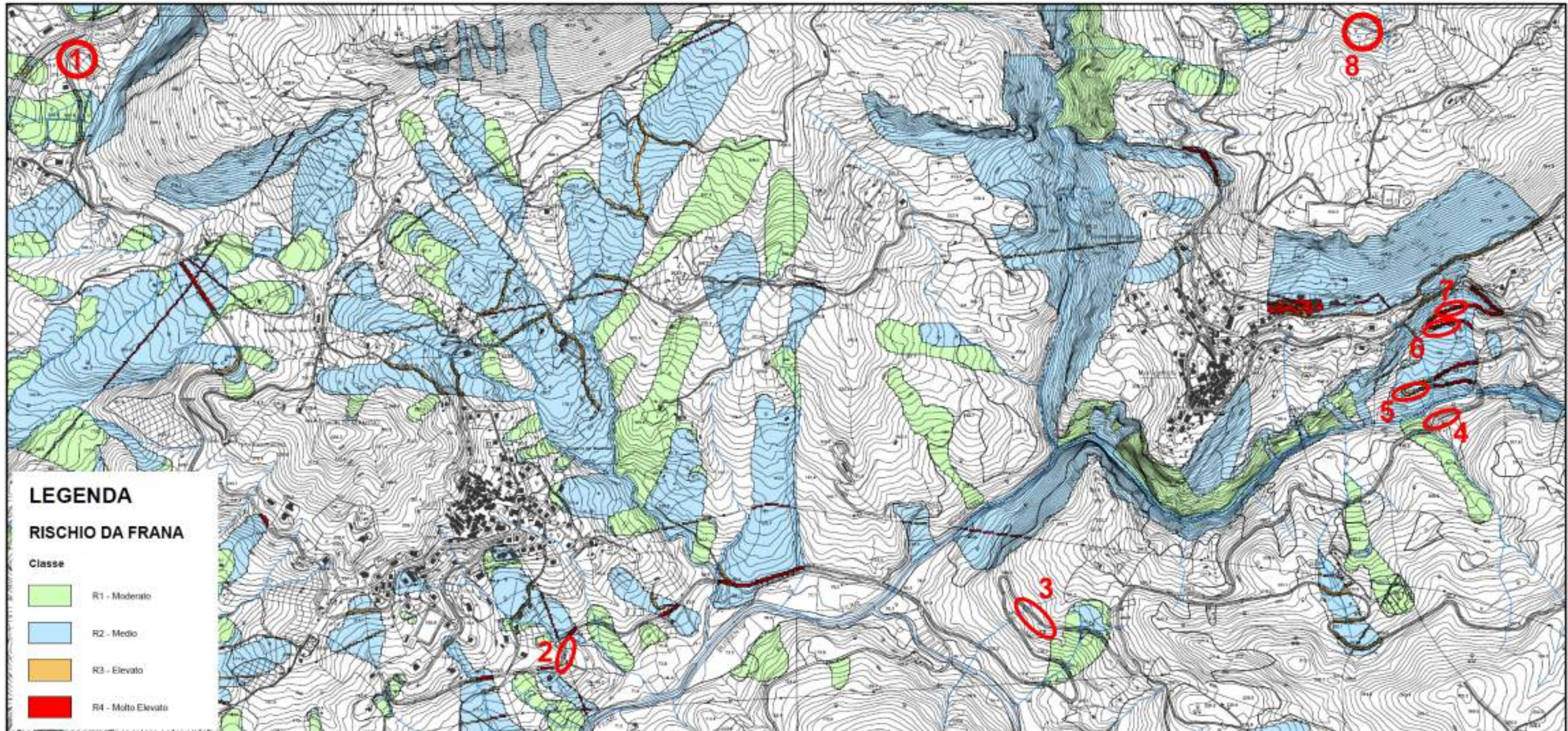
Conglomerati più o meno cementati con ciottoli arrotondati stratoidi



Accumuli caotici con blocchi eterometrici spigolosi in matrice limo-argillosa rimaneggiata

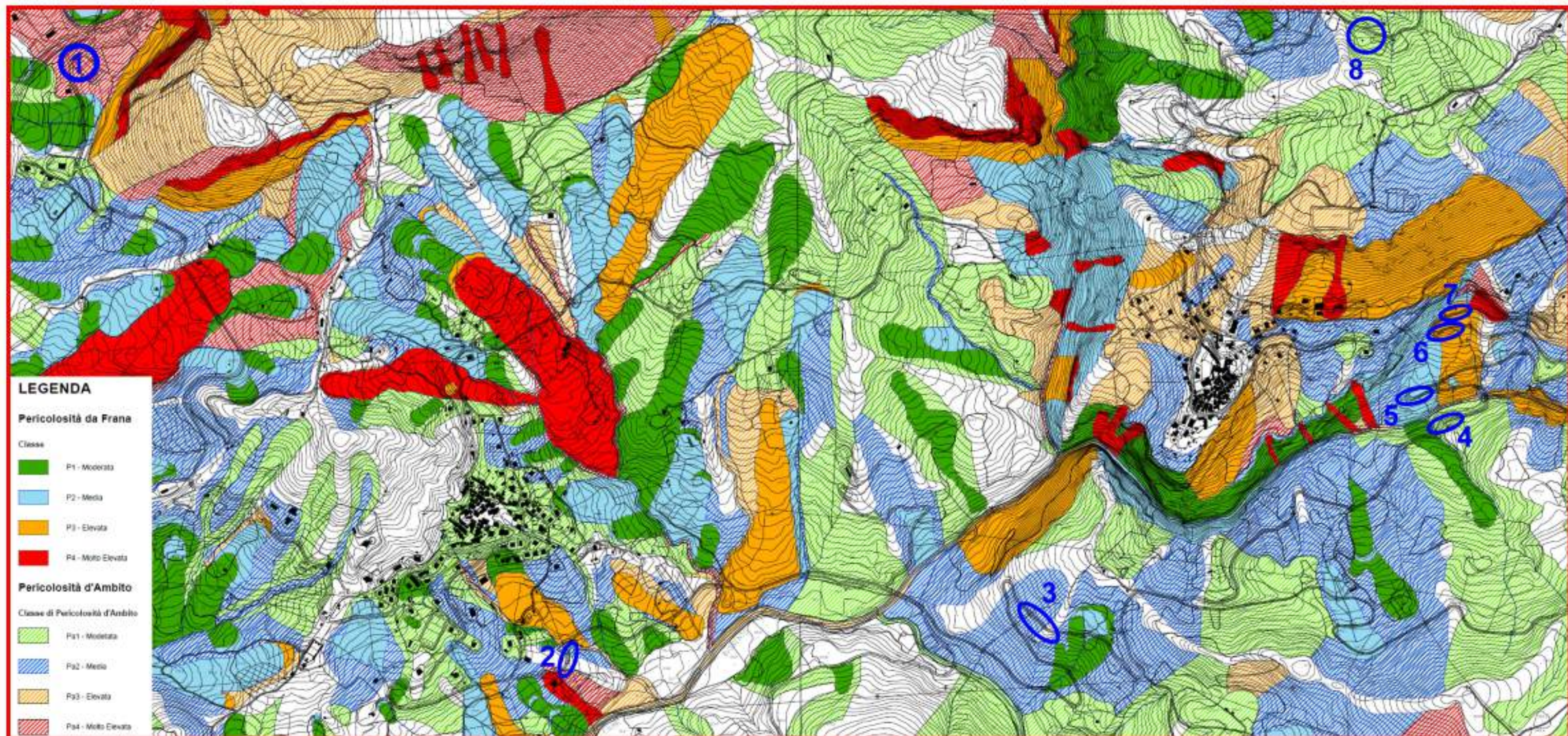
0 m 250 m 500 m

STRALCIO CARTA DEL RISCHIO DA FRANA CON UBICAZIONE AREE D'INTERVENTO



0 m 250 m 500 m

STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA FRANA CON UBICAZIONE AREE D'INTERVENTO

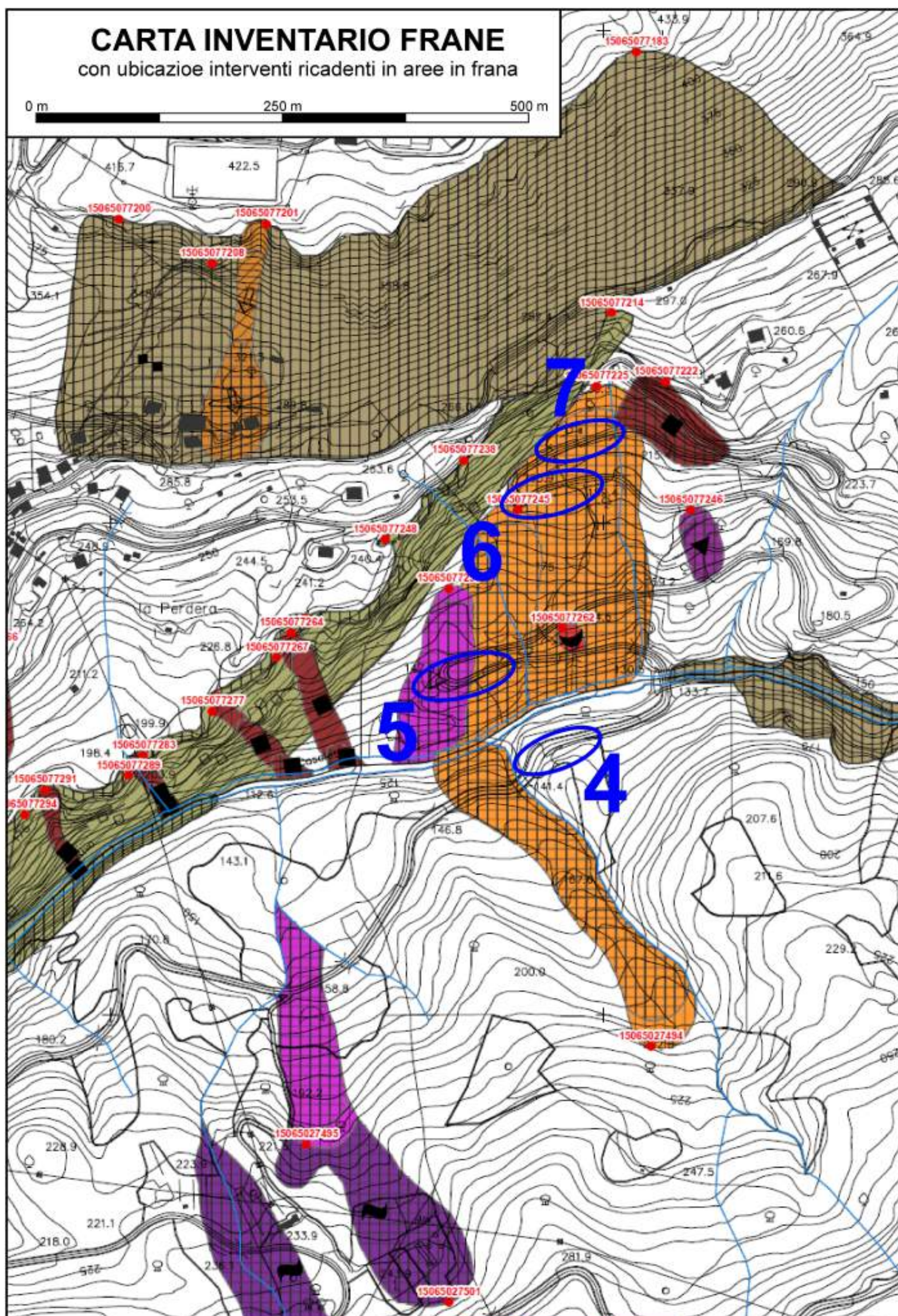


0 m 250 m 500 m

CARTA INVENTARIO FRANE

con ubicazioe interventi ricadenti in aree in frana

0 m 250 m 500 m



CLT

Colata lenta

Intervento 5,6,7

SCR_CLT

Scorrimento
rotazionale Colata lenta

Intervento 5

Sondaggio S1

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 13/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N.210

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.148167° N - 15.516796° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT	Descrizione stratigrafica	
1.0m	214.0	0.2	0.0		SA	Falda non rilevata			SA = Asfalto bituminoso di colore nerastro.	
	213.8		0.2		SB				SB = Sottofondazione stradale a granulometria ghiaiosa grossolana priva di matrice.	
	212.8	1.0	1.2		SC				SC = Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm).	
	211.8	1.0	2.2		SD		-2.50		SD = Argilla marrone grigiastra a buon grado di consistenza, a tratti scagliosa e litificata in forma di frammenti eterometrici	
							S1C1 -3.00		SE = Peliti siltose e marnose grigiastre con trovanti carotati a piena sezione	
					-3.00		14-19-29			
							-3.45			
	207.3	4.5								
								-6.00		
								39-R		
10.0m	204.0	2.3	6.7		SE			-6.45		
			10.0							



Ubicazione sondaggio S1 effettuato in area progettuale su foto aerea



Ubicazione sondaggio S1 effettuato in area progettuale su foto aerea



Postazione sondaggio S1



Cassetta S1C1



Cassetta S1C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote absolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



Sondaggio S2

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 13/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N.210

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.148167° N - 15.516796° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT	
1.0m	121.0	0.5	0.0			Falda non rilevata			
	120.5		0.5		SA				
	120.0		1.0		SB				
	115.1	4.8	5.8		SC		-2.50		
							S2C1	-3.00	
							-3.00	18-18-44	
								-3.45	
	111.0	4.2	10.0		SD			-6.00	
								R	
								-6.45	

Descrizione stratigrafica

SA = Limo argilloso grigio marrone ricco in materia vegetale.

SB = Clasto Calcareo carotato a piena sezione. Struttura antropica?

SC = Deposito limoso - argilloso di colore marrone chiaro, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 1,50 cm) e con rari frammenti di calcite eterometrici (dmax = 2,00 cm).

SD = Conglomerati e brecce a clasti calcarei grigiastri in alternanza a peliti scure in strati sottili.



Ubicazione sondaggio S2 effettuato in area progettuale su foto aerea



Postazione sondaggio S2



Cassetta S2C1



Cassetta S2C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote assolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



Sondaggio S4

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 14/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N.210

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.139260° N - 15.563342° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT	Descrizione stratigrafica	
1.0m	138.0	0.2 0.5	0.0		SA	Falda non rilevata			SA = Asfalto bituminoso di colore nerastro.	
	137.8		0.2		SB				SB = Sottofondazione stradale a granulometria ghiaiosa grossolana in matrice argillosa di colore grigio rosaceo.	
	137.1		0.7						SC = Deposito limoso - argilloso di colore grigio - marroncino, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm) subangolari.	
	132.0	5.3			SC		-2.50		SD = Argilla marrone grigiastra a buon grado di consistenza, a tratti scagliosa e litificata in forma di frammenti eterometrici	
							S4C1 -3.00	-3.00	SE = Marne ed argilliti grigiastre, con ciottolame carbonatico carotato anche a piena sezione.	
-3.00							8-11-10			
10.0m	128.0	4.0	6.0		SD			-3.45		
								-6.00		
								R -6.45		
			10.0							

Ubicazione sondaggio S4 effettuato in area progettuale su foto



Ubicazione sondaggio S4 effettuato in area progettuale su foto aerea



Postazione sondaggio S4



Cassetta S4C1



Cassetta S4C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote assolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



Sondaggio S5

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 14/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N.210

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.140204° N - 15.563486° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT
1.0m	148.0	0.5	0.0			Falda non rilevata		
	147.5		0.5		SA			
		4.0			SB		-2.50	
							S5C1	-3.00
							-3.00	7-11-12
								-3.45
	143.5		4.5					
		1.0			SC			
	142.5		5.5					
		3.2			SD			-6.00
								15-18-23
								-6.45
	139.3		8.7					
10.0m		1.3			SE			
	138.0		10.0					

Descrizione stratigrafica

SA = Ghiaietto calcareo minuto grigiastro/materiale di riporto.

SB = Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti centimetrici subangolari.

SC = Pezzame carbonatico grigiastro carotato a piena sezione.

SD = Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, con presenza di elementi grossolani eterogenei (pezzame arenaceo e/o carbonatico).

SE = Argilliti e subordinatamente argille da grigio-verdastre ad azzurrognole, presenza di elementi arenitici e quarzarenitici carotati anche a piena sezione



Ubicazione sondaggio S5 effettuato in area progettuale su foto aerea



Postazione sondaggio S5



Cassetta S5C1



Cassetta S5C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote absolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



Sondaggio S6

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 14/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N.210

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.141748° N - 15.563759° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT	Descrizione stratigrafica
1.0m	202.0		0.0			Falda non rilevata			SA = Asfalto bituminoso di colore nerastro.
	201.7	0.3	0.3		SA				SB = Sottofondazione stradale a granulometria ghiaiosa grossolana priva di matrice.
	201.3	0.4	0.7		SB				SC = Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici.
	201.0	0.3	1.0		SC				SD = Pezzame calcarenitico e quarzarenitico in matrice, di colore grigiastro, probabilmente disfatto da operazioni di carotaggio.
		2.0			SD		-2.50		SE = Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 3,00 cm).
	199.0	0.5	3.0		SE		S6C1 -3.00	-3.00	SF = Pezzame calcarenitico e quarzarenitico in matrice, di colore grigiastro, probabilmente disfatto da operazioni di carotaggio.
	198.5		3.5		SF		-3.00	14-14-19 -3.45	SG = Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici.
		1.2			SG				SH = Pezzame calcarenitico e quarzarenitico in matrice, di colore grigiastro, probabilmente disfatto da operazioni di carotaggio.
	197.3		4.7		SH				
		2.8					-6.00	19-33-37 -6.45	
	194.5		7.5						
		2.5							
10.0m	192.0		10.0						



Postazione sondaggio S6



Cassetta S6C1



Cassetta S6C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote absolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato



Ubicazione sondaggio S6 effettuato in area progettuale su foto aerea

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



Sondaggio S8

PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO - CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.

Committente: Ing. Domenico Zuppetti

Data esecuzione: 15/01/2021

Comune di Morigerati (SA)

Località: Strada Provinciale N. 54

Ditta esecutrice I. GEO. sas

Coordinate ED50: 40.148923° N - 15.556863° E

M	Q	S	P	Rendering stratigrafico	SN	F	C	SPT
1.0m	388.0		0.0			Falda non rilevata		
	387.7	0.3	0.3		SA			
	387.4	0.3	0.6		SB			
10.0m								
		8.2			SC			
	379.2		8.8					
		0.6			SD			
	378.6		9.4					
		0.6			SE			
	378.0		10.0					

Descrizione stratigrafica

SA = Asfalto bituminoso di colore nerastro.

SB = Sottofondazione stradale a granulometria ghiaiosa grossolana priva di matrice.

SC = Deposito sabbioso di colore marrone chiaro, a buon grado di addensamento con presenza di elementi più grossolane (pezzame eterogeneo).

SD = Elementi eterogenei (arenacei in prevalenza) grossolani (carotati anche a piena sezione) di colore grigiastro.

SE = Peliti arenacee marroni a buon grado di addensamento.



Ubicazione sondaggio S8 effettuato in area progettuale su foto aerea



Postazione sondaggio S8



Cassetta S8C1



Cassetta S8C2

Legenda

- M = colonna metrica
- Q = quote assolute in metri s.l.m.
- S = spessore dello strato in metri
- P = profondità dello strato in metri
- SN = strato
- F = soggiacenza della falda in metri
- SPT = numero colpi prova penetrometrica in foro
- C = prelievo di campione indisturbato

Il tecnico: dott. geol. Francesco Cuccurullo



CERTIFICATO DI PROVA N°: 5232	Pagina 1/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 18/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S1	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 10,4 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5232	Pagina 2/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 15/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S1	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 20,7 kN/m³

Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5232	Pagina 3/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S1	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,6 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,6 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 25,1 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5232 Pagina 4/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21

DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021

Inizio analisi: 18/01/21

Apertura campione: 15/01/2021

Fine analisi: 19/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	10,4 11,5	10,4 10,4	10,4 10,6
Peso di volume (kN/m³):	20,7	20,6	20,5
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,003 mm / min	

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

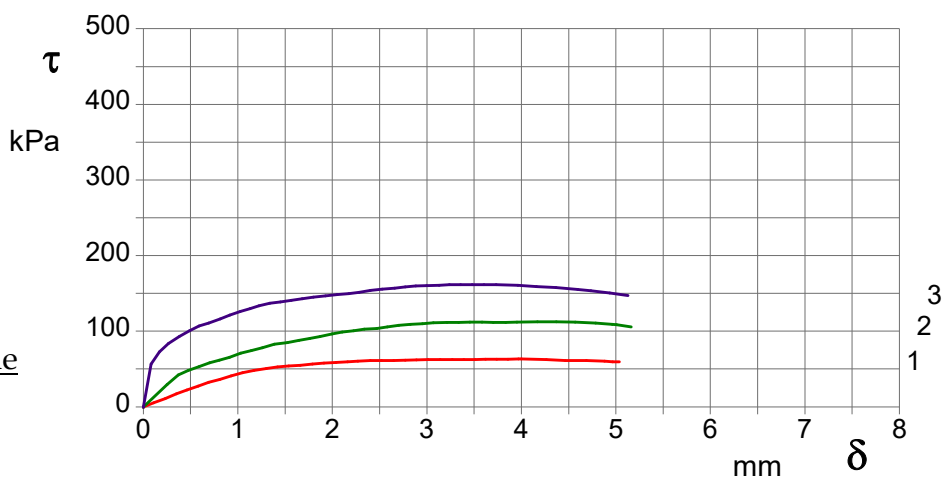
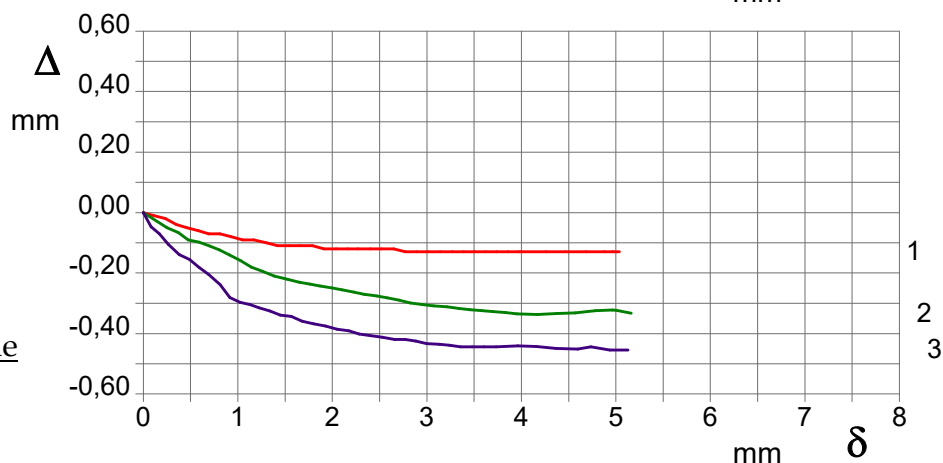


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Deposito argilloso - limoso di colore marrone - grigio, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5232 Pagina 5/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21
DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021
Inizio analisi: 18/01/21
Apertura campione: 15/01/2021
Fine analisi: 19/01/21
COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,110	5,1	-0,01	0,252	29,4	-0,05	0,083	56,4	-0,05
0,230	10,8	-0,02	0,370	42,3	-0,07	0,171	72,5	-0,07
0,350	17,2	-0,04	0,475	48,2	-0,09	0,265	83,8	-0,11
0,460	22,0	-0,05	0,591	53,0	-0,10	0,379	93,1	-0,14
0,580	27,2	-0,06	0,703	58,4	-0,11	0,487	100,4	-0,15
0,690	32,3	-0,07	0,804	61,5	-0,12	0,591	106,9	-0,18
0,810	36,3	-0,07	0,912	65,7	-0,14	0,692	110,6	-0,20
0,930	40,7	-0,08	1,031	70,8	-0,16	0,814	116,2	-0,24
1,050	45,2	-0,09	1,143	74,2	-0,18	0,914	121,3	-0,28
1,170	48,1	-0,09	1,262	78,1	-0,19	1,024	126,1	-0,30
1,300	50,4	-0,10	1,385	82,7	-0,21	1,129	129,8	-0,30
1,420	52,7	-0,11	1,524	84,9	-0,22	1,225	133,7	-0,32
1,540	53,9	-0,11	1,646	87,8	-0,23	1,338	136,8	-0,33
1,660	55,0	-0,11	1,761	90,2	-0,24	1,451	138,8	-0,34
1,790	56,6	-0,11	1,870	93,2	-0,24	1,565	140,8	-0,34
1,910	57,7	-0,12	1,996	96,3	-0,25	1,682	143,0	-0,36
2,040	58,5	-0,12	2,105	98,8	-0,26	1,801	144,7	-0,37
2,160	59,5	-0,12	2,225	100,5	-0,26	1,928	146,7	-0,38
2,270	60,3	-0,12	2,338	102,4	-0,27	2,051	148,4	-0,39
2,400	61,0	-0,12	2,469	103,6	-0,28	2,176	149,5	-0,39
2,520	61,0	-0,12	2,581	105,6	-0,28	2,282	151,5	-0,40
2,650	61,2	-0,12	2,703	107,5	-0,29	2,402	153,8	-0,41
2,770	61,6	-0,13	2,826	109,2	-0,30	2,527	155,7	-0,41
2,890	62,0	-0,13	2,953	110,0	-0,30	2,659	156,9	-0,42
3,010	62,2	-0,13	3,070	110,9	-0,31	2,770	158,6	-0,42
3,140	62,2	-0,13	3,213	111,4	-0,31	2,885	159,7	-0,43
3,270	62,2	-0,13	3,336	111,4	-0,32	2,998	160,2	-0,43
3,390	62,2	-0,13	3,456	112,1	-0,32	3,128	160,5	-0,44
3,510	62,2	-0,13	3,584	111,9	-0,32	3,240	161,4	-0,44
3,620	62,8	-0,13	3,703	111,7	-0,33	3,357	161,4	-0,44
3,740	62,8	-0,13	3,834	111,7	-0,33	3,480	161,4	-0,44
3,860	62,8	-0,13	3,952	111,9	-0,34	3,602	161,4	-0,44
3,970	63,1	-0,13	4,169	112,4	-0,34	3,734	161,4	-0,44
4,002	63,1	-0,13	4,369	112,4	-0,33	3,963	160,4	-0,44
4,266	62,4	-0,13	4,569	112,1	-0,33	4,158	159,1	-0,44
4,465	61,4	-0,13	4,785	110,7	-0,32	4,364	157,8	-0,45
4,689	61,4	-0,13	4,963	108,8	-0,32	4,598	155,2	-0,45
4,882	60,5	-0,13	5,006	108,4	-0,32	4,736	153,6	-0,44
4,965	59,6	-0,13	5,163	105,8	-0,33	4,936	150,5	-0,45
5,036	59,6	-0,13				5,128	147,2	-0,45

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5233	Pagina 1/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 18/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,00 - 2,50	

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216-98

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 12,0 %

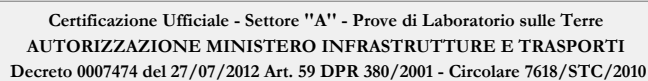
Struttura del materiale:

- ☒ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito limoso - argilloso di colore marrone chiaro, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici ($d_{max} = 1,50$ cm) e con rari frammenti di calcite eterometrici ($d_{max} = 2.00$ cm).



COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,00 - 2,50	

Modalità di prova: Norma BS 1377-90

Peso di volume allo stato naturale = 20,3 kN/m³

Il Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Roberto Lubrano

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5233	Pagina 3/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)
SONDAGGIO: S2 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-92

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 25,2 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 25,2 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 27,6 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito limoso - argilloso di colore marrone chiaro, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 1,50 cm) e con rari frammenti di calcite eterometrici (dmax = 2,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5233 Pagina 4/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21

DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021

Inizio analisi: 19/01/21

Apertura campione: 15/01/2021

Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	12,0 13,5	12,0 13,0	12,0 13,2
Peso di volume (kN/m³):	20,3	20,2	20,1
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,003 mm / min		

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

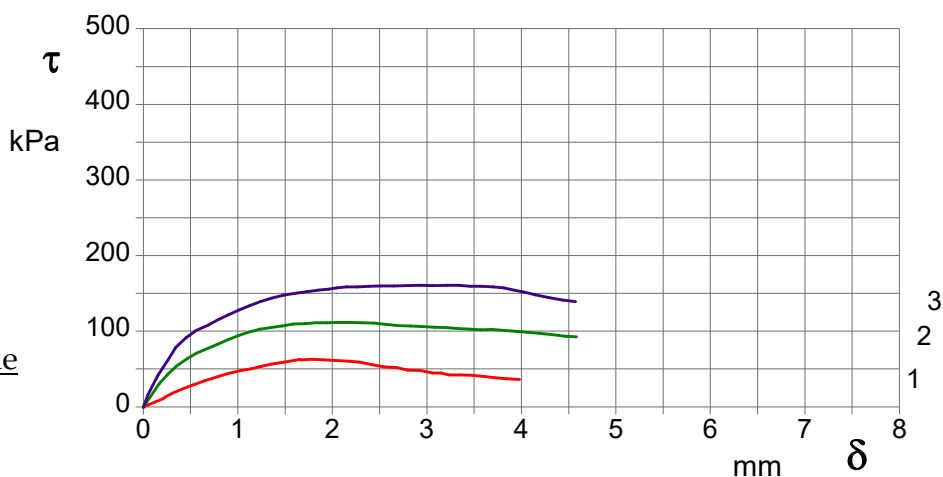
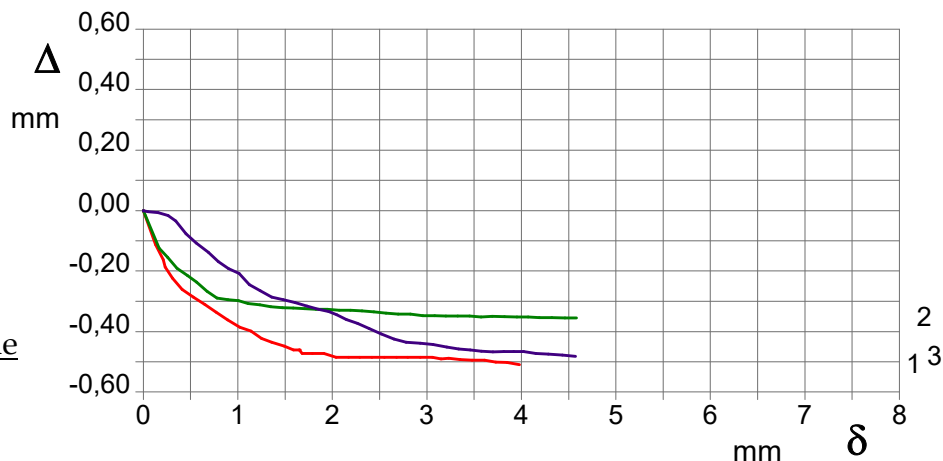


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Deposito limoso - argilloso di colore marrone chiaro, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici ($d_{max} = 1,50$ cm) e con rari frammenti di calcite eterometrici ($d_{max} = 2,00$ cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5233	Pagina 5/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE:	Ing. Domenico Zuppetti			
RIFERIMENTO:	Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)			
SONDAGGIO:	S2	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-03

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,130	6,5	-0,11	0,168	30,4	-0,12	0,049	15,9	0,00
0,210	10,8	-0,16	0,258	43,1	-0,16	0,155	42,1	-0,01
0,230	12,9	-0,19	0,357	54,2	-0,19	0,263	62,1	-0,02
0,310	18,2	-0,22	0,466	63,8	-0,21	0,343	78,7	-0,03
0,410	23,6	-0,26	0,563	70,8	-0,24	0,450	91,2	-0,08
0,530	29,0	-0,29	0,674	76,8	-0,27	0,560	100,9	-0,11
0,650	34,5	-0,31	0,781	82,5	-0,29	0,687	108,3	-0,14
0,770	39,3	-0,34	0,896	88,5	-0,30	0,793	115,3	-0,17
0,890	44,0	-0,36	1,008	93,9	-0,30	0,903	121,8	-0,19
1,020	47,8	-0,39	1,109	98,6	-0,31	1,013	128,1	-0,21
1,140	50,2	-0,40	1,233	102,5	-0,31	1,120	133,8	-0,25
1,250	53,4	-0,42	1,349	104,6	-0,32	1,238	139,2	-0,27
1,360	56,4	-0,44	1,472	106,7	-0,32	1,358	143,8	-0,29
1,490	58,9	-0,45	1,586	109,5	-0,32	1,480	147,6	-0,30
1,590	61,4	-0,46	1,709	109,8	-0,32	1,606	150,3	-0,30
1,650	62,5	-0,46	1,824	111,1	-0,33	1,732	152,5	-0,32
1,650	62,2	-0,46	1,946	111,3	-0,33	1,854	154,4	-0,33
1,680	62,1	-0,47	2,074	111,6	-0,33	1,960	155,5	-0,33
1,790	62,8	-0,47	2,192	111,6	-0,33	2,046	157,1	-0,34
1,910	62,0	-0,47	2,314	111,3	-0,33	2,147	158,4	-0,36
2,040	61,2	-0,49	2,439	110,6	-0,34	2,268	158,7	-0,37
2,170	60,5	-0,49	2,567	109,0	-0,34	2,388	159,3	-0,39
2,290	58,9	-0,49	2,697	107,4	-0,34	2,516	159,8	-0,41
2,420	55,7	-0,49	2,826	106,9	-0,34	2,653	159,8	-0,43
2,550	52,6	-0,49	2,957	106,1	-0,35	2,781	160,1	-0,44
2,680	51,8	-0,49	3,083	105,4	-0,35	2,930	160,6	-0,44
2,800	48,7	-0,49	3,201	104,6	-0,35	3,065	160,3	-0,44
2,930	47,9	-0,49	3,328	103,5	-0,35	3,211	160,6	-0,45
3,060	44,8	-0,49	3,452	102,8	-0,35	3,336	160,6	-0,46
3,150	44,8	-0,49	3,574	101,7	-0,35	3,459	159,5	-0,46
3,230	42,4	-0,49	3,691	102,2	-0,35	3,579	159,3	-0,47
3,350	42,4	-0,49	3,821	101,0	-0,35	3,700	158,7	-0,47
3,480	41,6	-0,50	3,953	99,7	-0,35	3,814	157,4	-0,47
3,610	40,0	-0,50	4,071	98,4	-0,35	3,919	154,4	-0,47
3,730	38,5	-0,50	4,190	97,1	-0,35	4,023	151,9	-0,47
3,850	36,9	-0,50	4,322	95,5	-0,35	4,154	148,1	-0,47
3,980	36,1	-0,51	4,461	93,4	-0,36	4,286	144,6	-0,48
			4,584	92,6	-0,36	4,433	141,4	-0,48
						4,572	138,9	-0,48

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5235	Pagina 1/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 18/01/21

COMMITTENTE:	Ing. Domenico Zuppetti			
RIFERIMENTO:	Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)			
SONDAGGIO:	S4	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,50 - 3,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 9,9 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito limoso - argilloso di colore grigio - marroncino, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm) subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5235	Pagina 2/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 15/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S4	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,50 - 3,00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,6 kN/m³

Deposito limoso - argilloso di colore grigio - marroncino, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm) subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5235	Pagina 3/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S4	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,50 - 3,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,5 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,5 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 21,3 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito limoso - argilloso di colore grigio - marroncino, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm) subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5235 Pagina 4/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21

DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021

Inizio analisi: 20/01/21

Apertura campione: 15/01/2021

Fine analisi: 21/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S4

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,50 - 3,00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	9,9 12,0	9,9 10,6	9,9 9,0
Peso di volume (kN/m³):	19,4	19,4	19,5
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,006 mm / min	

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

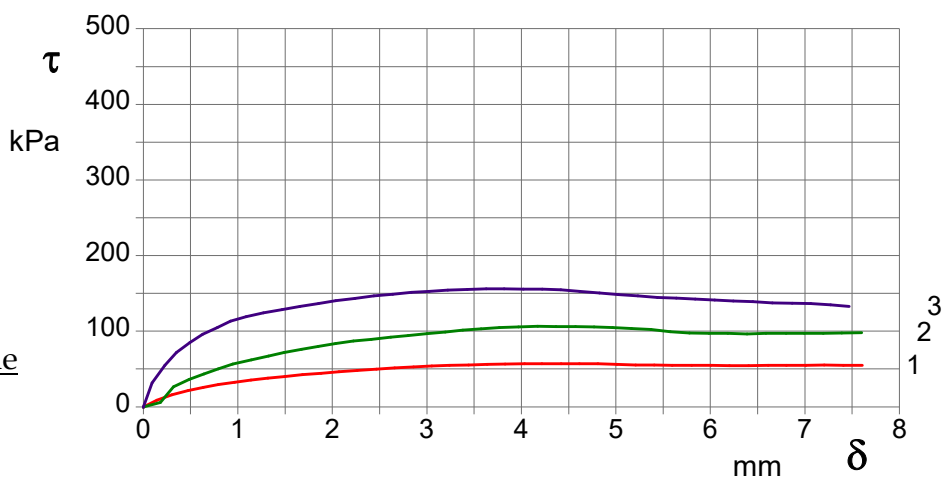
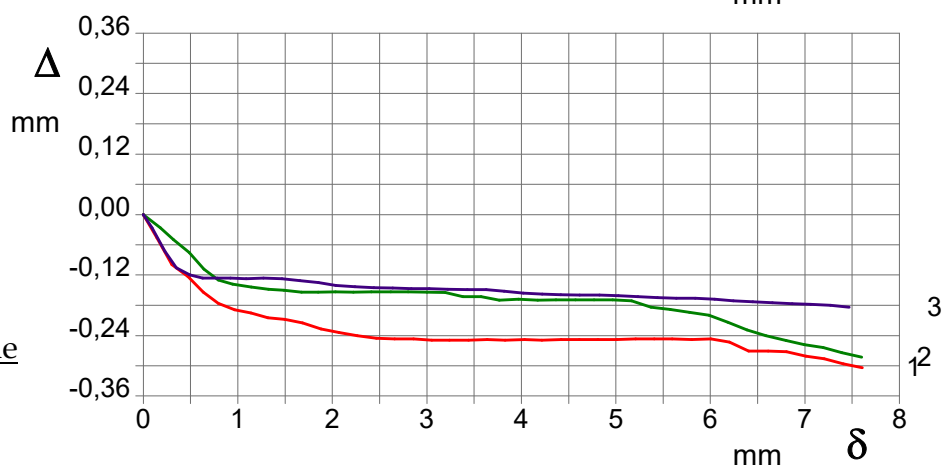


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Deposito limoso - argilloso di colore grigio - marroncino, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 4,00 cm) subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5235	Pagina 5/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 20/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 21/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti			
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)			
SONDAGGIO: S4	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,50 - 3,00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,142	8,7	-0,05	0,179	5,7	-0,03	0,092	31,6	-0,03
0,300	15,6	-0,10	0,320	26,4	-0,05	0,228	54,7	-0,07
0,473	21,3	-0,12	0,485	36,2	-0,08	0,350	71,6	-0,11
0,635	25,5	-0,15	0,640	43,4	-0,11	0,491	84,9	-0,12
0,795	29,2	-0,18	0,794	50,2	-0,13	0,628	95,9	-0,13
0,966	32,4	-0,19	0,947	56,5	-0,14	0,785	105,0	-0,13
1,138	35,2	-0,20	1,143	61,9	-0,14	0,923	113,1	-0,13
1,316	37,9	-0,21	1,324	67,2	-0,15	1,087	119,1	-0,13
1,498	40,2	-0,21	1,488	71,7	-0,15	1,272	124,1	-0,13
1,685	42,5	-0,22	1,673	76,3	-0,15	1,468	128,6	-0,13
1,881	44,4	-0,23	1,851	79,9	-0,15	1,657	132,7	-0,13
2,069	46,3	-0,23	2,033	83,4	-0,15	1,853	136,5	-0,14
2,264	48,2	-0,24	2,221	87,0	-0,15	2,038	140,2	-0,14
2,467	50,0	-0,25	2,412	89,2	-0,15	2,238	143,4	-0,14
2,658	51,5	-0,25	2,619	91,9	-0,15	2,438	146,6	-0,15
2,857	52,9	-0,25	2,803	94,4	-0,15	2,638	148,8	-0,15
3,053	54,0	-0,25	3,002	96,8	-0,15	2,836	151,2	-0,15
3,239	54,8	-0,25	3,193	99,0	-0,16	3,024	152,8	-0,15
3,440	55,2	-0,25	3,381	101,2	-0,16	3,221	154,2	-0,15
3,636	55,9	-0,25	3,573	103,2	-0,16	3,429	155,0	-0,15
3,827	56,5	-0,25	3,767	104,7	-0,17	3,630	155,8	-0,15
4,035	56,8	-0,25	3,971	105,7	-0,17	3,819	155,8	-0,15
4,217	57,1	-0,25	4,174	106,5	-0,17	4,021	155,7	-0,16
4,419	57,2	-0,25	4,364	106,2	-0,17	4,219	155,5	-0,16
4,613	57,2	-0,25	4,573	106,2	-0,17	4,417	154,7	-0,16
4,810	56,7	-0,25	4,770	105,6	-0,17	4,617	152,8	-0,16
5,009	55,9	-0,25	4,965	104,9	-0,17	4,826	150,4	-0,16
5,209	55,2	-0,25	5,166	103,5	-0,17	5,027	148,3	-0,16
5,407	55,1	-0,25	5,371	102,2	-0,18	5,234	146,7	-0,16
5,595	55,0	-0,25	5,574	99,4	-0,19	5,439	144,7	-0,17
5,801	54,6	-0,25	5,777	97,7	-0,19	5,639	143,6	-0,17
6,006	54,6	-0,25	5,986	97,1	-0,20	5,839	142,6	-0,17
6,201	54,5	-0,25	6,186	96,9	-0,21	6,047	141,3	-0,17
6,407	54,5	-0,27	6,388	96,5	-0,23	6,242	140,0	-0,17
6,613	54,6	-0,27	6,588	97,1	-0,24	6,450	138,9	-0,17
6,806	54,9	-0,27	6,800	97,1	-0,25	6,655	137,7	-0,18
7,010	54,9	-0,28	6,994	96,9	-0,26	6,866	137,0	-0,18
7,204	55,1	-0,29	7,196	97,2	-0,26	7,063	136,4	-0,18
7,407	55,0	-0,30	7,391	97,5	-0,27	7,271	134,8	-0,18
7,608	55,0	-0,30	7,600	97,8	-0,28	7,469	132,5	-0,18

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5236	Pagina 1/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 18/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S5	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216-98

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 24,0 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti centimetrici subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5236	Pagina 2/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 15/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S5	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377-90

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 18,9 kN/m³

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti centimetrici subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5236	Pagina 3/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO:	S5	CAMPIONE:	C1	PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-92

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,6 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,6 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 20,7 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti centimetrici subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5236 Pagina 4/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21

DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 15/01/2021

Fine analisi: 22/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S5

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00 - 2,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	24,0 25,6	24,0 25,3	24,0 25,2
Peso di volume (kN/m³):	18,6	18,9	19,0
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,004 mm / min	

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

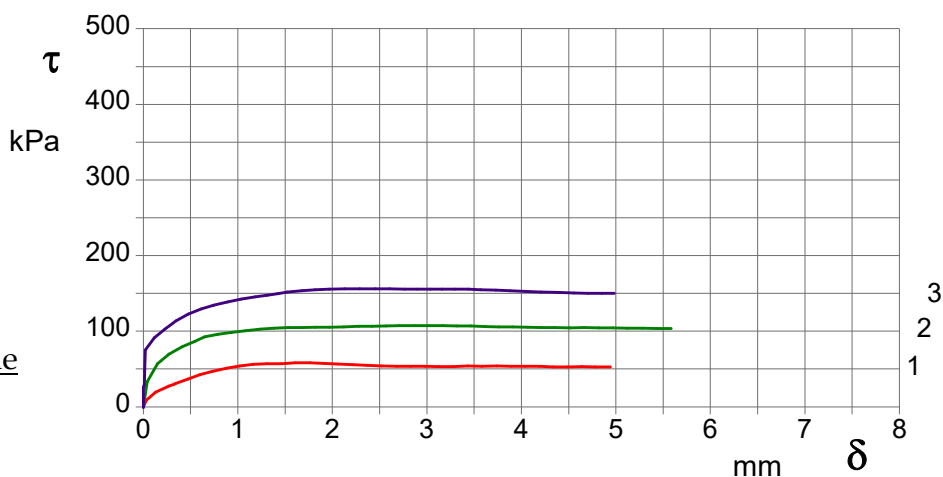
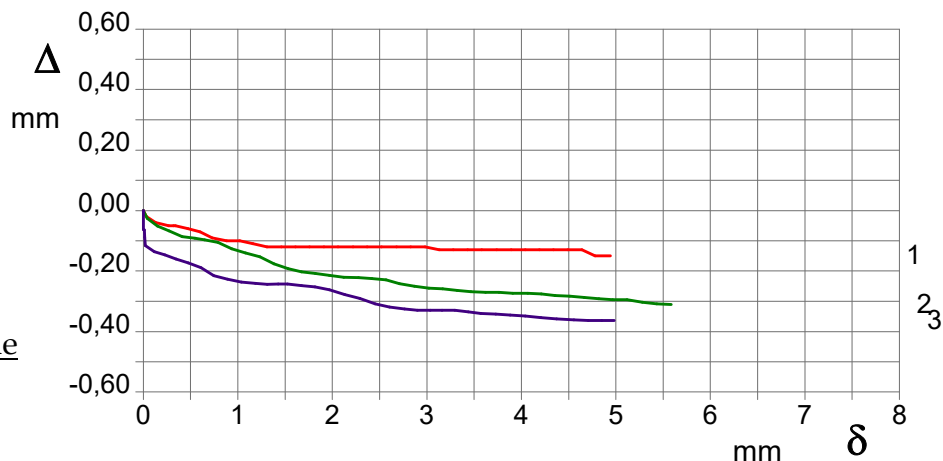


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente ed umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti centimetrici subangolari.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5236	Pagina 5/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 21/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21	del 15/01/21	Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 22/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S5	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,00 - 2,50	

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-03

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,030	8,9	-0,02	0,043	33,2	-0,03	0,002	25,5	-0,06
0,130	19,3	-0,04	0,150	57,2	-0,05	0,010	29,9	-0,06
0,270	27,2	-0,05	0,271	69,7	-0,07	0,015	47,8	-0,09
0,320	29,5	-0,05	0,409	79,2	-0,09	0,023	74,9	-0,12
0,340	30,5	-0,05	0,547	86,5	-0,09	0,114	91,2	-0,14
0,470	36,5	-0,06	0,649	92,4	-0,10	0,229	102,9	-0,15
0,600	42,4	-0,07	0,790	95,8	-0,11	0,346	113,7	-0,16
0,730	46,9	-0,09	0,935	98,3	-0,13	0,474	122,8	-0,17
0,880	51,2	-0,10	1,081	100,7	-0,14	0,609	129,4	-0,19
1,020	54,1	-0,10	1,232	102,4	-0,15	0,746	134,6	-0,22
1,160	56,0	-0,11	1,381	103,9	-0,18	0,892	138,8	-0,23
1,310	56,9	-0,12	1,532	104,6	-0,19	1,036	142,5	-0,24
1,460	56,9	-0,12	1,675	104,9	-0,20	1,185	145,5	-0,24
1,610	58,2	-0,12	1,820	105,1	-0,21	1,312	147,5	-0,24
1,760	58,0	-0,12	1,969	105,1	-0,21	1,425	149,5	-0,24
1,910	57,4	-0,12	2,120	105,8	-0,22	1,524	151,7	-0,24
2,060	56,4	-0,12	2,278	106,3	-0,22	1,673	153,7	-0,25
2,220	55,8	-0,12	2,420	106,6	-0,22	1,818	154,9	-0,25
2,370	55,0	-0,12	2,567	106,8	-0,23	1,970	155,7	-0,26
2,520	54,2	-0,12	2,709	107,3	-0,24	2,130	156,1	-0,28
2,680	53,7	-0,12	2,870	107,3	-0,25	2,291	156,1	-0,29
2,830	53,7	-0,12	3,021	107,3	-0,26	2,453	155,9	-0,31
2,980	53,4	-0,12	3,168	107,3	-0,26	2,605	155,9	-0,32
3,130	53,1	-0,13	3,319	107,1	-0,26	2,763	155,7	-0,33
3,280	53,1	-0,13	3,464	106,8	-0,27	2,899	155,5	-0,33
3,430	53,9	-0,13	3,623	106,1	-0,27	3,036	155,3	-0,33
3,580	53,7	-0,13	3,765	105,8	-0,27	3,161	155,3	-0,33
3,740	53,9	-0,13	3,910	105,8	-0,27	3,296	155,5	-0,33
3,890	53,4	-0,13	4,067	105,1	-0,27	3,438	155,3	-0,34
4,040	53,4	-0,13	4,211	104,6	-0,28	3,572	154,9	-0,34
4,190	53,4	-0,13	4,357	104,6	-0,28	3,731	154,1	-0,34
4,340	52,9	-0,13	4,513	104,4	-0,28	3,884	153,3	-0,35
4,490	52,9	-0,13	4,665	104,9	-0,29	4,041	152,5	-0,35
4,640	53,1	-0,13	4,820	104,4	-0,29	4,206	151,7	-0,35
4,780	52,9	-0,15	4,964	104,4	-0,29	4,375	151,5	-0,36
4,940	52,9	-0,15	5,119	104,1	-0,29	4,557	150,7	-0,36
			5,281	103,9	-0,30	4,709	150,1	-0,36
			5,433	103,6	-0,31	4,852	149,9	-0,36
			5,587	103,4	-0,31	4,982	149,9	-0,36

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5234	Pagina 1/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 18/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S6	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	3,00 - 3,50	

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 7,6 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 3,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5234	Pagina 2/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 15/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 15/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S6	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	3,00 - 3,50	

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 20,7 kN/m³

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 3,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5234	Pagina 3/5	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	Inizio analisi: 19/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21		Apertura campione: 15/01/2021	Fine analisi: 20/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti				
RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)				
SONDAGGIO: S6	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	3,00 - 3,50	

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,4 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,4 kN/m³

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 19,0 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 3,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5234 Pagina 4/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21

DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021

Inizio analisi: 22/01/21

Apertura campione: 15/01/2021

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S6

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	7,6 9,2	7,6 9,7	7,6 9,6
Peso di volume (kN/m³):	20,3	20,5	20,6
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,005 mm / min	

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

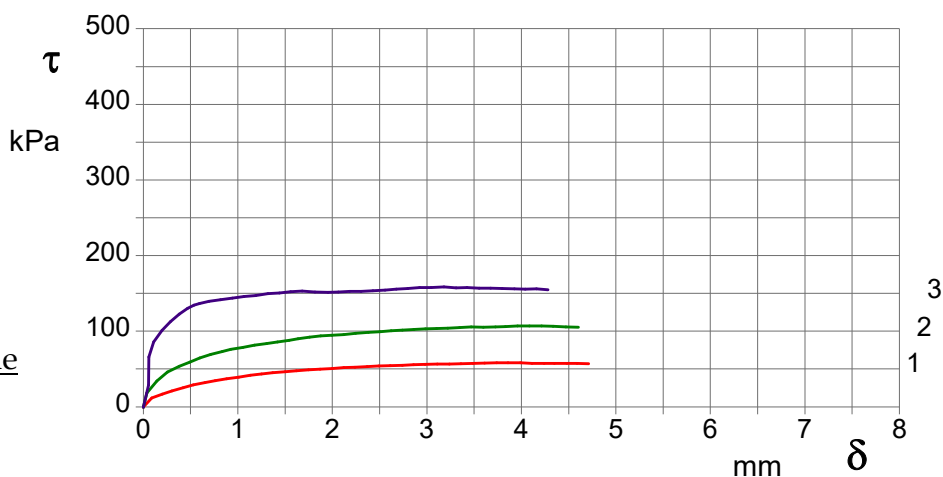
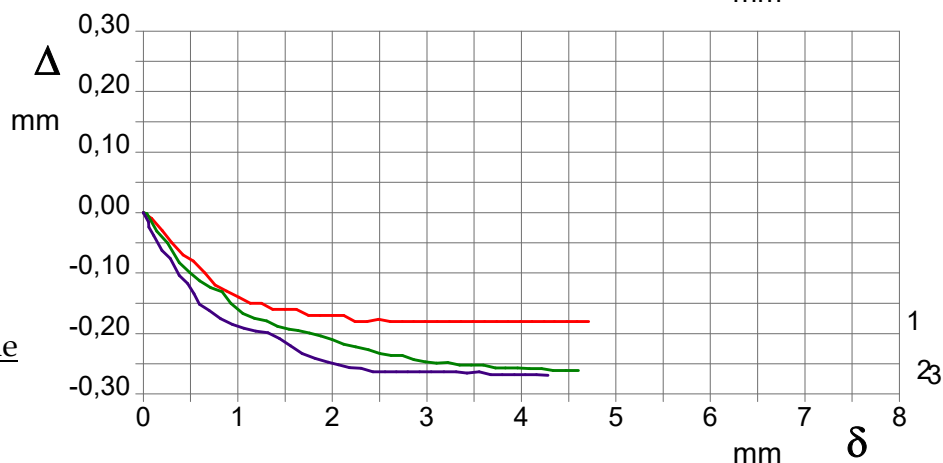


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Deposito limoso - argilloso di colore marrone, consistente e debolmente umido, in cui a tratti si rinviene litificato e scaglioso in forma di frammenti eterometrici (dmax = 3,00 cm).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 5234 Pagina 5/5

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 012/21 del 15/01/21
DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021
Inizio analisi: 22/01/21
Apertura campione: 15/01/2021
Fine analisi: 23/01/21
COMMITTENTE: Ing. Domenico Zuppetti

RIFERIMENTO: Sistemazione strada provinciale - Morigerati (Sa)

SONDAGGIO: S6

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

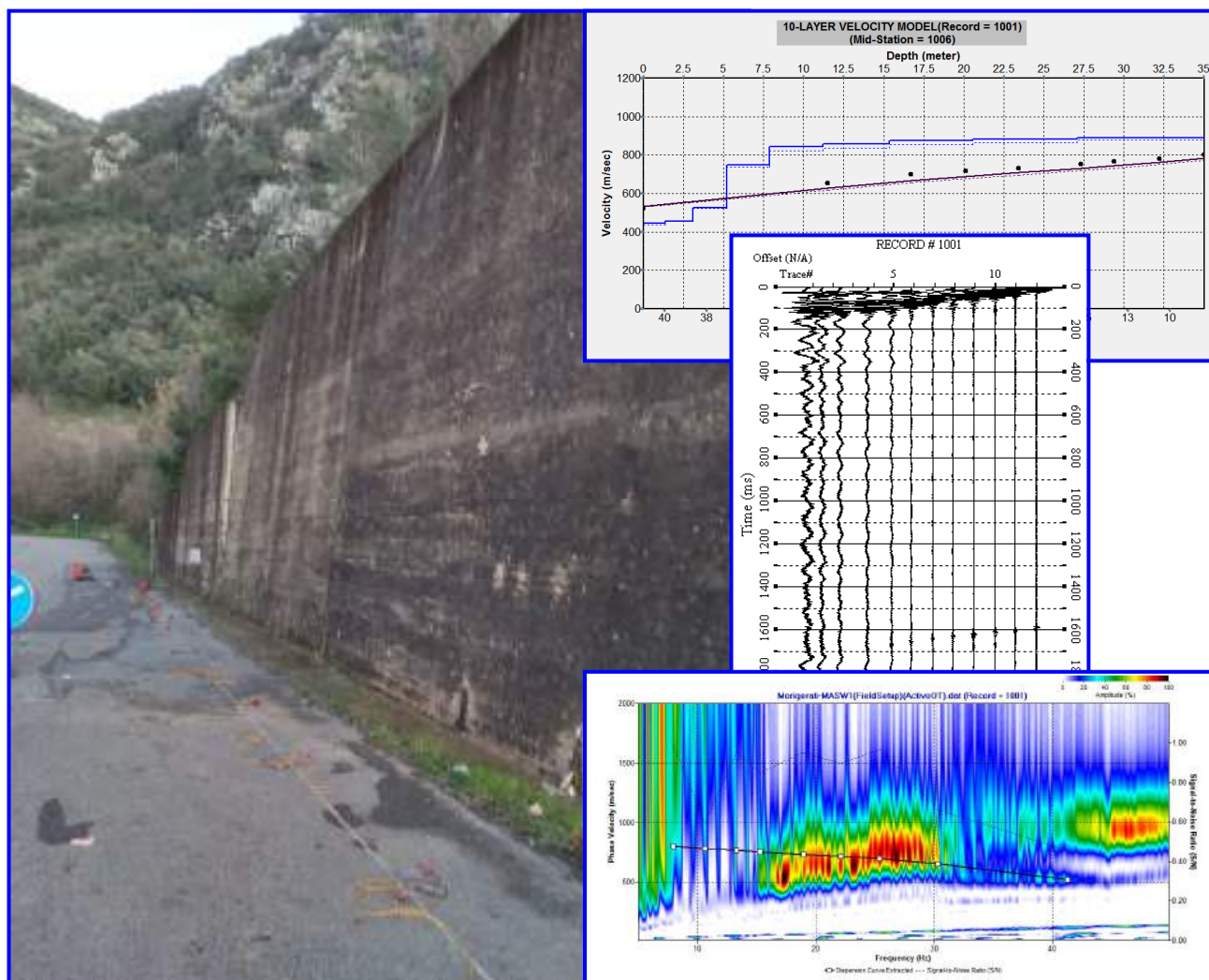
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,090	11,5	-0,01	0,040	18,4	0,00	0,055	28,4	-0,02
0,200	16,6	-0,03	0,144	34,3	-0,03	0,059	65,9	-0,02
0,300	21,1	-0,05	0,256	46,0	-0,05	0,108	85,8	-0,04
0,420	25,4	-0,07	0,380	53,4	-0,08	0,196	101,0	-0,06
0,530	29,0	-0,08	0,493	59,3	-0,10	0,284	112,6	-0,08
0,650	32,1	-0,10	0,599	64,5	-0,11	0,380	122,8	-0,10
0,760	34,6	-0,12	0,711	69,2	-0,12	0,467	129,9	-0,12
0,880	37,1	-0,13	0,833	73,0	-0,13	0,535	134,3	-0,13
1,010	39,3	-0,14	0,925	76,2	-0,15	0,593	136,4	-0,15
1,130	41,6	-0,15	1,055	78,4	-0,17	0,695	139,7	-0,16
1,250	43,1	-0,15	1,177	81,3	-0,18	0,819	141,9	-0,18
1,370	44,9	-0,16	1,305	83,7	-0,18	0,943	143,6	-0,18
1,500	46,5	-0,16	1,421	85,9	-0,19	1,065	145,8	-0,19
1,620	47,6	-0,16	1,541	87,9	-0,19	1,191	147,3	-0,20
1,750	49,0	-0,17	1,635	89,9	-0,20	1,317	149,5	-0,20
1,870	49,9	-0,17	1,759	92,0	-0,20	1,439	150,6	-0,21
2,000	50,8	-0,17	1,878	93,8	-0,20	1,560	152,1	-0,22
2,120	51,9	-0,17	1,995	94,8	-0,21	1,680	153,0	-0,23
2,240	52,1	-0,18	2,123	95,6	-0,22	1,817	151,9	-0,24
2,370	53,0	-0,18	2,247	97,0	-0,22	1,956	151,5	-0,25
2,490	53,7	-0,18	2,380	98,4	-0,23	2,062	151,7	-0,25
2,610	54,4	-0,18	2,503	99,2	-0,23	2,182	152,8	-0,26
2,740	54,6	-0,18	2,622	100,6	-0,24	2,304	152,8	-0,26
2,860	55,5	-0,18	2,740	101,2	-0,24	2,429	153,4	-0,26
2,980	55,9	-0,18	2,862	102,0	-0,24	2,557	154,3	-0,26
3,110	56,4	-0,18	2,984	103,0	-0,25	2,675	155,6	-0,26
3,240	56,6	-0,18	3,101	103,4	-0,25	2,797	156,5	-0,26
3,360	56,8	-0,18	3,220	104,1	-0,25	2,923	157,6	-0,26
3,490	57,5	-0,18	3,346	104,9	-0,25	3,047	157,8	-0,26
3,610	57,7	-0,18	3,469	105,5	-0,25	3,182	158,3	-0,26
3,740	58,0	-0,18	3,597	105,3	-0,25	3,309	157,4	-0,26
3,860	58,2	-0,18	3,725	105,9	-0,26	3,424	157,5	-0,27
3,990	58,0	-0,18	3,830	106,1	-0,26	3,552	156,8	-0,26
4,110	57,5	-0,18	3,960	106,7	-0,26	3,676	156,8	-0,27
4,240	57,5	-0,18	4,086	106,9	-0,26	3,797	156,5	-0,27
4,350	57,3	-0,18	4,214	106,9	-0,26	3,926	155,9	-0,27
4,480	57,5	-0,18	4,337	106,3	-0,26	4,040	155,6	-0,27
4,590	57,3	-0,18	4,470	105,9	-0,26	4,159	156,0	-0,27
4,710	57,1	-0,18	4,605	105,3	-0,26	4,281	154,9	-0,27

COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 - CONCLUSIONI.....	21

1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006” lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.149173° N – 15.517655° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 1 effettuata in area progettuale.





Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 1 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>N 220° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 3.00m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.2m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

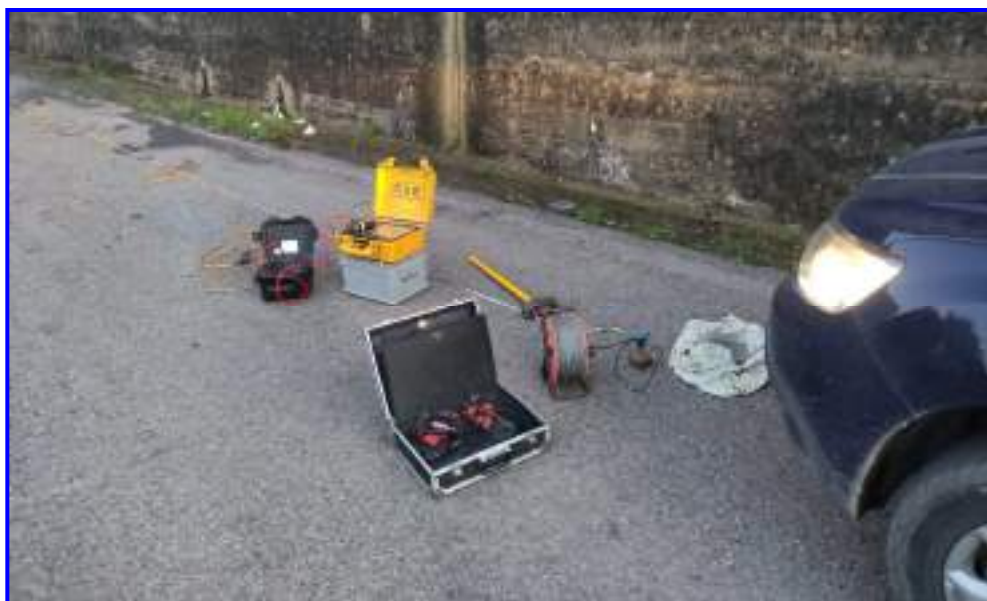


Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).



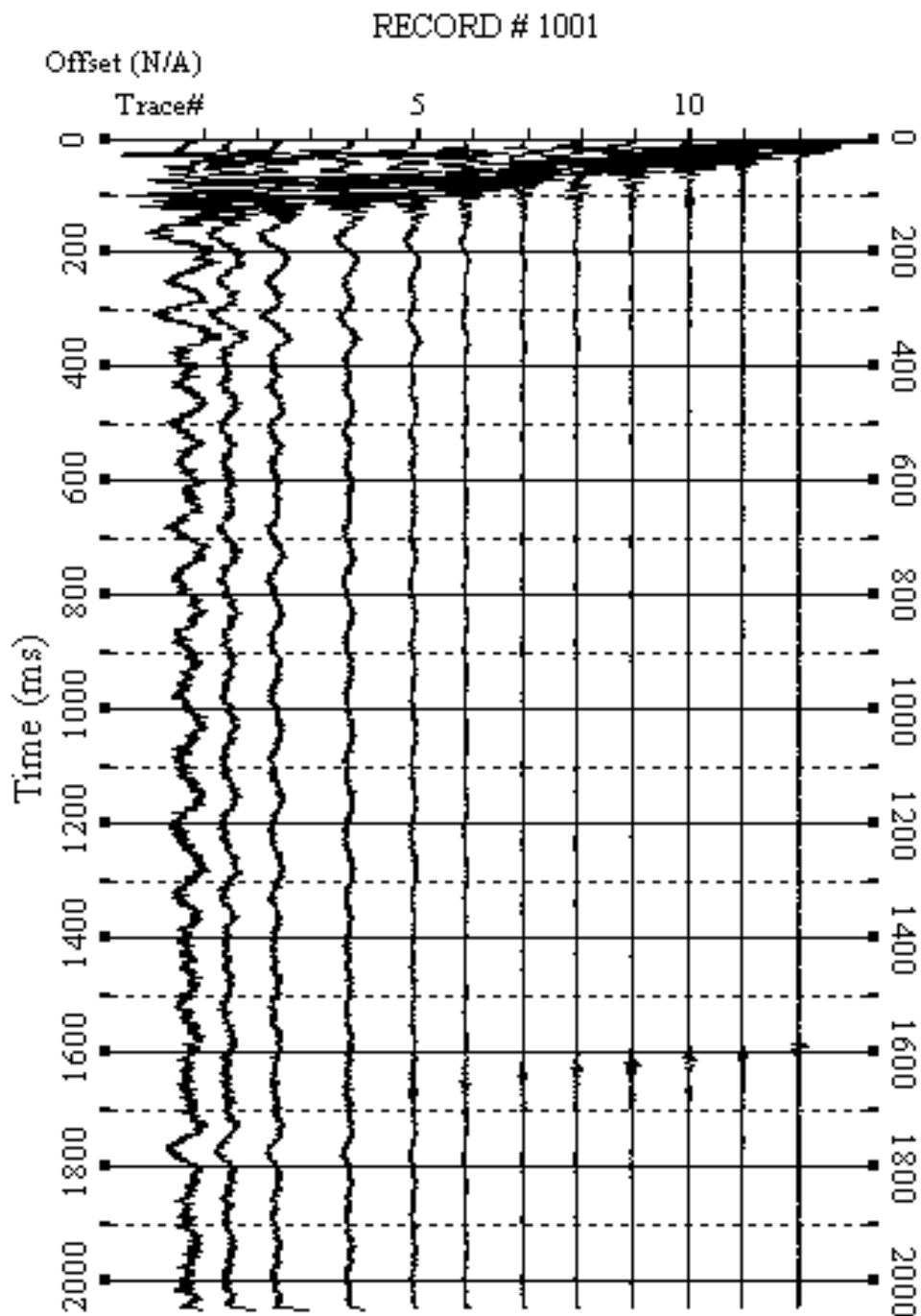


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 1. Finestra temporale [0-2000]ms.



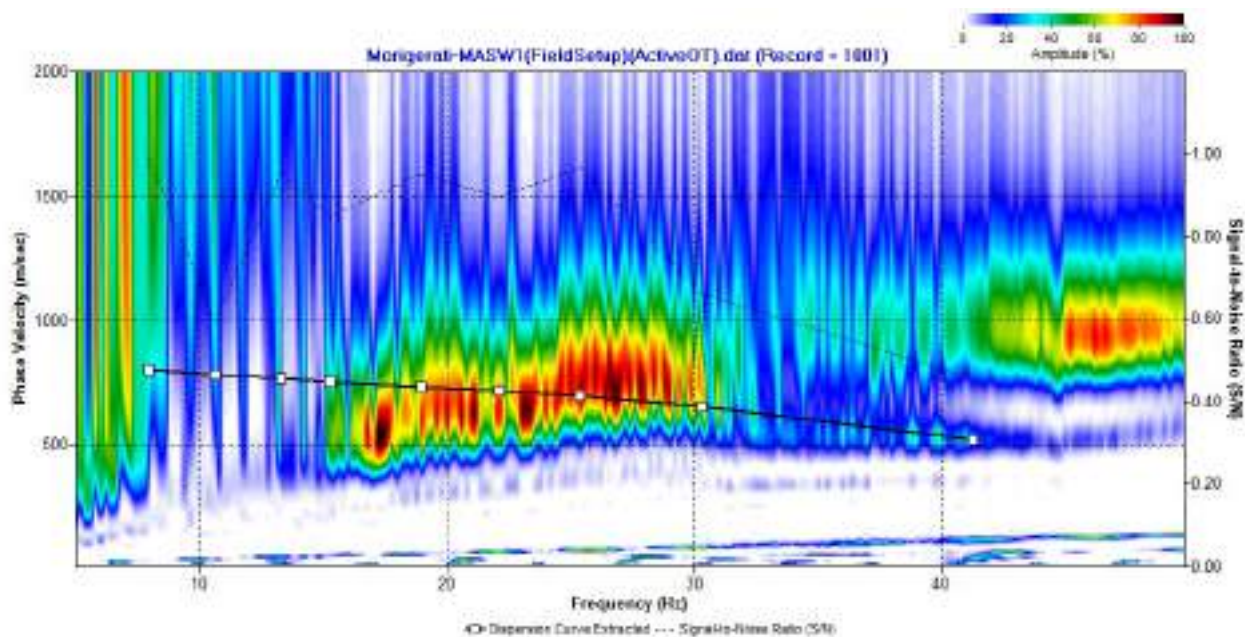


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 1.

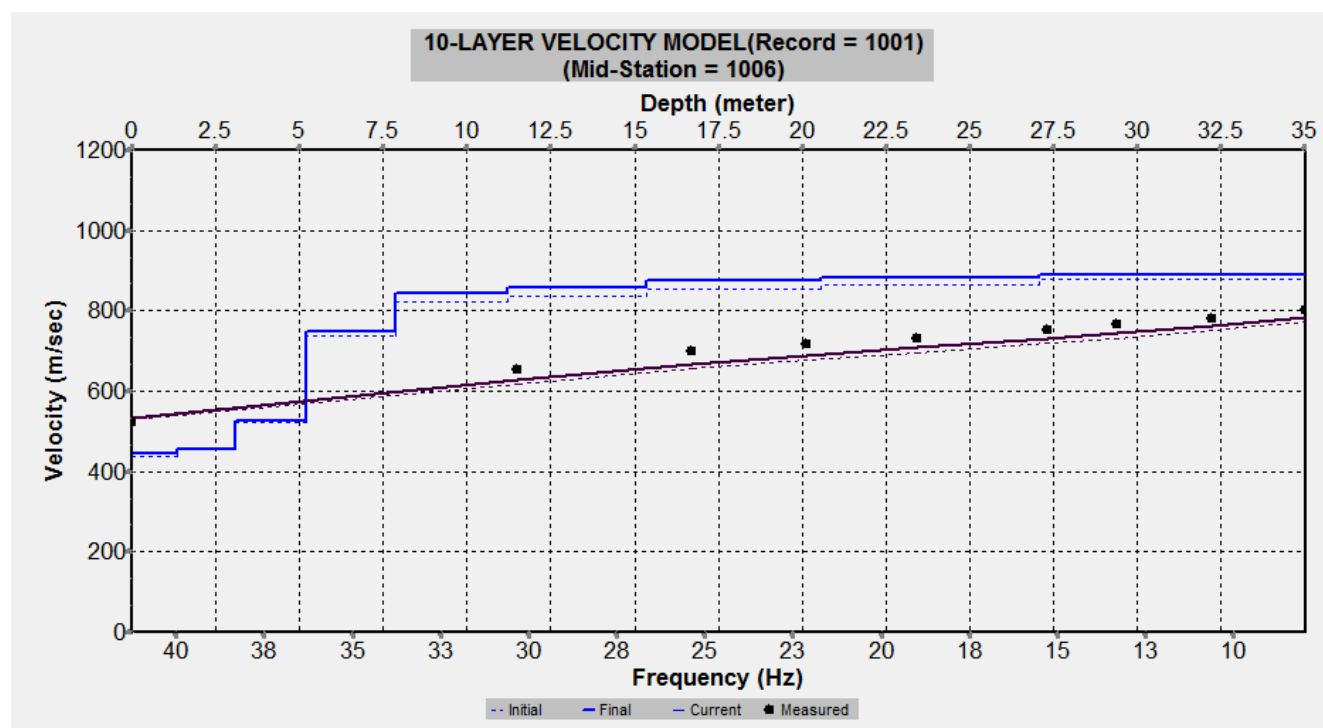


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 1 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 7.9m (0m-7.9m) dal p.c., in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 7.9 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-7.9}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 1	[546]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 1 effettuata.



Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T₁ = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

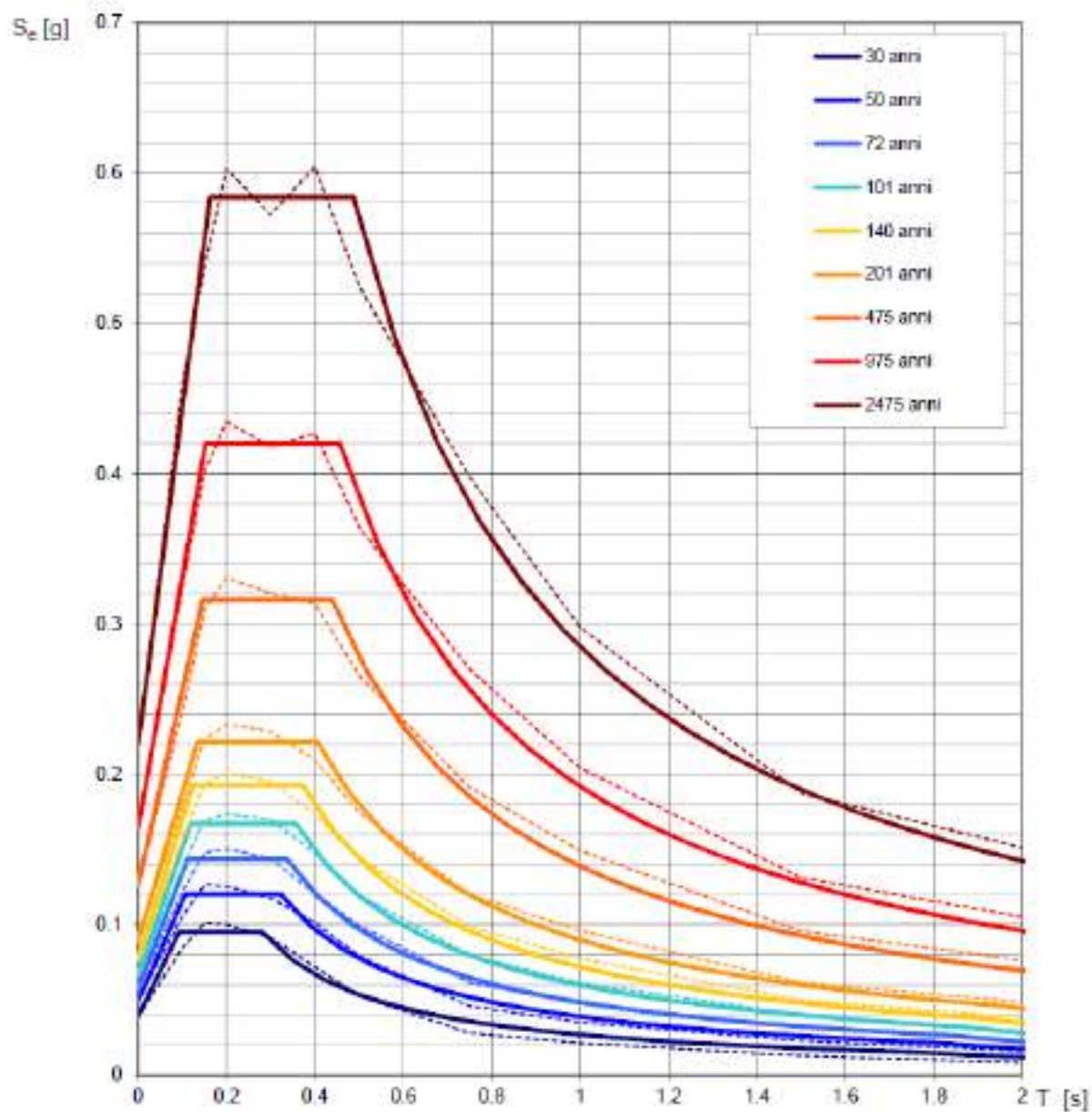
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T1**) individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.517655 – LAT. 40.149173 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.039	2.452	0.280
50	0.050	2.427	0.322
72	0.057	2.502	0.337
101	0.067	2.508	0.356
140	0.077	2.516	0.372
201	0.090	2.477	0.405
475	0.127	2.494	0.439
975	0.164	2.557	0.457
2475	0.220	2.650	0.488

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.517655 – LAT. 40.149173 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.050 g
F_a	2.426
T_c	0.322 s
S_a	1.200
C_c	1.380
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.148 s
T_C	0.445 s
T_D	1.798 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 - T)} \geq 0.55; \eta = 1 / \eta$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g - 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	$T [s]$	$S_a [g]$
	0.000	0.060
$T_B \leftarrow$	0.148	0.145
$T_C \leftarrow$	0.445	0.145
	0.509	0.126
	0.573	0.112
	0.638	0.101
	0.702	0.091
	0.767	0.084
	0.831	0.077
	0.896	0.072
	0.960	0.067
	1.025	0.063
	1.089	0.059
	1.154	0.056
	1.218	0.053
	1.283	0.050
	1.347	0.048
	1.412	0.046
	1.476	0.044
	1.541	0.042
	1.605	0.040
	1.670	0.038
	1.734	0.037
$T_D \leftarrow$	1.798	0.036
	1.903	0.032
	2.008	0.029
	2.113	0.026
	2.218	0.023
	2.323	0.021
	2.427	0.020
	2.532	0.018
	2.637	0.017
	2.742	0.015
	2.847	0.014
	2.952	0.013
	3.056	0.012
	3.161	0.012
	3.266	0.011
	3.371	0.010
	3.476	0.010
	3.581	0.009
	3.685	0.009
	3.790	0.008
	3.895	0.008
	4.000	0.007

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gr}	0.015 g
S_B	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.730
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_B \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_a [g]$
0.000	0.015
0.050	0.024
0.150	0.024
0.235	0.015
0.320	0.011
0.405	0.009
0.490	0.007
0.575	0.006
0.660	0.005
0.745	0.005
0.830	0.004
0.915	0.004
1.000	0.004
1.094	0.003
1.188	0.003
1.281	0.002
1.375	0.002
1.469	0.002
1.563	0.001
1.658	0.001
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.408	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.000
2.875	0.000
2.969	0.000
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



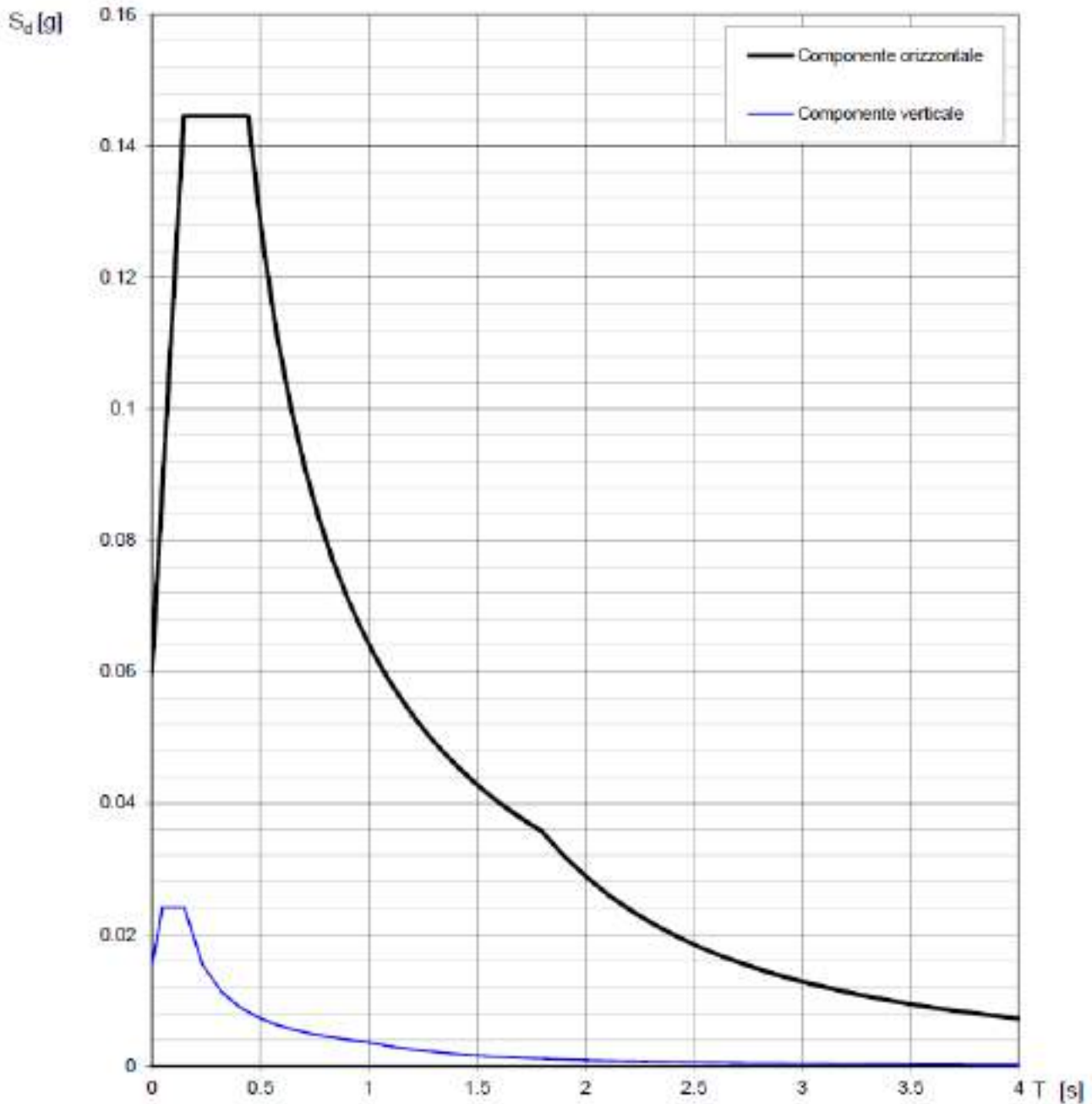


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.127 g
F_a	2.494
T_c	0.439 s
S_s	1.200
C_c	1.297
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.190 s
T_C	0.570 s
T_D	2.107 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 1)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_0$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limiti Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.152
0.190	0.379
0.570	0.379
0.643	0.336
0.716	0.302
0.789	0.274
0.862	0.250
0.936	0.231
1.009	0.214
1.082	0.200
1.155	0.187
1.228	0.176
1.302	0.166
1.375	0.157
1.448	0.149
1.521	0.142
1.594	0.136
1.667	0.130
1.741	0.124
1.814	0.119
1.887	0.114
1.960	0.110
2.033	0.106
2.107	0.103
2.197	0.094
2.287	0.087
2.377	0.081
2.467	0.076
2.557	0.070
2.646	0.065
2.738	0.061
2.828	0.057
2.918	0.053
3.008	0.050
3.096	0.047
3.189	0.045
3.279	0.042
3.369	0.040
3.459	0.038
3.549	0.036
3.639	0.034
3.730	0.033
3.820	0.031
3.910	0.030
4.000	0.028

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{ov}	0.051 g
S_E	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_r	1.198
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_E \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_r = 1.35 \cdot F_0 \left(\frac{a_r}{g} \right)^{0.1}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_r \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_r} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_r$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_r \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_r \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.061
$T_B \leftarrow$	0.050	0.101
$T_C \leftarrow$	0.150	0.101
	0.235	0.085
	0.320	0.047
	0.405	0.037
	0.490	0.031
	0.575	0.026
	0.660	0.023
	0.745	0.020
	0.830	0.018
	0.915	0.017
$T_D \leftarrow$	1.000	0.015
	1.094	0.013
	1.188	0.011
	1.281	0.009
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.658	0.006
	1.750	0.005
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



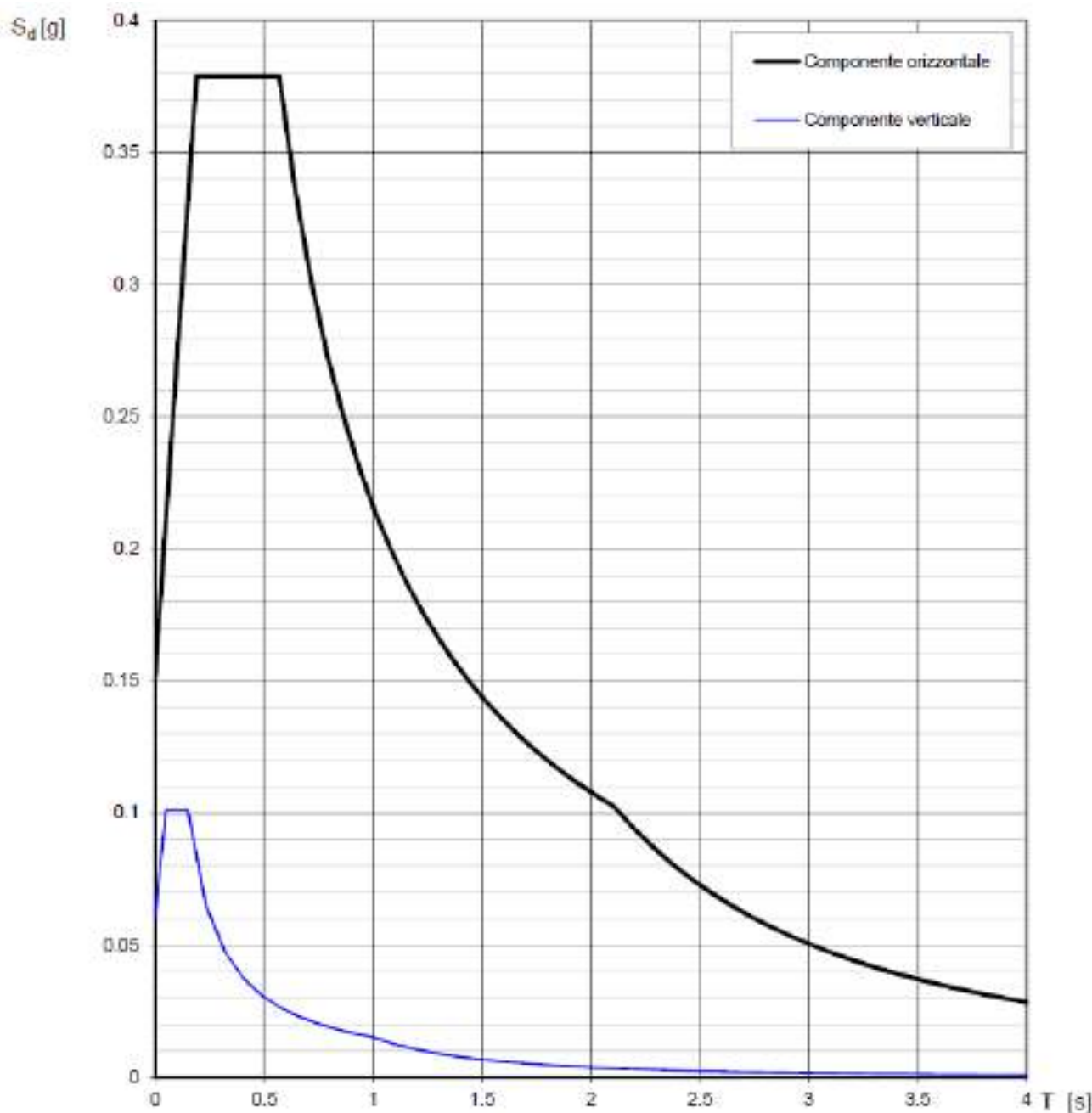


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

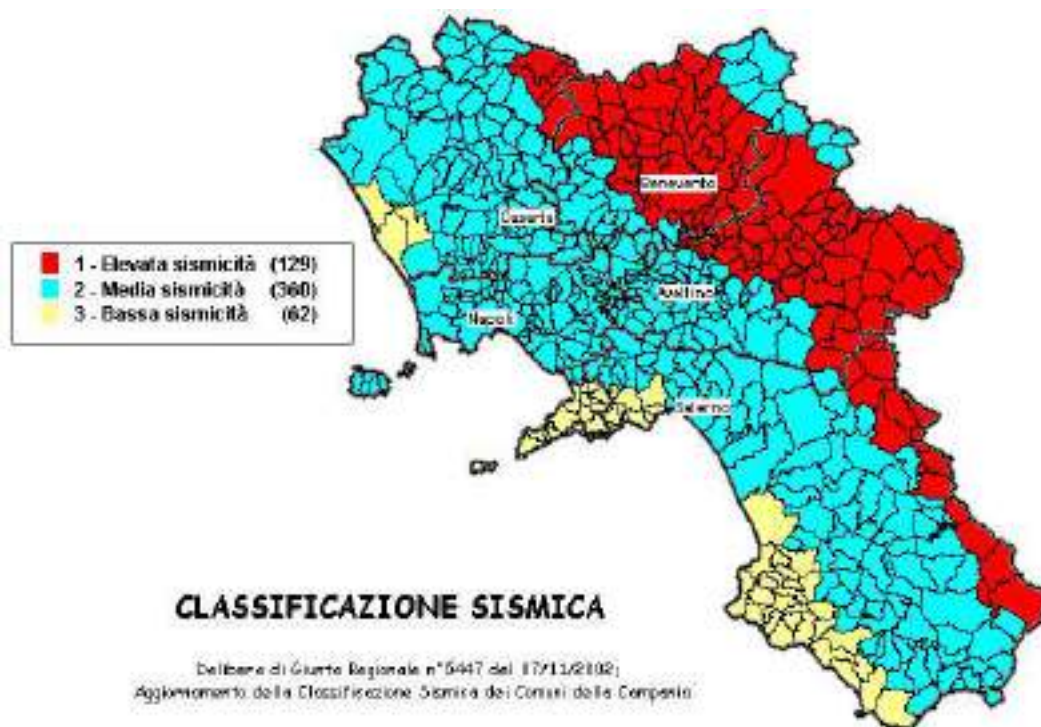
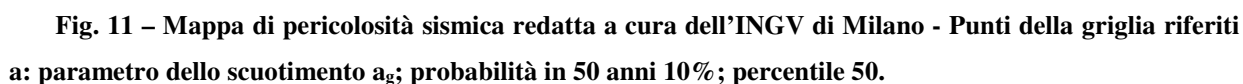


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-7.9}\ (m/s)$
<i>MASW n. 1</i>	<i>[546]</i>

Associação Paulista de Cirurgiões Dentários
A.P.C. ASSOCIADO
Trabalho 2018 - 2019
Credenciado nº 23412217
Instituição de Ensino Superior

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.050]	[0.127]	[0.145]	[0.379]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 1 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s)
S1	0.0 – 3.1	452
S2	3.1 – 5.2	524
S3	5.2 – 7.9	748
S4	7.9 – 35.2	870

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 1.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, gennaio 2021

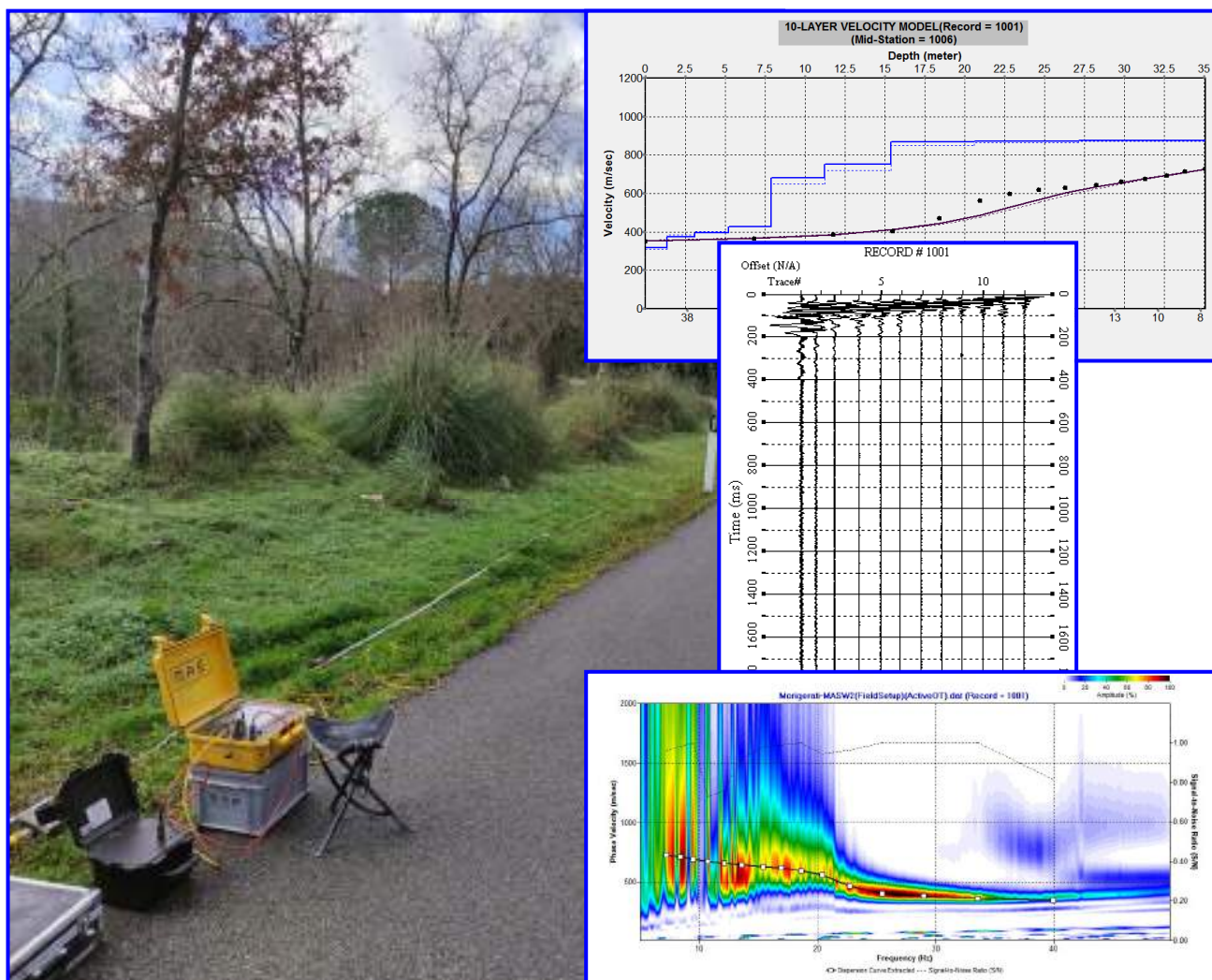
Il tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 - CONCLUSIONI.....	21



1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”. lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.149173° N – 15.517655° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 2 effettuata in area progettuale.





Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 2 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>N 230° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 3.00m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.3m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).



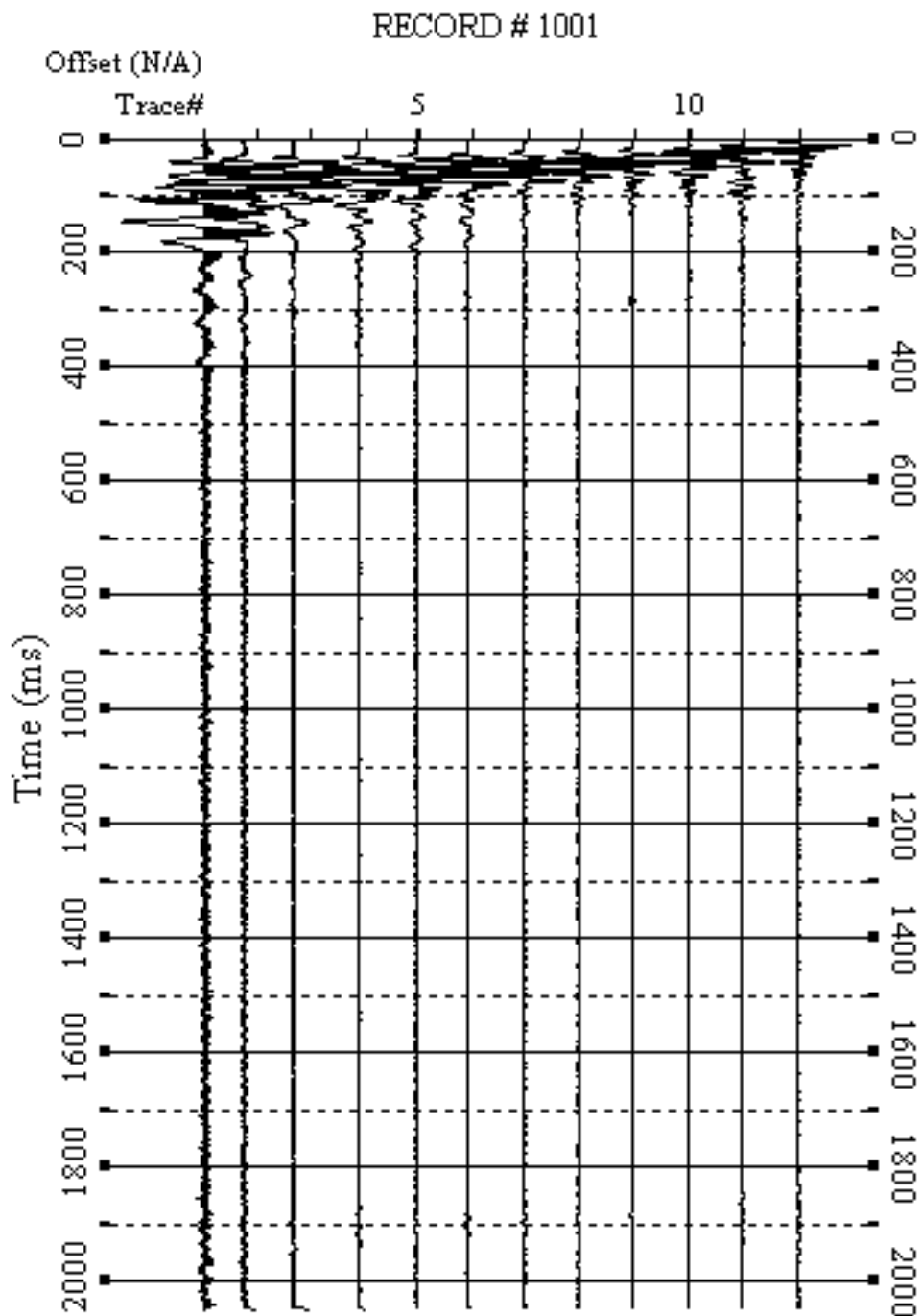


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 2. Finestra temporale [0-2000]ms.



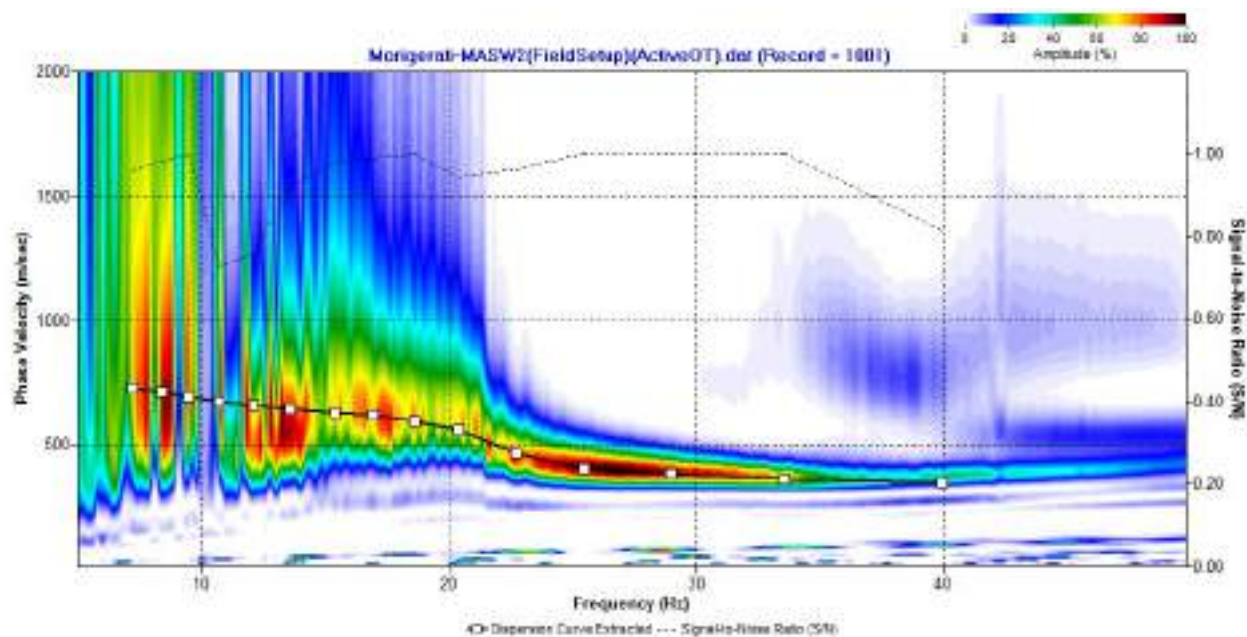


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 2.

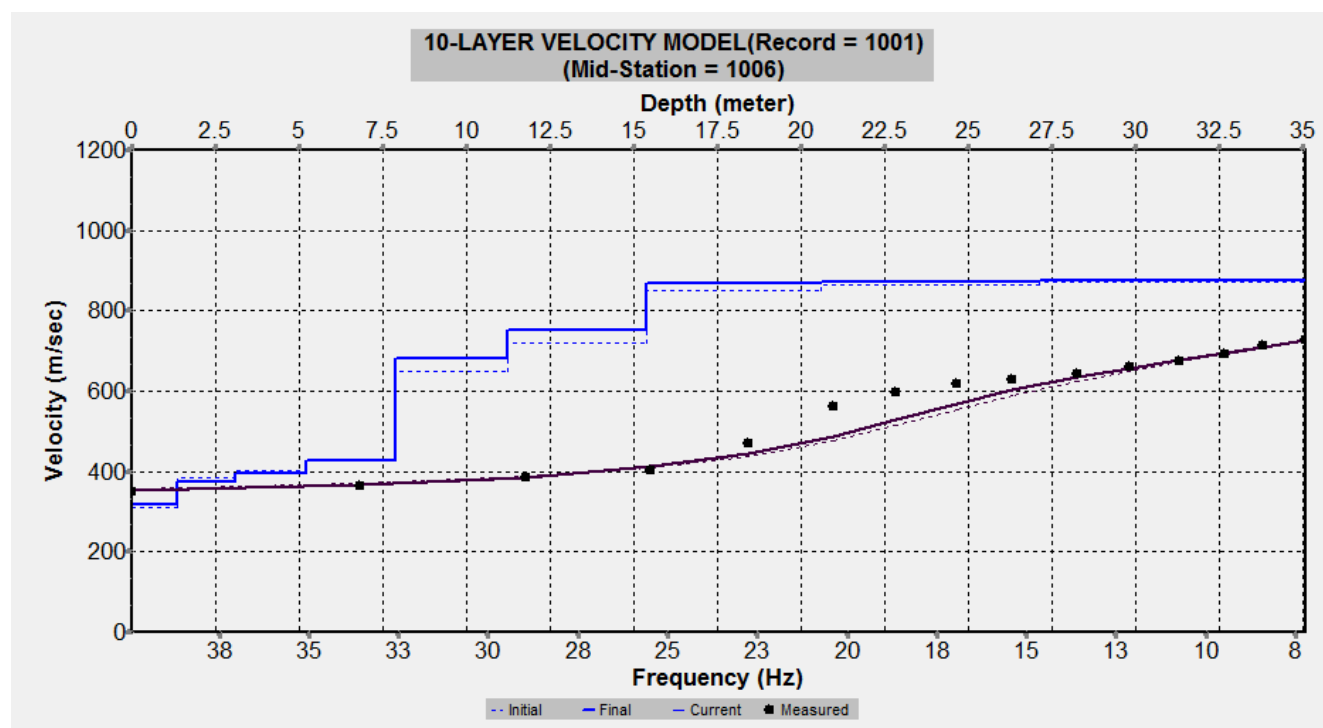


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 2.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 2 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 15.4m (0m-15.4m) dal p.c., in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 15.4 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-15.4}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 2	[497]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 2 effettuata.



Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T₁ = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

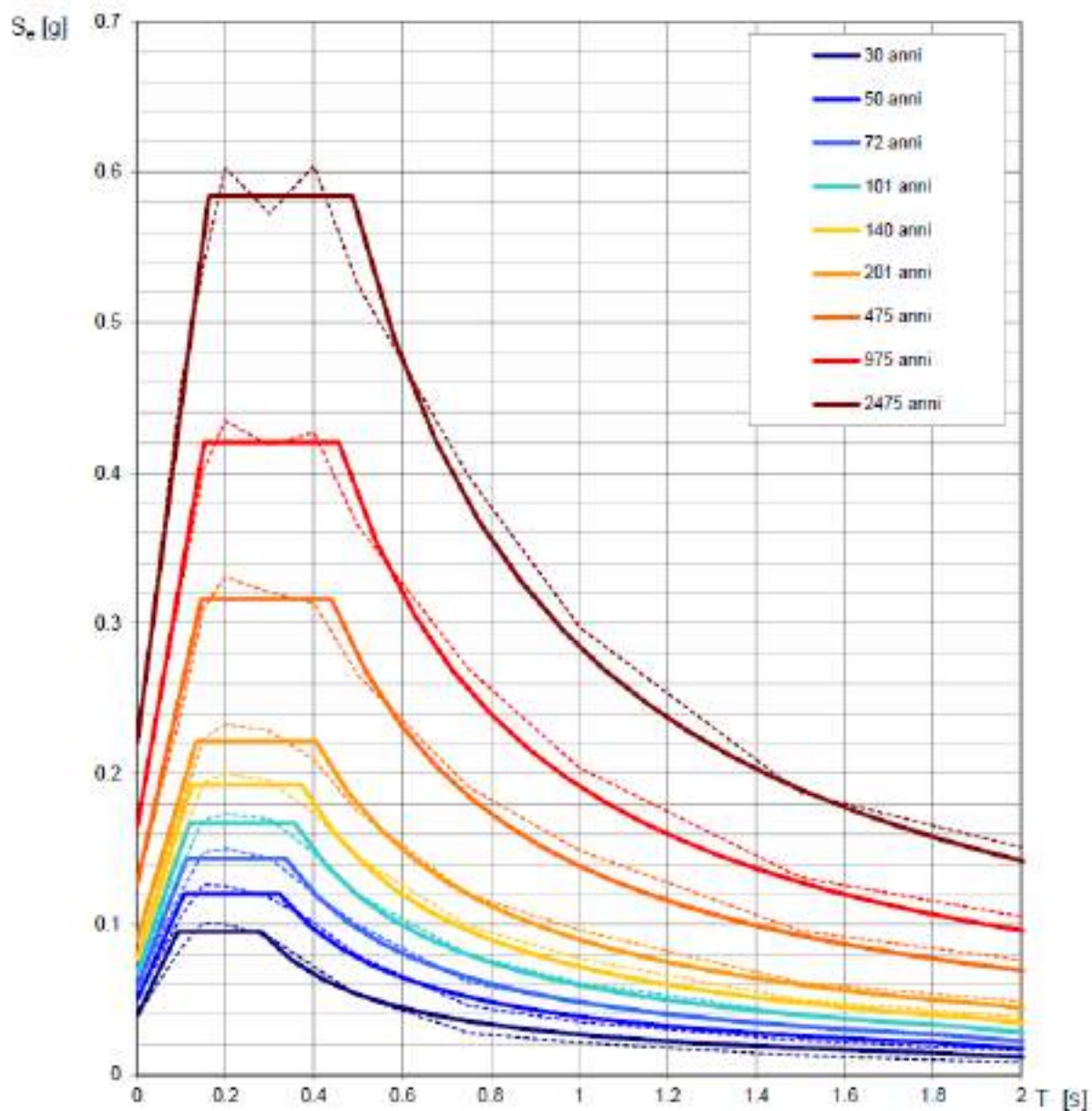
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T1**) individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.517655 – LAT. 40.149173 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0.039	2.452	0.280
50	0.050	2.427	0.322
72	0.057	2.502	0.337
101	0.067	2.508	0.356
140	0.077	2.516	0.372
201	0.090	2.477	0.405
475	0.127	2.494	0.439
975	0.164	2.557	0.457
2475	0.220	2.650	0.488

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.517655 – LAT. 40.149173 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_H	0.050 g
F_a	2.428
T_c	0.322 s
S_a	1.200
C_c	1.380
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.148 s
T_C	0.445 s
T_D	1.798 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + z)} \geq 0.55; \eta = 1 \cdot q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.060
$T_B \leftarrow$	0.148	0.145
$T_C \leftarrow$	0.445	0.145
	0.509	0.126
	0.573	0.112
	0.638	0.101
	0.702	0.091
	0.767	0.084
	0.831	0.077
	0.896	0.072
	0.960	0.067
	1.025	0.063
	1.089	0.059
	1.154	0.056
	1.218	0.053
	1.283	0.050
	1.347	0.048
	1.412	0.046
	1.476	0.044
	1.541	0.042
	1.605	0.040
	1.670	0.038
	1.734	0.037
$T_D \leftarrow$	1.798	0.036
	1.903	0.032
	2.008	0.029
	2.113	0.026
	2.218	0.023
	2.323	0.021
	2.427	0.020
	2.532	0.018
	2.637	0.017
	2.742	0.015
	2.847	0.014
	2.952	0.013
	3.056	0.012
	3.161	0.012
	3.266	0.011
	3.371	0.010
	3.476	0.010
	3.581	0.009
	3.685	0.009
	3.790	0.008
	3.895	0.008
	4.000	0.007

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{max}	0.015 g
S_B	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.730
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_B \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_a \cdot \left(\frac{S_B}{S} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_c \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_c \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_c \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_c \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.015
0.050	0.024
0.150	0.024
0.235	0.015
0.320	0.011
0.405	0.009
0.490	0.007
0.575	0.006
0.660	0.005
0.745	0.005
0.830	0.004
0.915	0.004
1.000	0.004
1.094	0.003
1.188	0.003
1.281	0.002
1.375	0.002
1.468	0.002
1.563	0.001
1.656	0.001
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.000
2.875	0.000
2.968	0.000
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



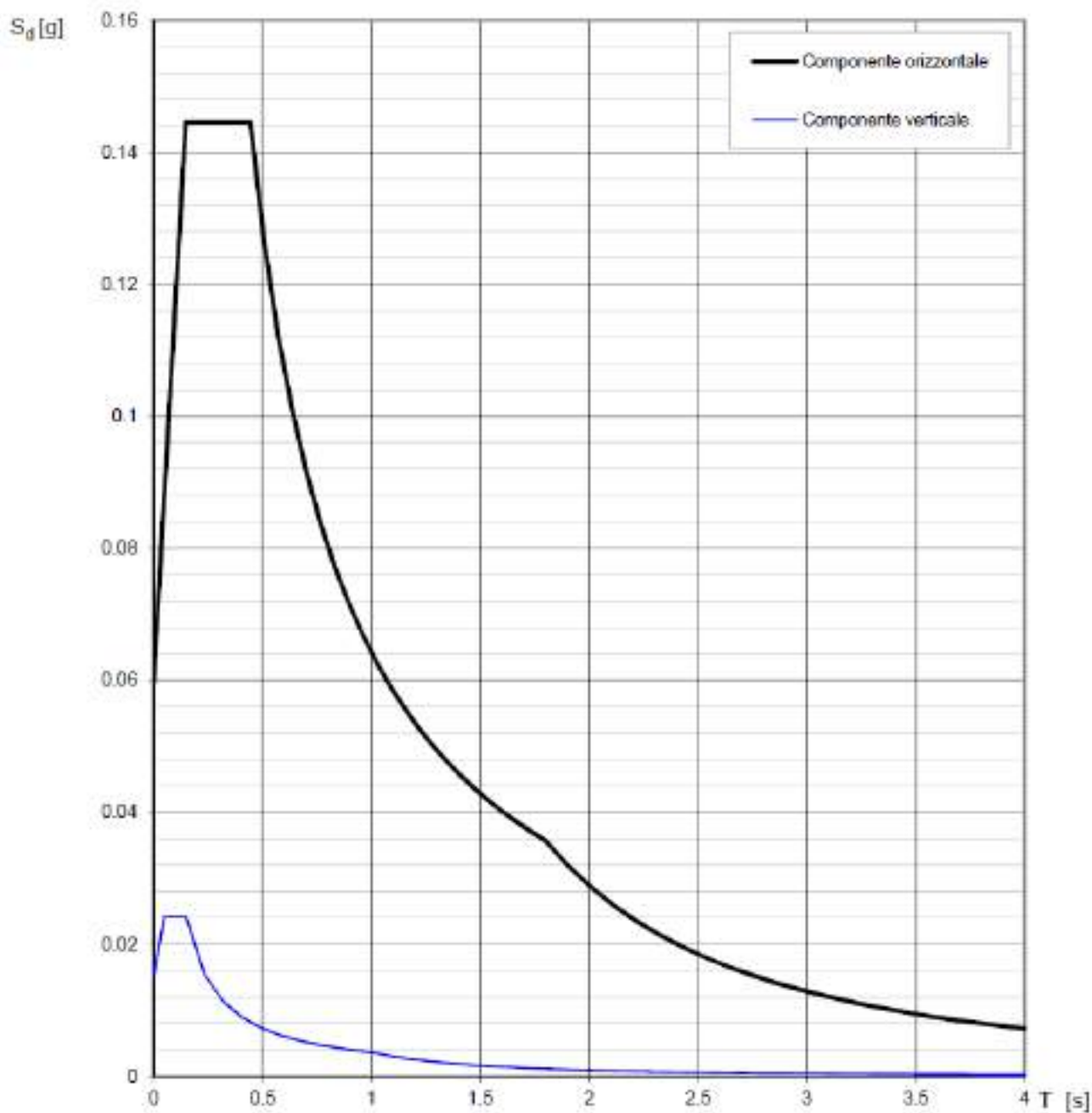


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	Se [g]
a_g	0.127 g	0.000	0.152
F_a	2.494	0.190	0.379
T_b	0.439 s	0.570	0.379
S_b	1.200	0.643	0.336
C_b	1.297	0.716	0.302
S_T	1.000	0.789	0.274
q	1.000	0.862	0.250
		0.936	0.231
		1.009	0.214
		1.082	0.200
		1.155	0.187
		1.228	0.176
		1.302	0.166
		1.375	0.157
		1.448	0.149
		1.521	0.142
		1.594	0.135
		1.667	0.130
		1.741	0.124
		1.814	0.119
		1.887	0.114
		1.960	0.110
		2.033	0.106
		2.107	0.103
		2.197	0.094
		2.287	0.087
		2.377	0.081
		2.467	0.075
		2.557	0.070
		2.648	0.065
		2.738	0.061
		2.828	0.057
		2.918	0.053
		3.008	0.050
		3.098	0.047
		3.189	0.045
		3.279	0.042
		3.369	0.040
		3.459	0.038
		3.549	0.036
		3.639	0.034
		3.730	0.033
		3.820	0.031
		3.910	0.030
		4.000	0.029

Parametri dipendenti	
S_b	1.200
η	1.000
T_b	0.190 s
T_c	0.570 s
T_D	2.107 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_b \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_b \cdot T_0$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_b \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$$

$$T_b \leq T < T_c \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_D}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{av}	0.061 g
S_a	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.060 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.198
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_e \left(\frac{a_T}{g} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.061
0.050	0.101
0.150	0.101
0.235	0.085
0.320	0.047
0.405	0.037
0.490	0.031
0.575	0.026
0.660	0.023
0.745	0.020
0.830	0.018
0.915	0.017
1.000	0.016
1.094	0.013
1.188	0.011
1.281	0.009
1.375	0.008
1.469	0.007
1.563	0.006
1.658	0.006
1.750	0.005
1.844	0.004
1.938	0.004
2.031	0.004
2.125	0.003
2.219	0.003
2.313	0.003
2.406	0.003
2.500	0.002
2.594	0.002
2.688	0.002
2.781	0.002
2.875	0.002
2.969	0.002
3.063	0.002
3.156	0.002
3.250	0.001
3.344	0.001
3.438	0.001
3.531	0.001
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



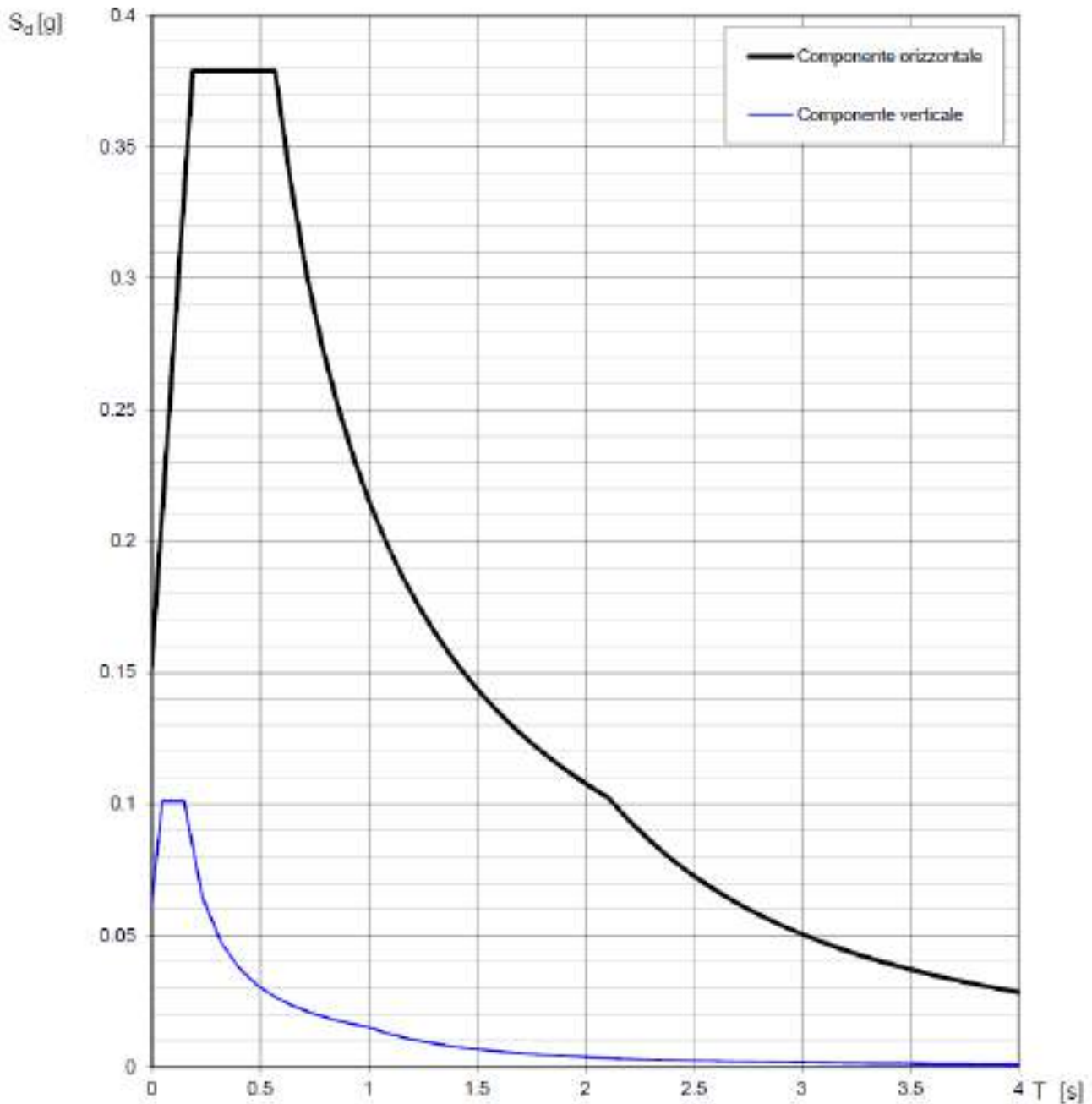


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

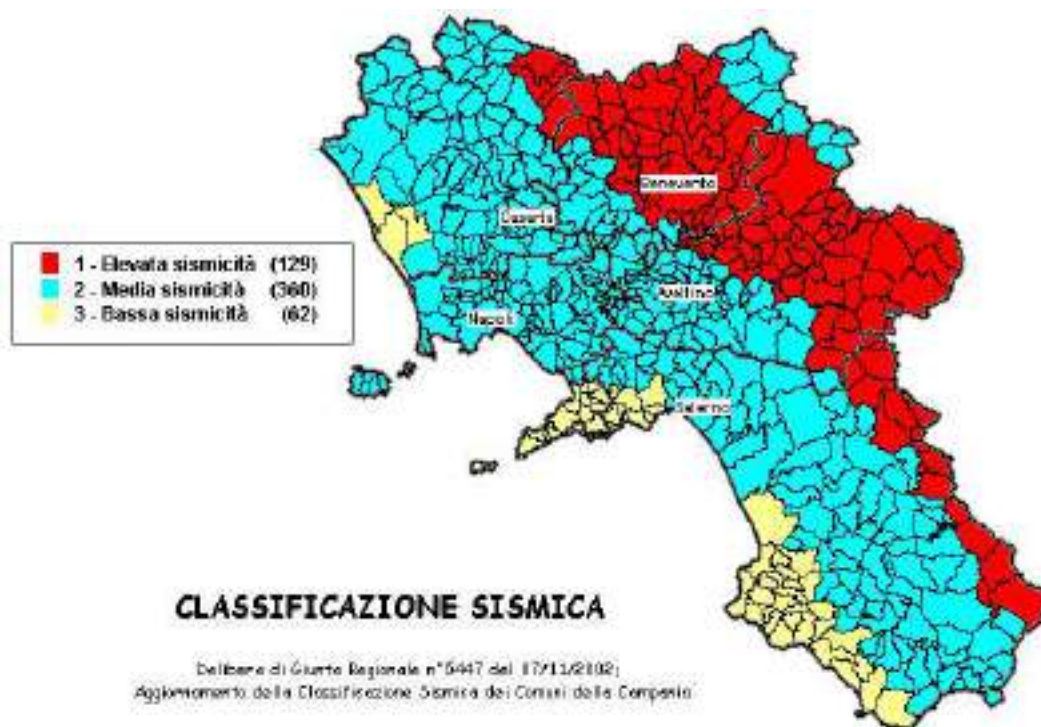
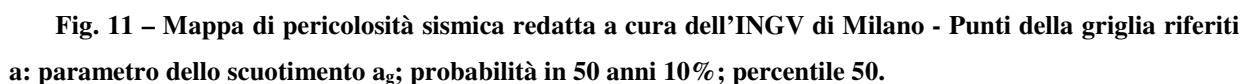


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



Prospezione sismica	$V_{S\ 0-15.4}$ (m/s)
MASW n. 2	[497]

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.050]	[0.127]	[0.145]	[0.379]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 2 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s) acquisizione n.1
S1	0.0 – 1.4	318
S2	1.4 – 7.9	399
S3	7.9 – 11.2	681
S4	11.2 – 15.4	752
S5	15.4 – 35.3	872

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 2.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

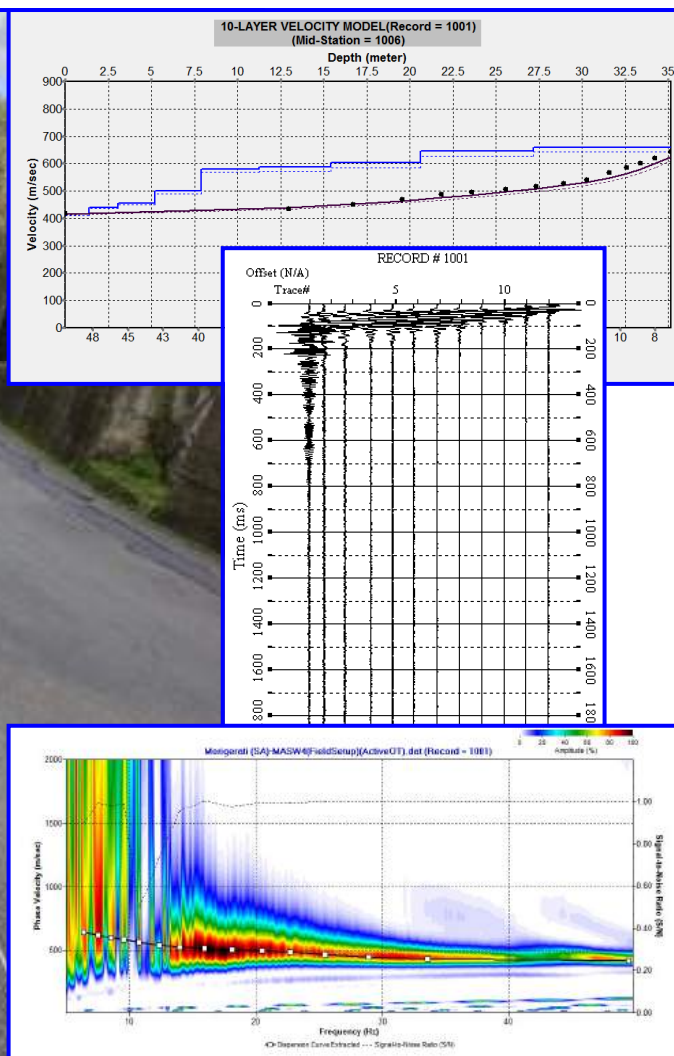
Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 - CONCLUSIONI.....	21



1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006” lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.139260° N – 15.563342° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 4 effettuata in area progettuale.

Dottor Geologo Francesco Cuccurullo – Traversa S. Rocco 52, 84016 Pagani (Sa) tel. 0810604581 - cell. 3386883867

P. IVA 04592771218 – mail to: cuccur@libero.it – PEC: francescocuccurullo@epap.sicurezzapostale.it



Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 4 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
MASW n. 4	39.0	3.0	N 250° E

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 3.00m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.3m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).



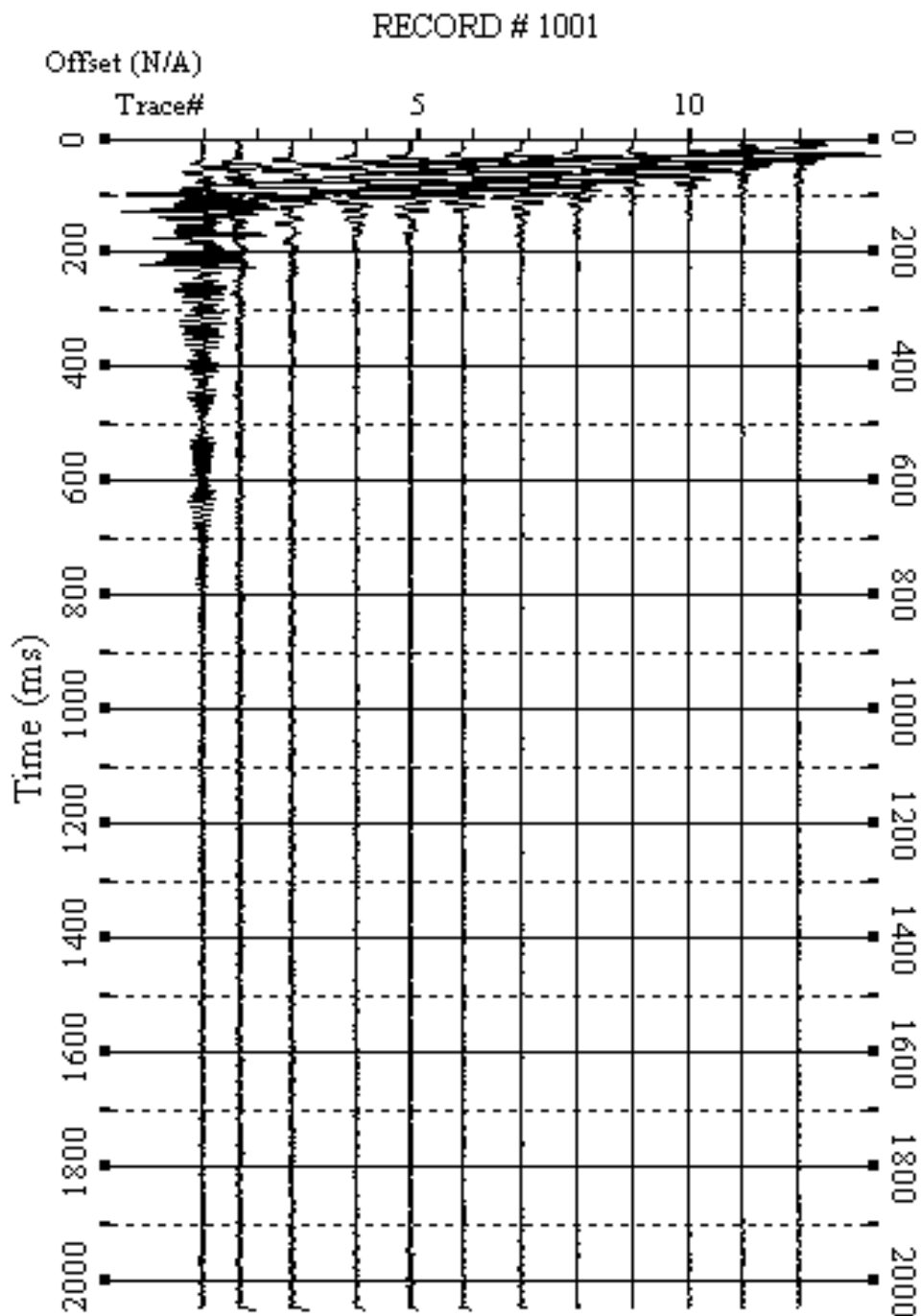


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 4. Finestra temporale [0-2000]ms.



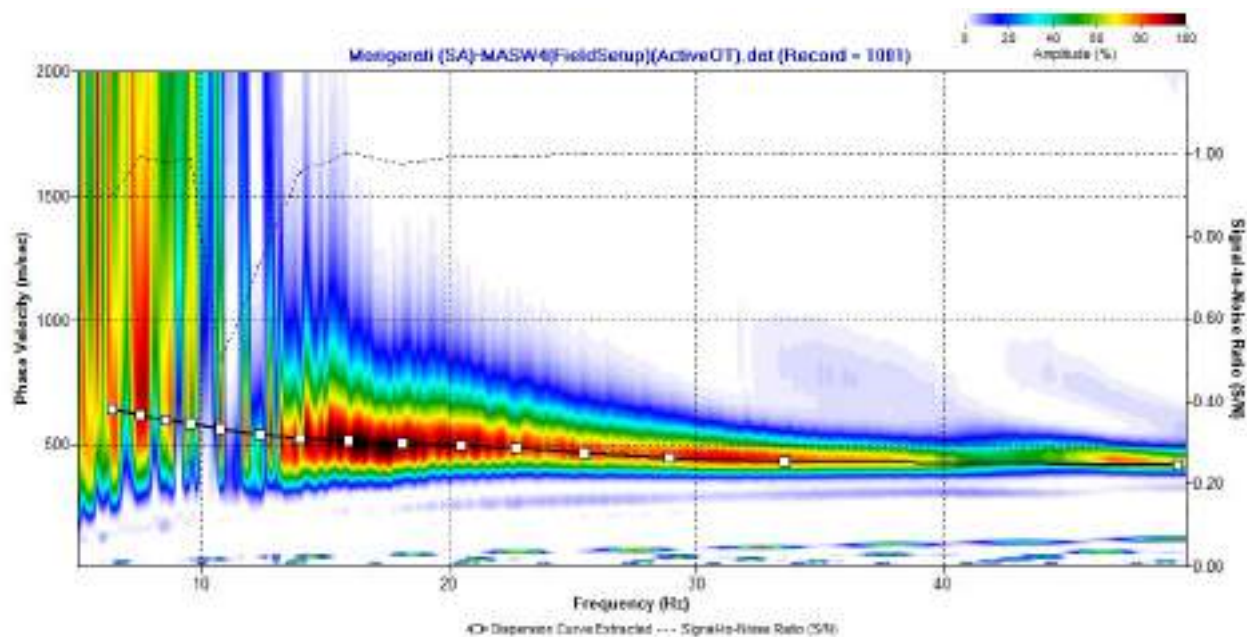


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 4.

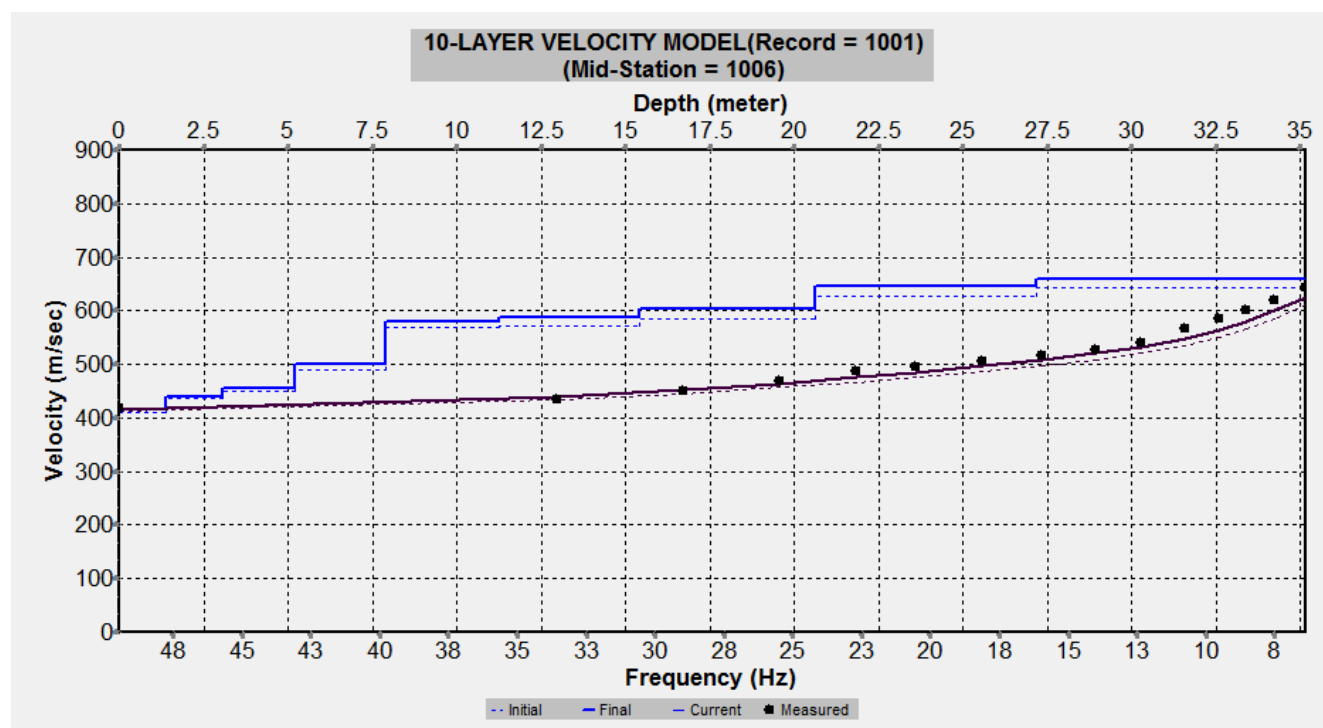


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 4.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 4 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 4	[564]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 4 effettuata.

Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 0.4$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

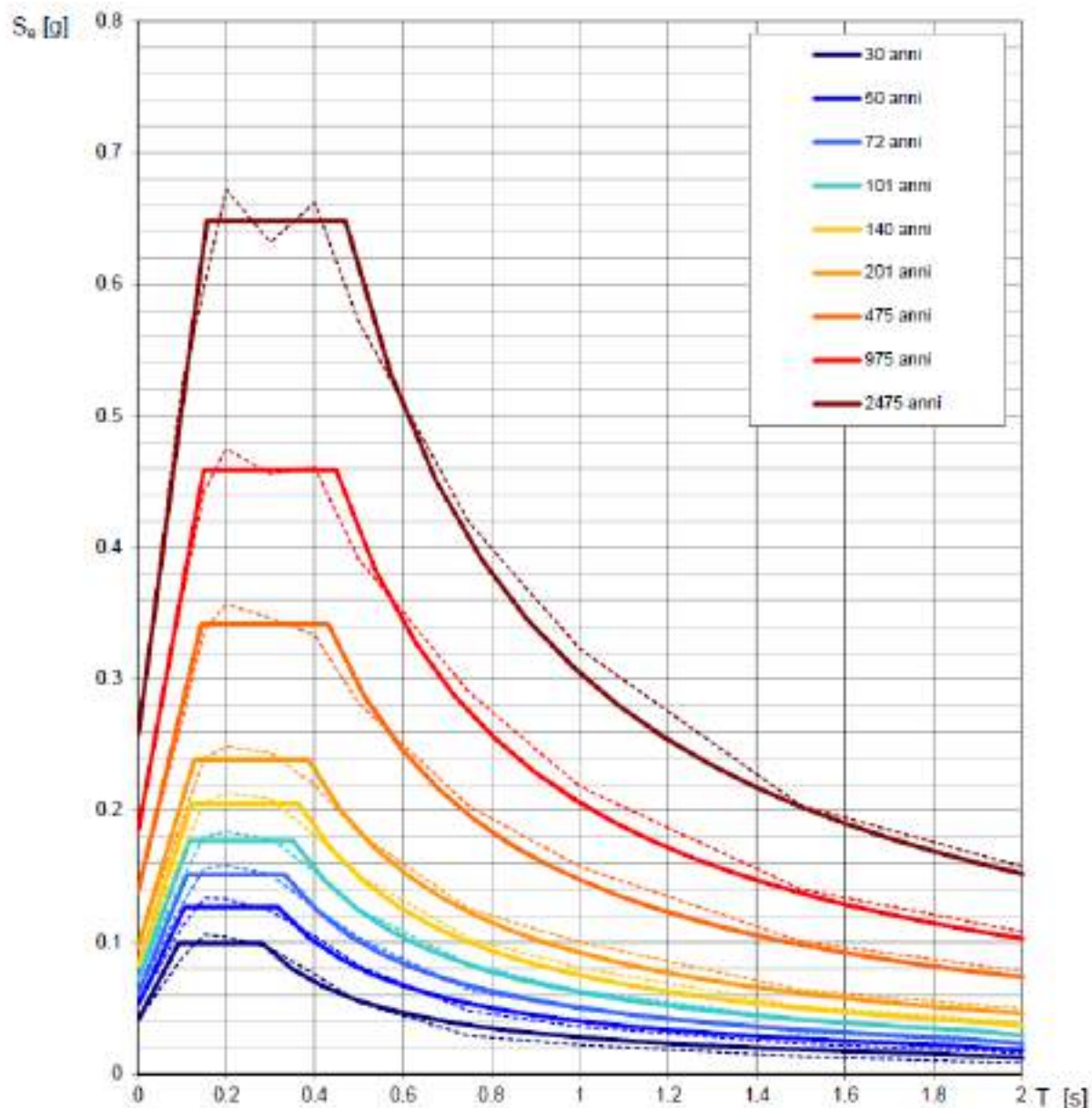
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2** ($h/H = 0.4$)] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563342 – LAT. 40.139260 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.041	2.432	0.280
50	0.052	2.418	0.317
72	0.061	2.477	0.333
101	0.071	2.482	0.351
140	0.082	2.495	0.365
201	0.097	2.476	0.385
475	0.139	2.465	0.431
975	0.184	2.496	0.449
2475	0.257	2.524	0.470

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T2 (h/H = 0.4)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563342 – LAT. 40.139260 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.052 g
F_a	2.419
I_a	0.317 s
S_a	1.200
C_D	1.384
S_r	1.080
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.296
η	1.000
T_B	0.146 s
T_C	0.439 s
T_D	1.810 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_0 \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (3 + \frac{1}{q})} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_D \cdot T_0$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.058
$T_B \leftarrow$	0.148	0.185
$T_C \leftarrow$	0.439	0.185
	0.504	0.143
	0.569	0.127
	0.635	0.114
	0.700	0.103
	0.765	0.094
	0.831	0.087
	0.896	0.081
	0.961	0.075
	1.026	0.070
	1.092	0.066
	1.157	0.062
	1.222	0.059
	1.288	0.056
	1.353	0.053
	1.418	0.051
	1.483	0.049
	1.549	0.047
	1.614	0.045
	1.679	0.043
	1.745	0.041
$T_D \leftarrow$	1.810	0.040
	1.914	0.036
	2.018	0.032
	2.123	0.029
	2.227	0.026
	2.331	0.024
	2.435	0.022
	2.540	0.020
	2.644	0.019
	2.749	0.017
	2.853	0.016
	2.957	0.015
	3.061	0.014
	3.166	0.013
	3.270	0.012
	3.374	0.011
	3.479	0.011
	3.583	0.010
	3.687	0.010
	3.791	0.009
	3.896	0.009
	4.000	0.008

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.4). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gr}	0.018 g
S_s	1.000
S_r	1.080
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_s	0.748
S	1.080
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_r \cdot S_t$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_s = 1.35 \cdot F_a \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_s(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_s(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_s(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_s(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

$T [s]$	$S_s [g]$
0.000	0.018
0.050	0.028
0.150	0.028
0.235	0.018
0.320	0.013
0.405	0.010
0.490	0.009
0.575	0.007
0.660	0.006
0.745	0.006
0.830	0.005
0.915	0.005
1.000	0.004
1.094	0.004
1.189	0.003
1.281	0.003
1.375	0.002
1.469	0.002
1.563	0.002
1.656	0.002
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.000
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.4$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



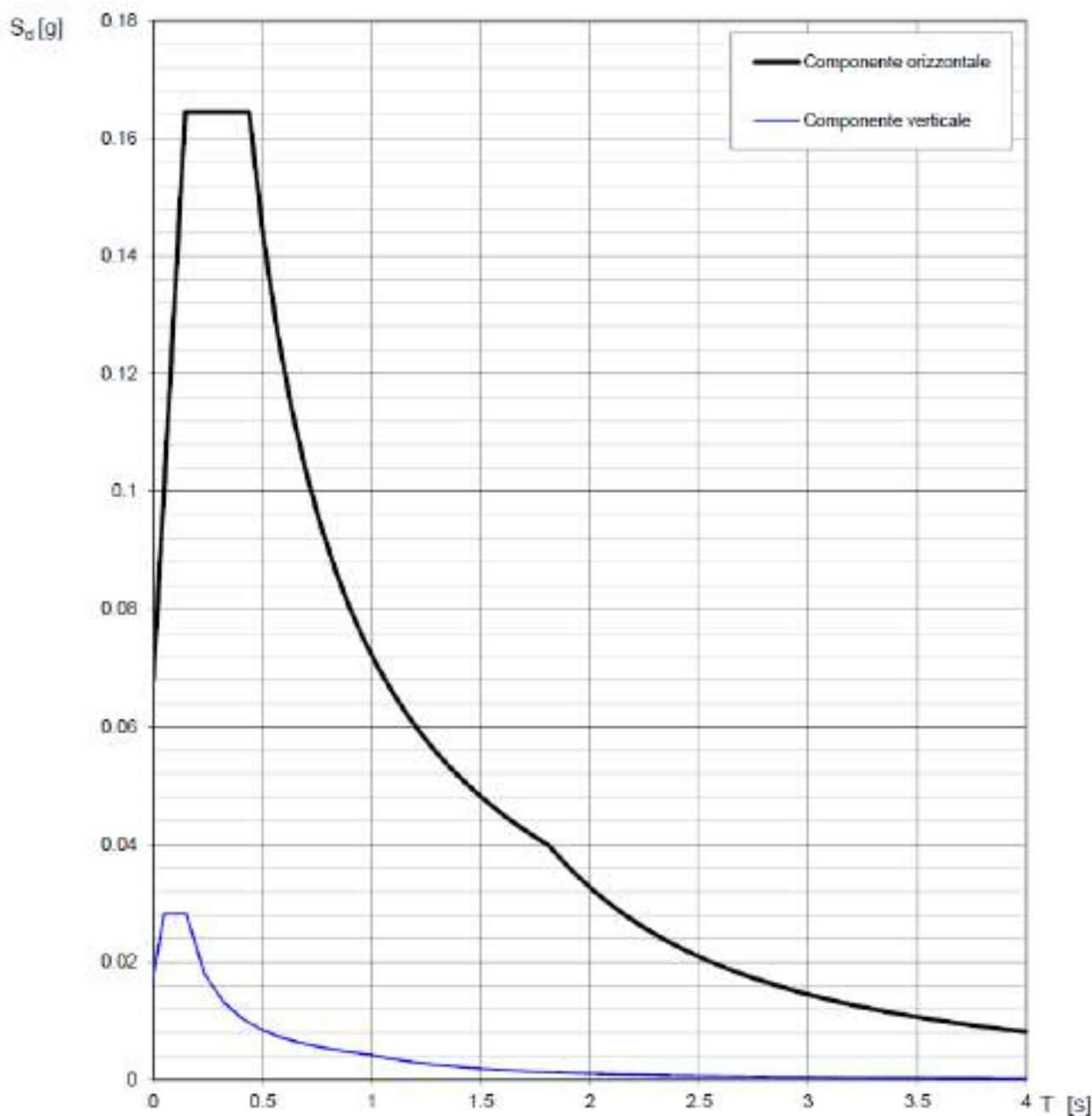


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.4$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.138 g
F_a	2.465
T_c	0.431 s
S_s	1.200
C_c	1.302
S_r	1.080
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.298
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.561 s
T_D	2.154 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_r$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.180
$T_B \leftarrow$	0.187	0.443
$T_C \leftarrow$	0.561	0.443
	0.637	0.390
	0.713	0.348
	0.789	0.315
	0.865	0.287
	0.940	0.264
	1.016	0.244
	1.092	0.227
	1.168	0.213
	1.244	0.200
	1.320	0.188
	1.396	0.178
	1.471	0.169
	1.547	0.160
	1.623	0.153
	1.699	0.146
	1.775	0.140
	1.851	0.134
	1.927	0.129
	2.002	0.124
	2.079	0.119
$T_D \leftarrow$	2.154	0.115
	2.242	0.106
	2.330	0.099
	2.418	0.092
	2.506	0.085
	2.594	0.080
	2.682	0.074
	2.769	0.070
	2.857	0.066
	2.945	0.062
	3.033	0.058
	3.121	0.055
	3.209	0.052
	3.297	0.049
	3.385	0.047
	3.473	0.044
	3.561	0.042
	3.648	0.040
	3.736	0.038
	3.824	0.037
	3.912	0.035
	4.000	0.033

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.4). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{ov}	0.070 g
S_a	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.239
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_T \cdot S_a$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{R_s}{g} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_a(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_a(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_a(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_a(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.075
0.050	0.124
0.150	0.124
0.235	0.079
0.320	0.058
0.405	0.046
0.490	0.038
0.575	0.032
0.660	0.028
0.745	0.025
0.830	0.022
0.915	0.020
1.000	0.019
1.084	0.015
1.188	0.013
1.281	0.011
1.375	0.010
1.469	0.009
1.583	0.008
1.656	0.007
1.750	0.006
1.844	0.005
1.938	0.005
2.031	0.004
2.125	0.004
2.219	0.004
2.313	0.003
2.406	0.003
2.500	0.003
2.584	0.003
2.688	0.003
2.781	0.002
2.875	0.002
2.969	0.002
3.063	0.002
3.156	0.002
3.250	0.002
3.344	0.002
3.438	0.002
3.531	0.001
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.4). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



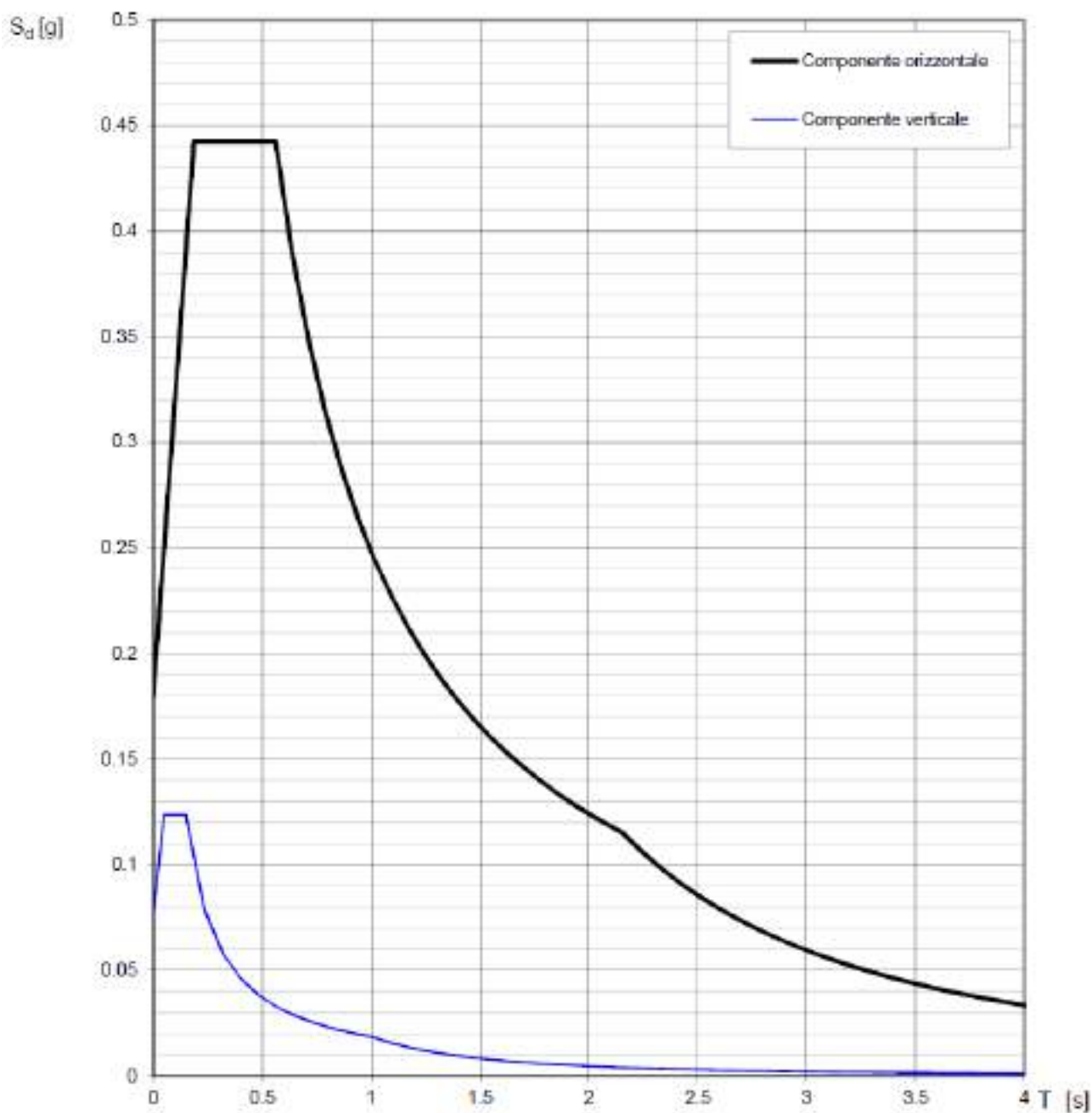


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.4$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

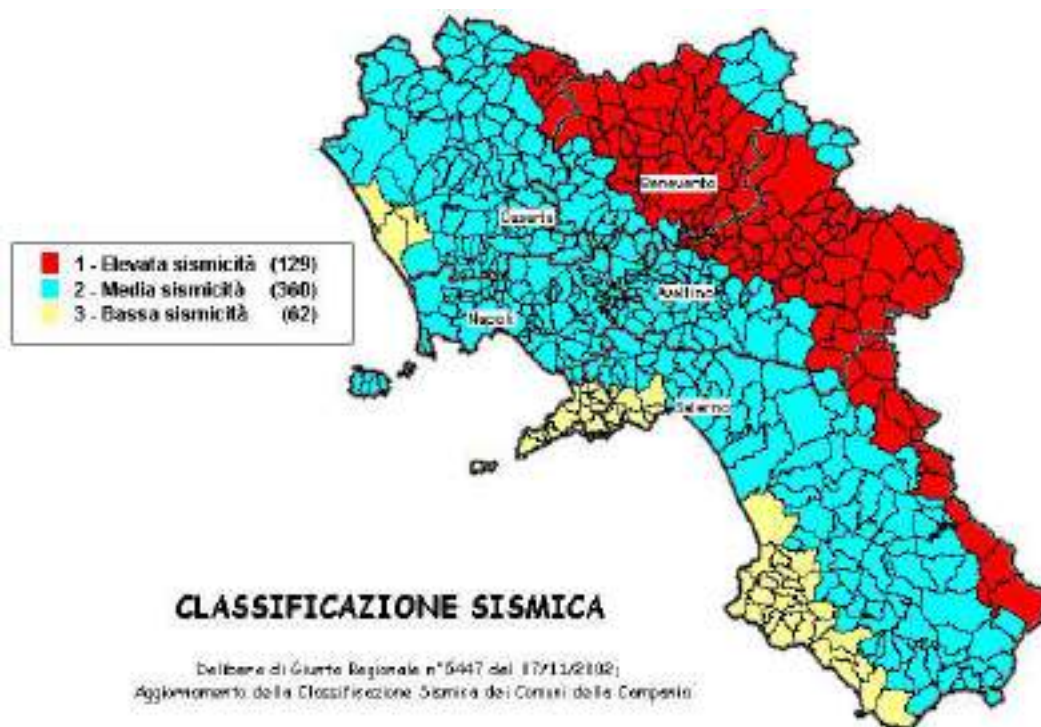


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

Fig. 11 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW n. 4 effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tab. 10):

<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-30}\ (m/s)$
<i>MASW n. 4</i>	<i>[564]</i>

Tab. 10 – Valori di $V_{s,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n. 4 effettuata.



Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2** (**h/H = 0.4**) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.052]	[0.139]	[0.165]	[0.443]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 4 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s) acquisizione n.1
S1	0.0 – 5.2	436
S2	5.2 – 7.9	499
S3	7.9 – 35.3	615

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 4.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

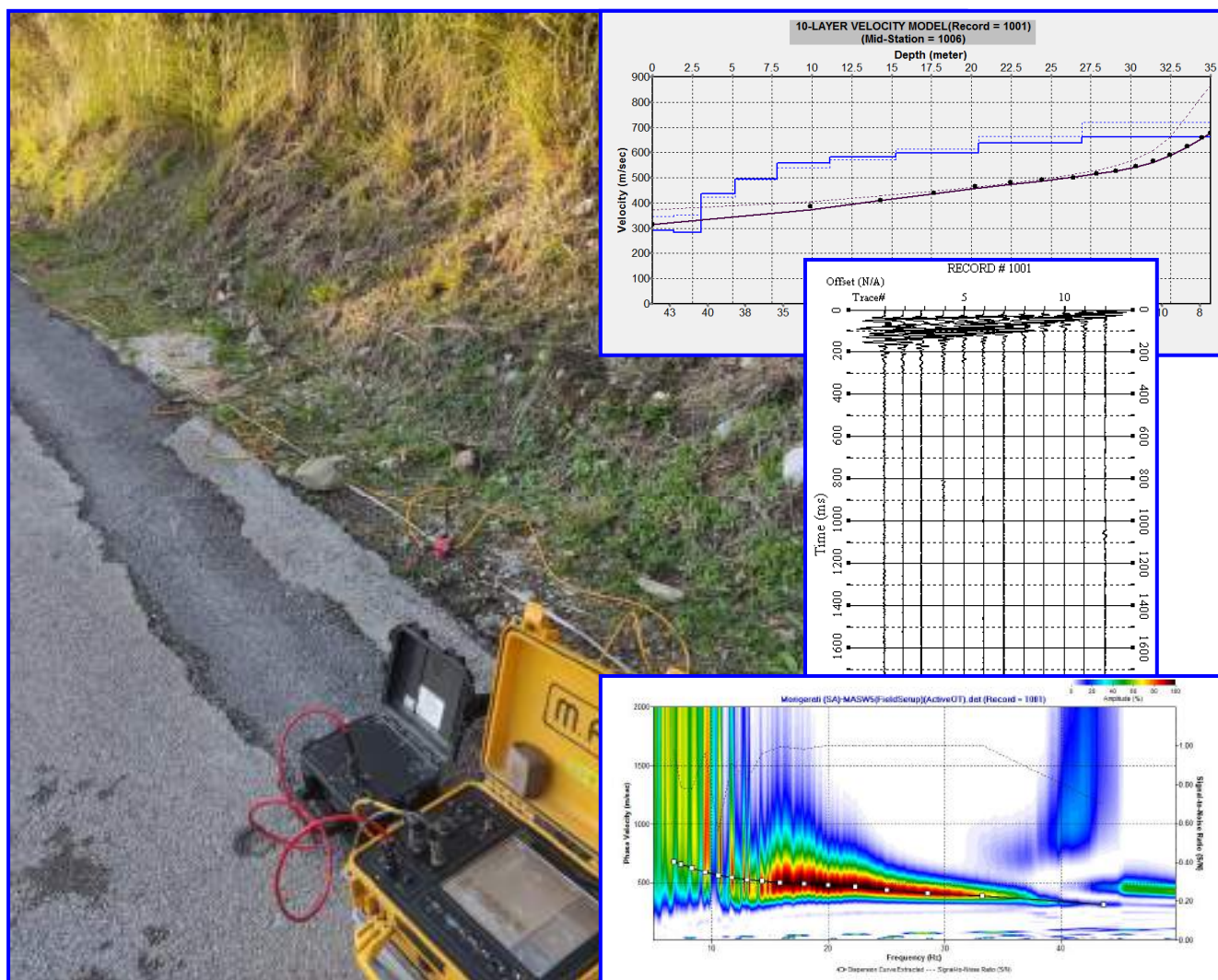
Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 - CONCLUSIONI.....	21



1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006” lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.140204° N – 15.563486° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 5 effettuata in area progettuale.





Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 5 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n. 5</i>	<i>32.5</i>	<i>2.5</i>	<i>N 270° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 2.50m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.0m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

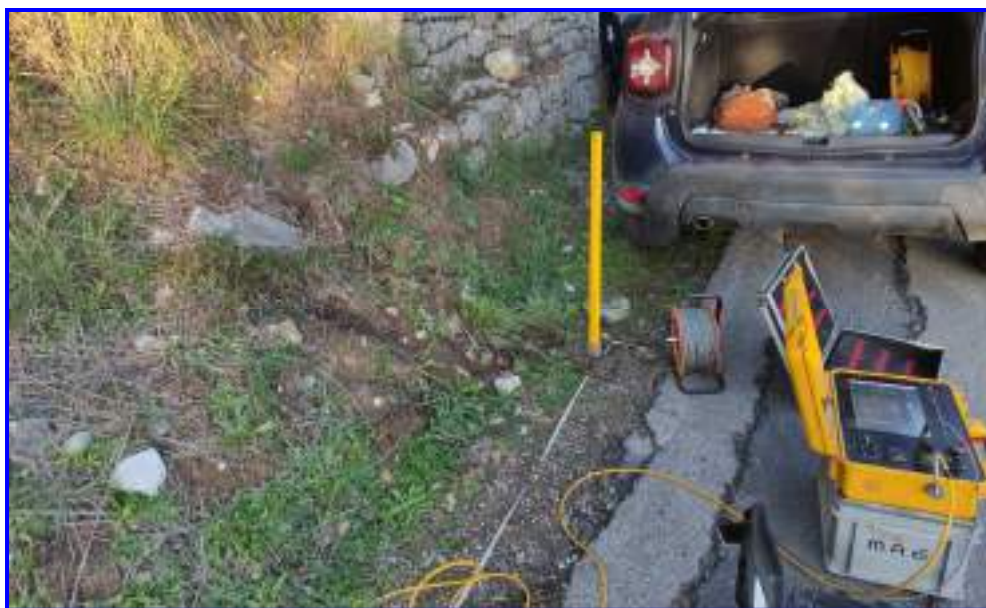


Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).



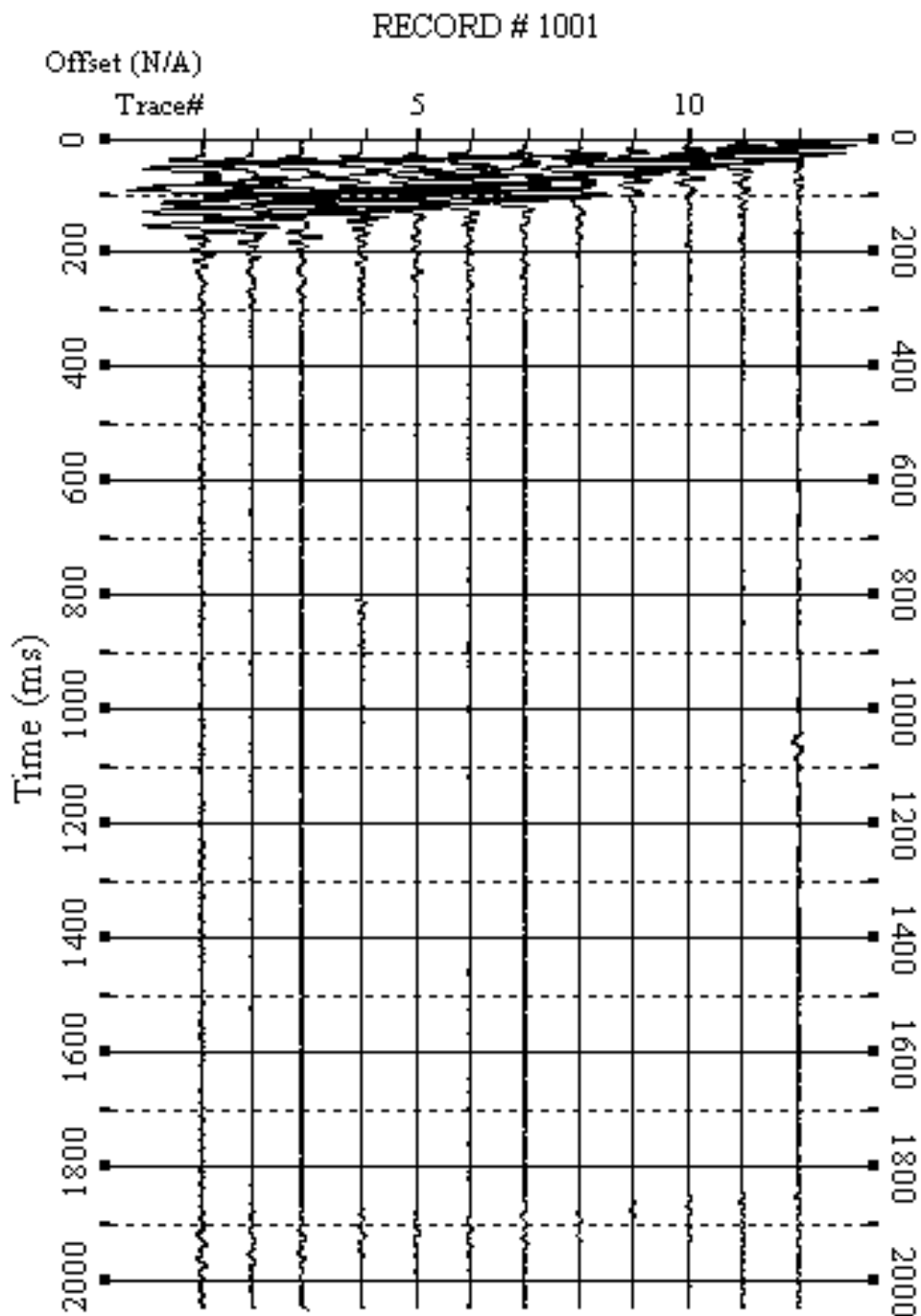


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 5. Finestra temporale [0-2000]ms.



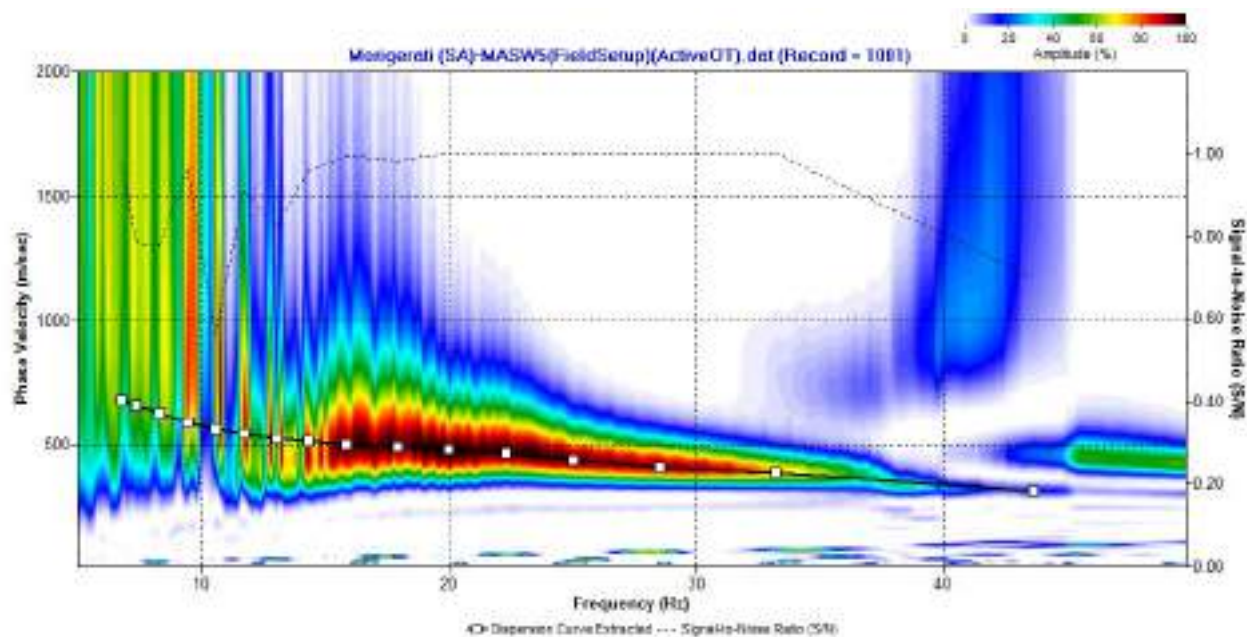


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 5.

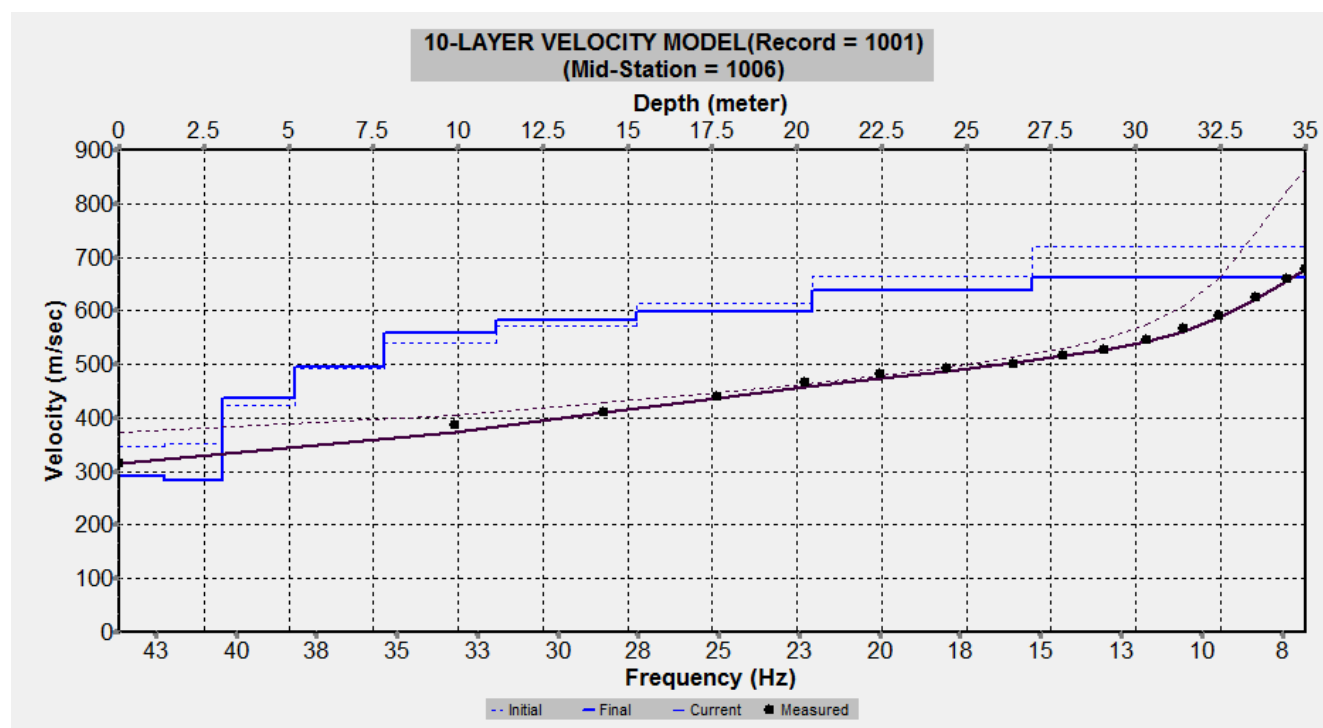


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 5.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 5 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 5	[523]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 5 effettuata.



Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 0.5$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

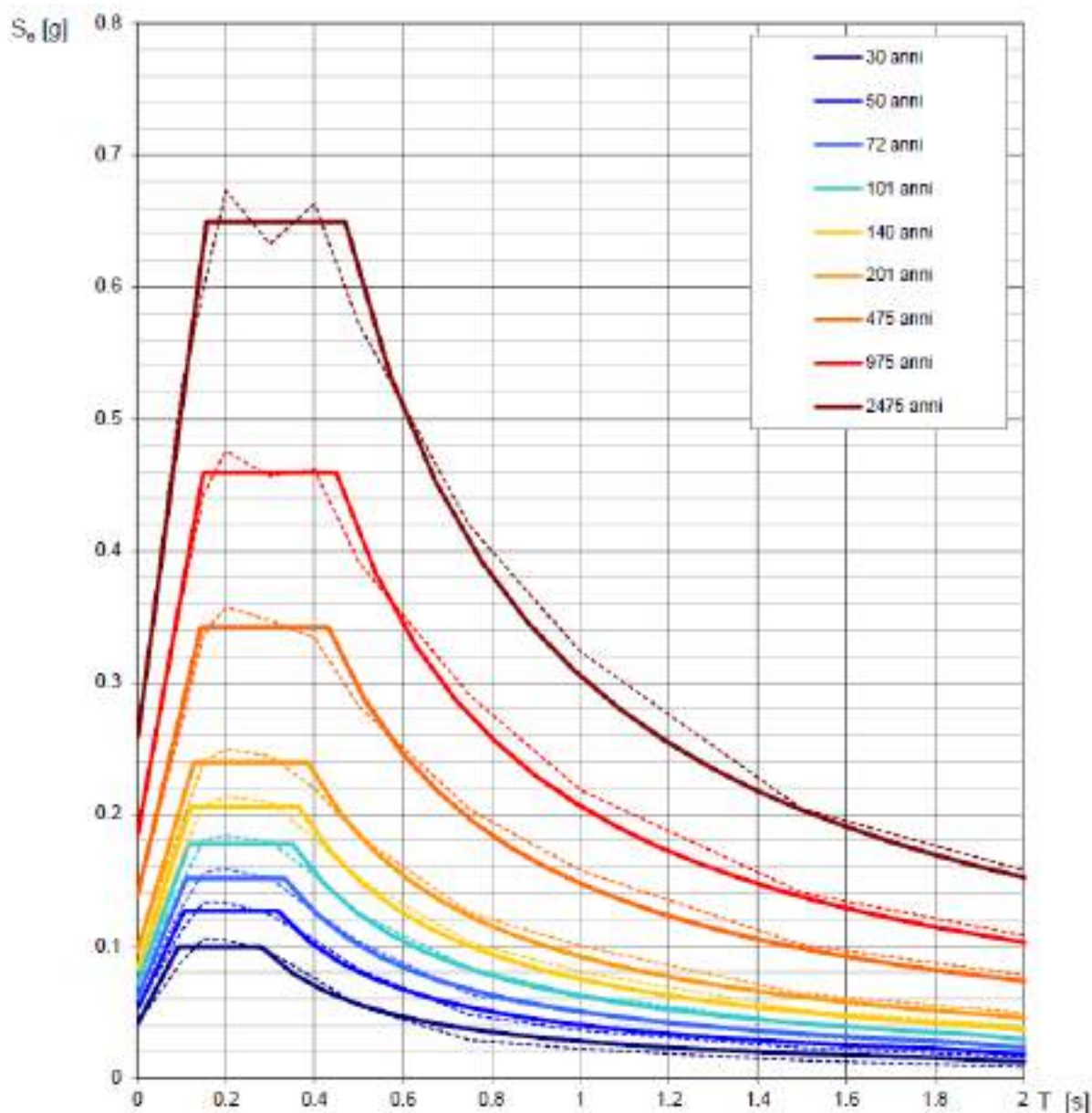
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2** ($h/H = 0.5$)] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563486 – LAT. 40.140204 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0.041	2.432	0.280
50	0.052	2.418	0.317
72	0.061	2.477	0.332
101	0.071	2.481	0.351
140	0.082	2.494	0.365
201	0.097	2.476	0.385
475	0.139	2.464	0.431
975	0.184	2.495	0.449
2475	0.257	2.523	0.469

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T2 (h/H = 0.5)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563486 – LAT. 40.140204 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.053 g
F_a	2.419
T_c	0.317 s
S_s	1.200
C_R	1.384
S_T	1.100
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.320
η	1.000
T_B	0.146 s
T_C	0.438 s
T_D	1.810 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_R \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	S_e [g]
	0.000	0.059
$T_B \leftarrow$	0.146	0.168
$T_C \leftarrow$	0.438	0.168
	0.504	0.146
	0.569	0.129
	0.635	0.116
	0.700	0.105
	0.765	0.096
	0.831	0.089
	0.896	0.082
	0.961	0.077
	1.026	0.072
	1.092	0.067
	1.157	0.064
	1.222	0.060
	1.288	0.057
	1.353	0.054
	1.418	0.052
	1.484	0.050
	1.549	0.048
	1.614	0.046
	1.679	0.044
	1.745	0.042
$T_D \leftarrow$	1.810	0.041
	1.814	0.036
	2.019	0.033
	2.123	0.030
	2.227	0.027
	2.332	0.025
	2.436	0.022
	2.540	0.021
	2.644	0.019
	2.749	0.018
	2.853	0.016
	2.957	0.015
	3.061	0.014
	3.166	0.013
	3.270	0.012
	3.374	0.012
	3.479	0.011
	3.583	0.010
	3.687	0.010
	3.791	0.009
	3.895	0.009
	4.000	0.008

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.5). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_{0,0}$	0.016 g
$S_{0,0}$	1.000
$S_{0,1}$	1.100
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.749
S	1.100
η	0.867

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_0 \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{1.7}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_{0,0} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_{0,0} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_{0,0} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_{0,0} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.016
0.050	0.029
0.150	0.029
0.235	0.018
0.320	0.014
0.405	0.011
0.490	0.009
0.575	0.008
0.660	0.007
0.745	0.006
0.830	0.005
0.915	0.005
1.000	0.004
1.094	0.004
1.188	0.003
1.281	0.003
1.375	0.002
1.469	0.002
1.563	0.002
1.656	0.002
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.000
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.5). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



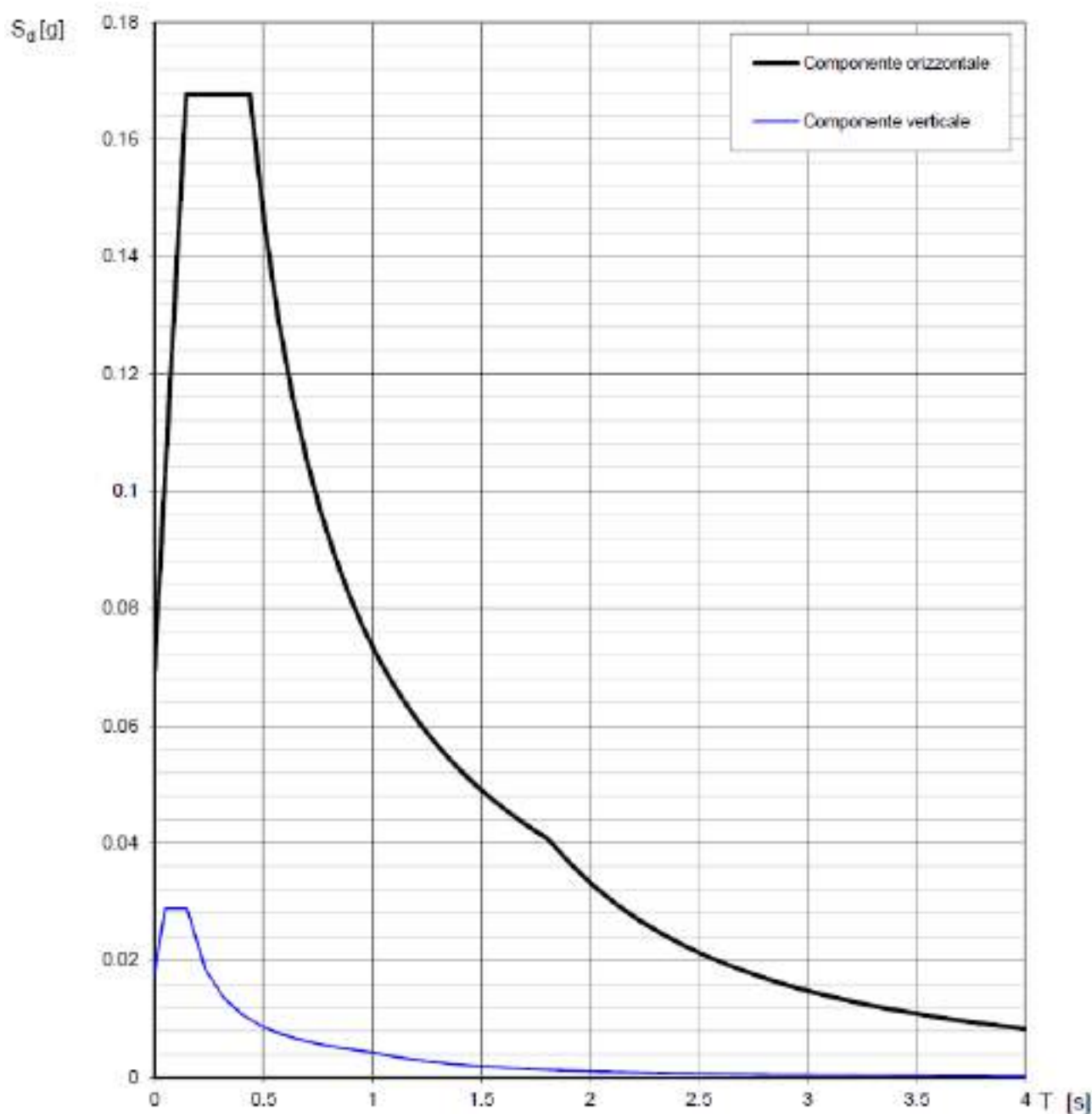


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.5$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.139 g
F_a	2.464
T_c	0.431 s
S_a	1.200
C_c	1.302
S_T	1.100
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.320
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.561 s
T_D	2.155 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_y \cdot S_z$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 - \zeta)} \geq 0.55; \quad \eta = 1 / q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_0$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_y(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_s(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.183
T_B	0.187	0.451
T_C	0.561	0.451
	0.637	0.398
	0.713	0.355
	0.789	0.321
	0.865	0.293
	0.941	0.269
	1.016	0.249
	1.092	0.232
	1.168	0.217
	1.244	0.204
	1.320	0.192
	1.396	0.181
	1.472	0.172
	1.548	0.164
	1.624	0.156
	1.700	0.149
	1.776	0.143
	1.851	0.137
	1.927	0.131
	2.003	0.126
	2.079	0.122
T_D	2.155	0.117
	2.243	0.108
	2.331	0.100
	2.419	0.093
	2.507	0.087
	2.594	0.081
	2.682	0.076
	2.770	0.071
	2.858	0.067
	2.946	0.063
	3.034	0.059
	3.121	0.056
	3.209	0.053
	3.297	0.050
	3.385	0.048
	3.473	0.045
	3.561	0.043
	3.649	0.041
	3.736	0.039
	3.824	0.037
	3.912	0.036
	4.000	0.034

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.5$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{SLV}	0.070 g
S_s	1.000
S_T	1.100
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.239
S	1.100
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_s}{g} \right)^{0.2}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_s(T) = a_1 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.077
$T_B \leftarrow$	0.050	0.126
$T_C \leftarrow$	0.150	0.126
	0.235	0.080
	0.320	0.059
	0.405	0.047
	0.490	0.039
	0.575	0.033
	0.660	0.029
	0.745	0.025
	0.830	0.023
	0.915	0.021
$T_D \leftarrow$	1.000	0.019
	1.094	0.016
	1.168	0.013
	1.281	0.012
	1.375	0.010
	1.469	0.009
	1.563	0.008
	1.656	0.007
	1.750	0.006
	1.844	0.006
	1.938	0.005
	2.031	0.005
	2.125	0.004
	2.219	0.004
	2.313	0.004
	2.406	0.003
	2.500	0.003
	2.594	0.003
	2.688	0.003
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	3.250	0.002
	3.344	0.002
	3.438	0.002
	3.531	0.002
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.5). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



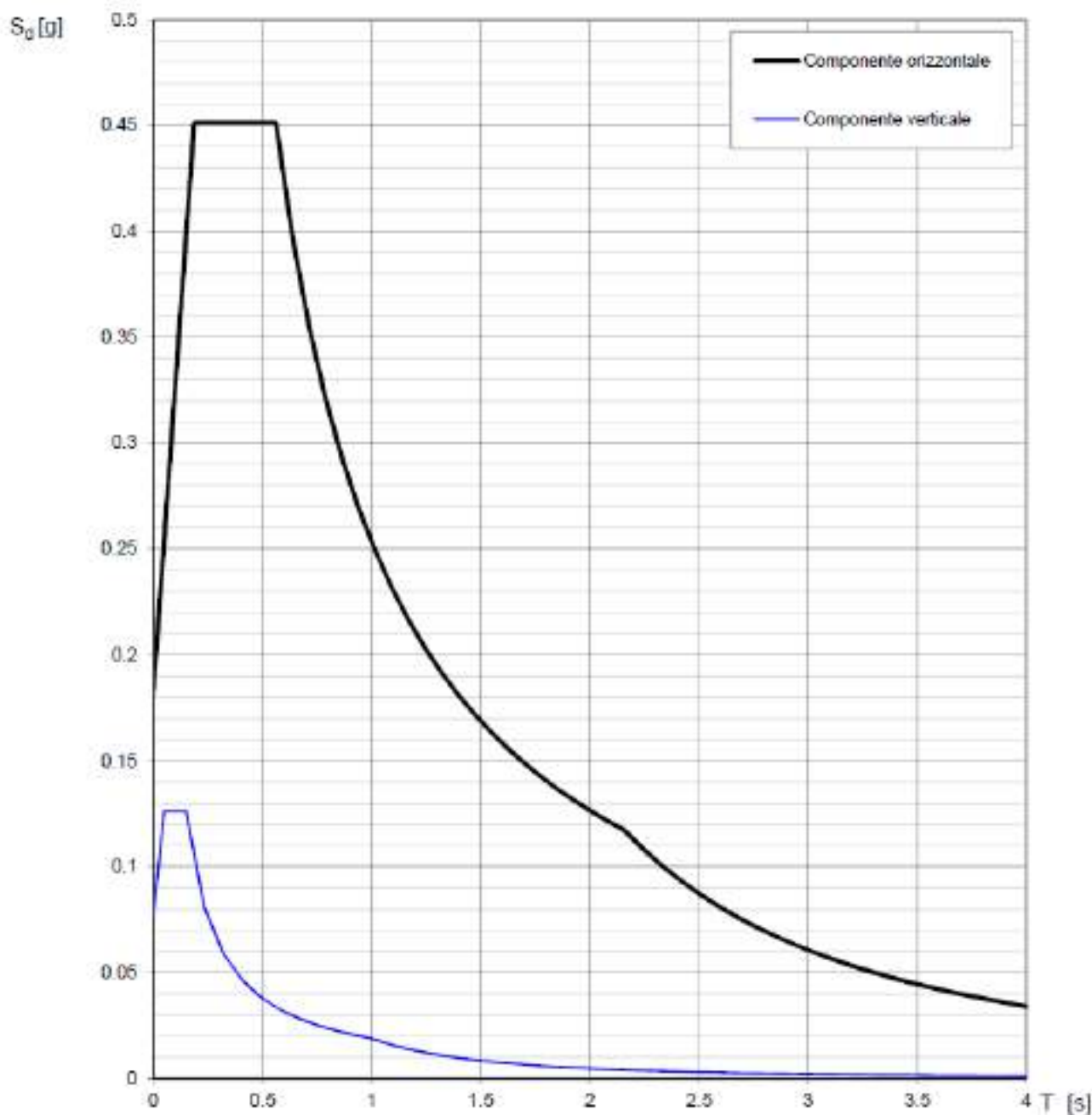


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.5$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

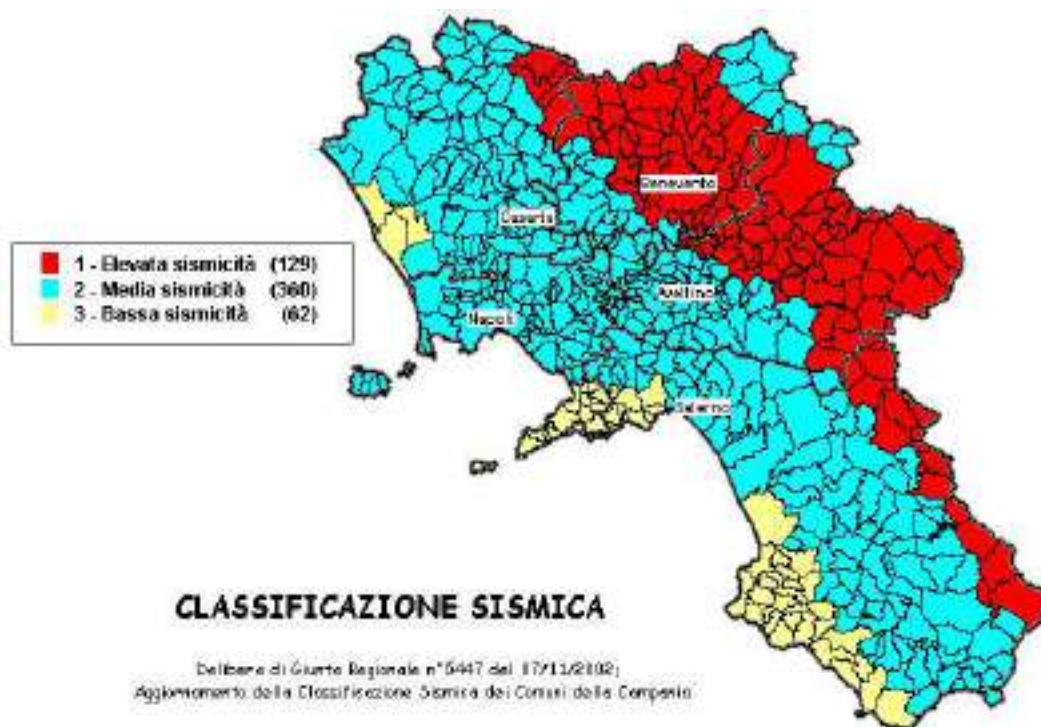


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2** (**h/H = 0.5**) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.053]	[0.139]	[0.168]	[0.451]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 5 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s) acquisizione n.1
S1	0.0 – 3.1	287
S2	3.1 – 5.2	438
S3	5.2 – 7.8	494
S4	7.8 – 20.5	580
S5	20.5 – 35.0	649

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 5.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

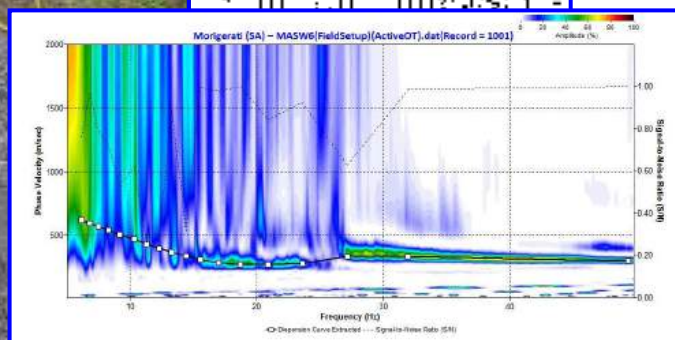
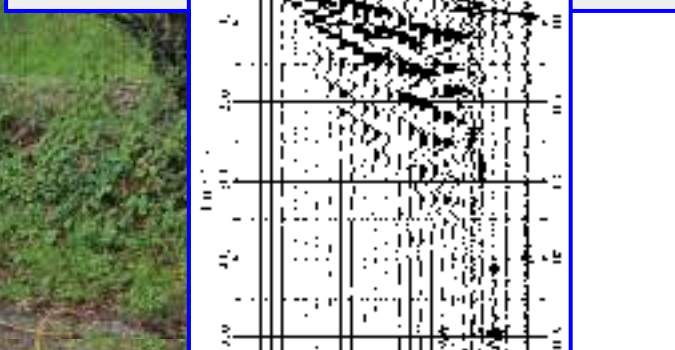
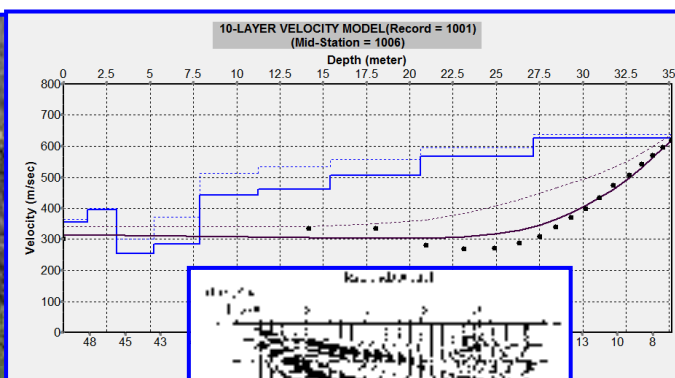
Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 - CONCLUSIONI.....	21

1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006” lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.141748° N – 15.563759° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 6 effettuata in area progettuale.





Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 6 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n. 6</i>	<i>32.5</i>	<i>2.5</i>	<i>N 140° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 2.5m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.3m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).



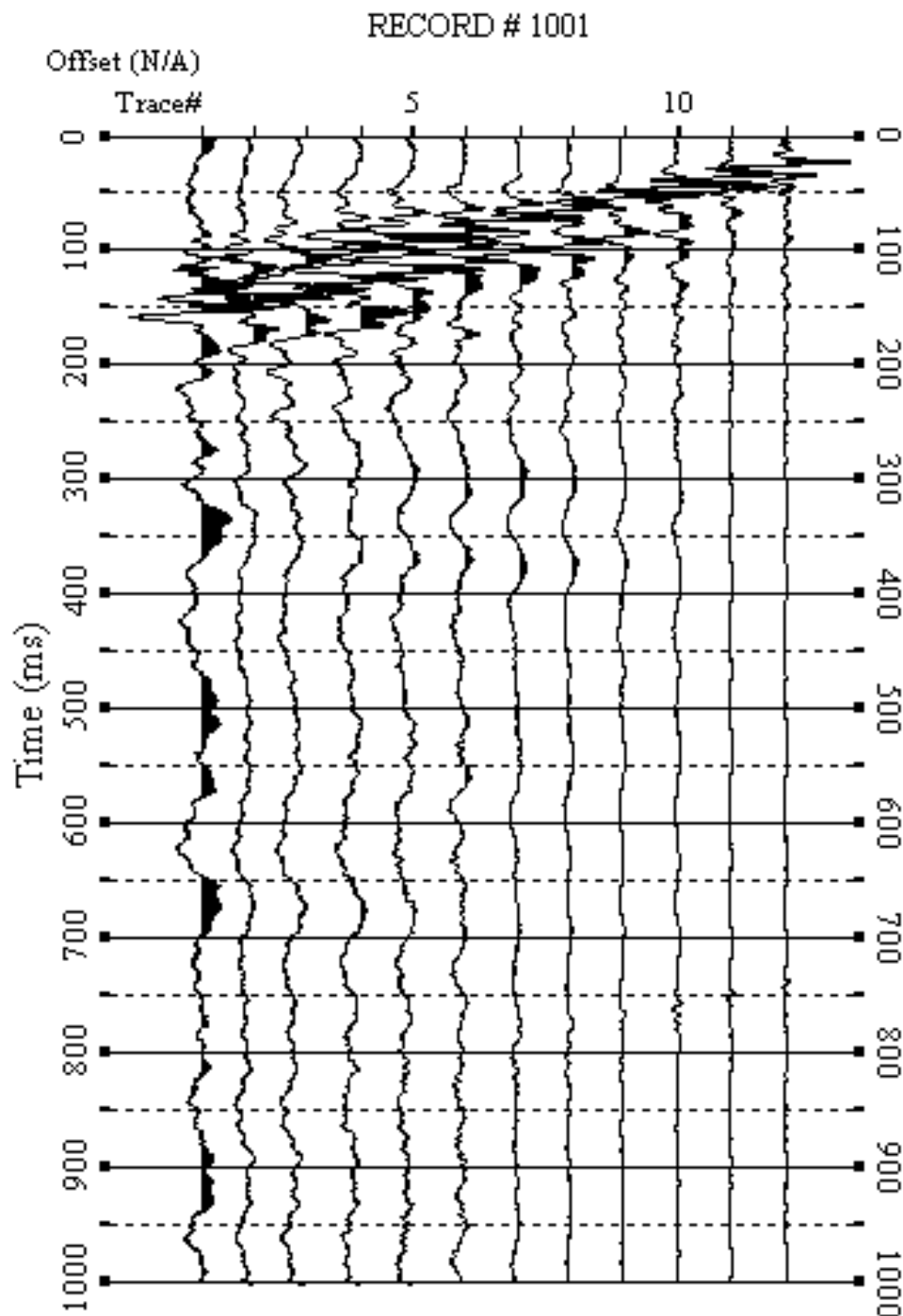


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 6. Finestra temporale [0-1000]ms.



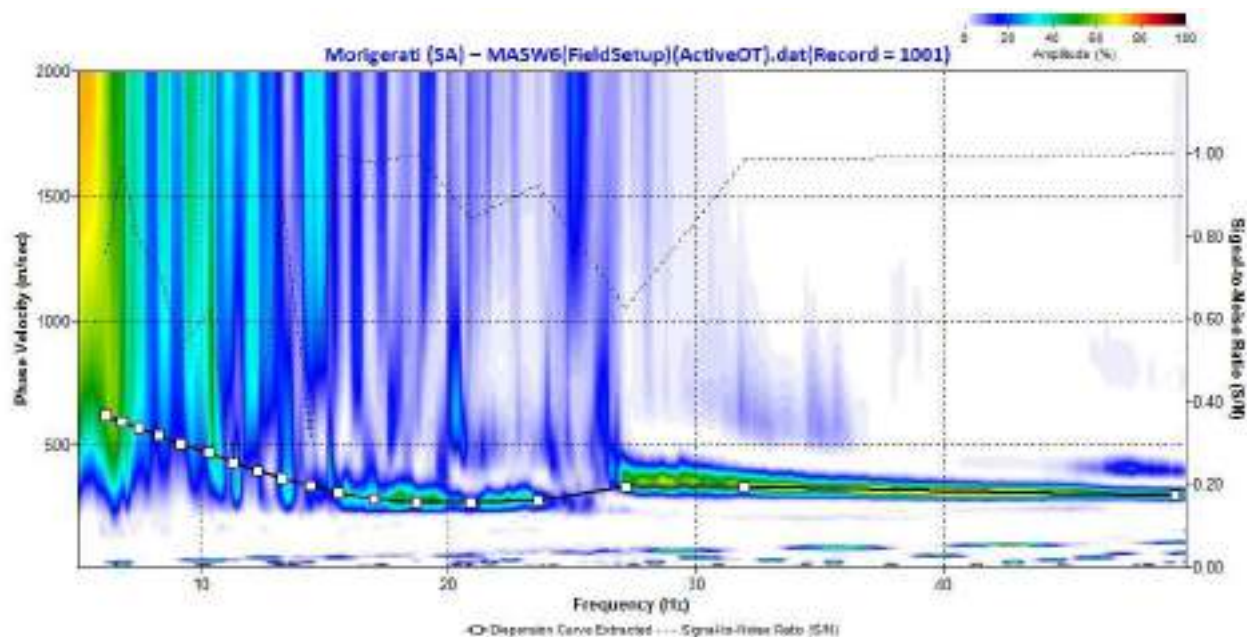


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 6.

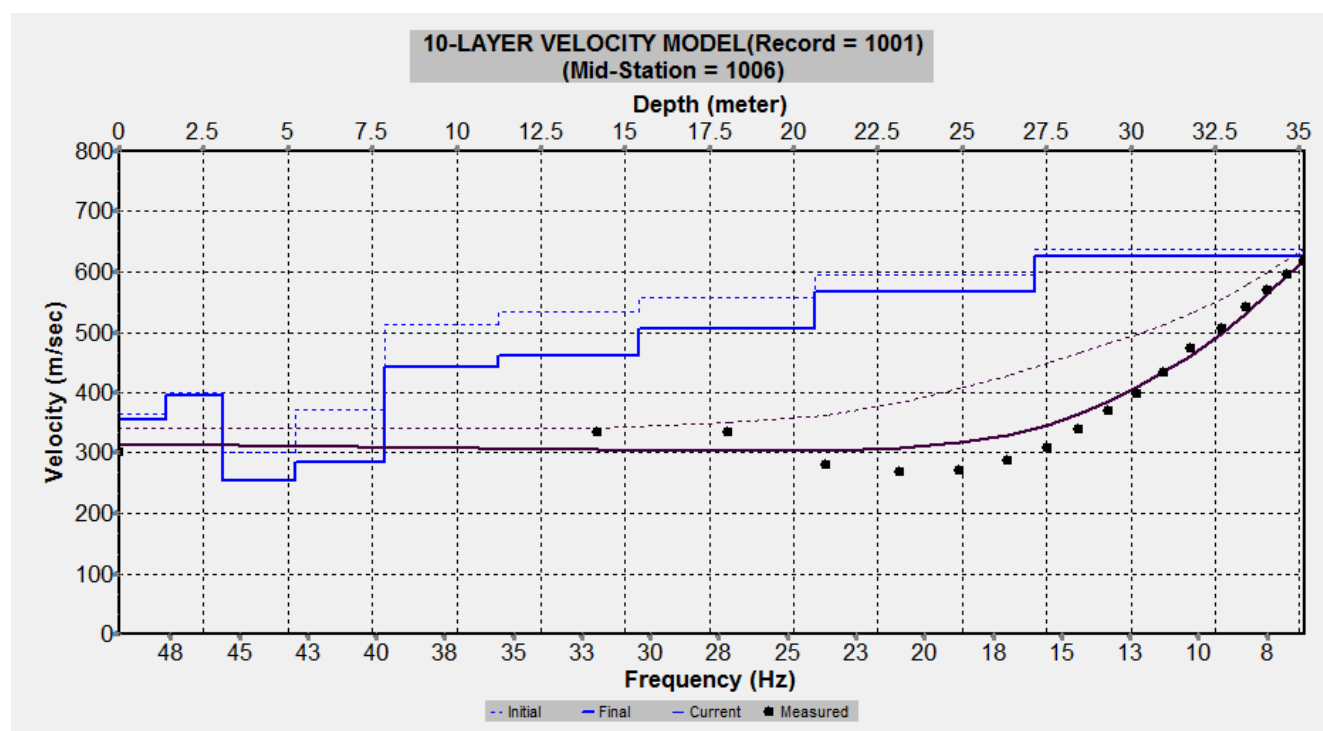


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 6.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 6 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 6	[435]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 6 effettuata.



Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 0.7$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

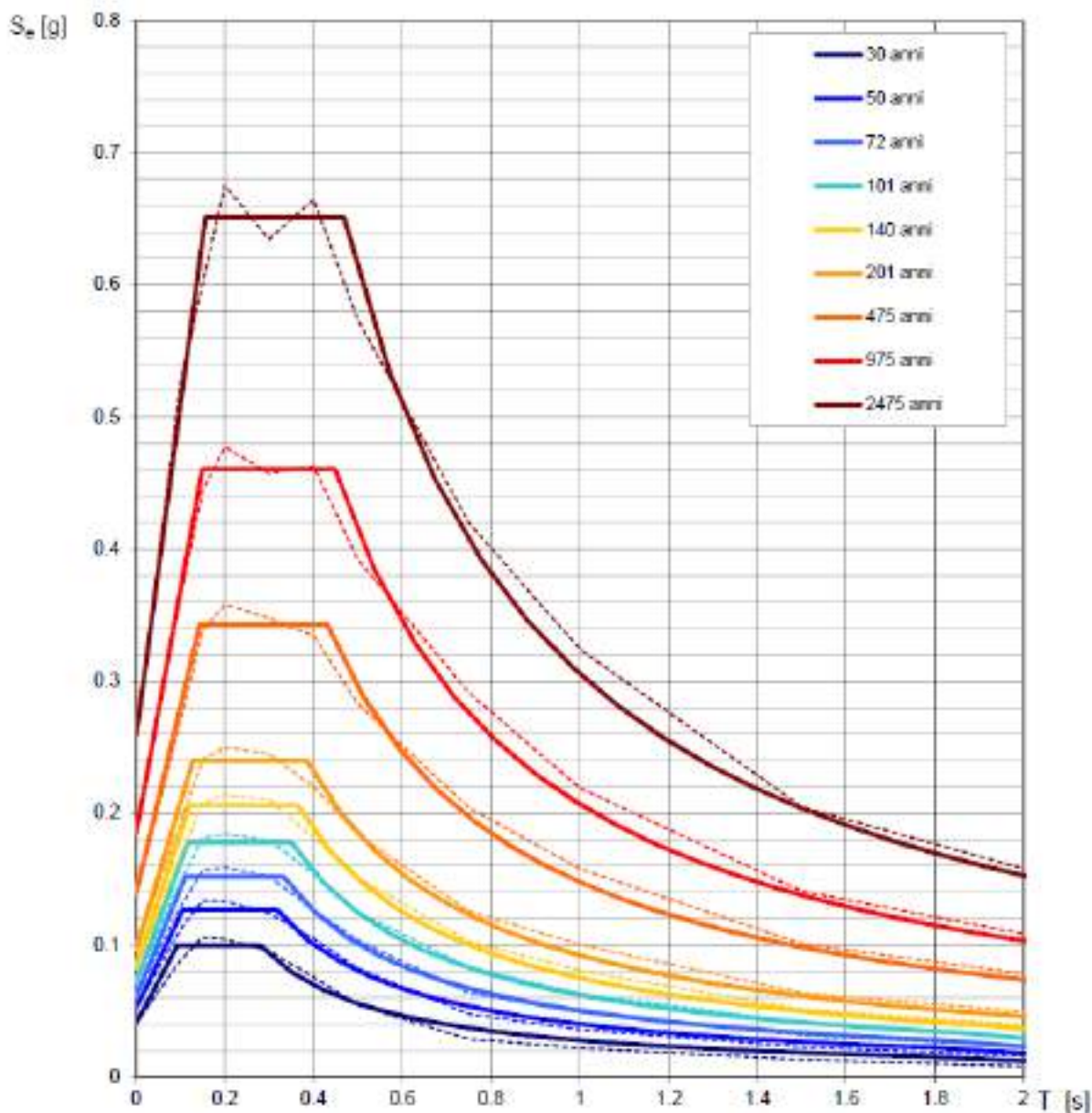
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2** ($h/H = 0.7$)] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563759 – LAT. 40.141748 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.041	2.432	0.280
50	0.052	2.418	0.317
72	0.061	2.476	0.332
101	0.072	2.481	0.351
140	0.083	2.494	0.364
201	0.097	2.476	0.385
475	0.139	2.463	0.431
975	0.185	2.494	0.449
2475	0.258	2.520	0.469

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T2 (h/H = 0.7)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563759 – LAT. 40.141748 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.053 g
F_o	2.419
T_o	0.317 s
S_s	1.200
C_d	1.384
S_T	1.140
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.366
η	1.000
T_B	0.146 s
T_C	0.439 s
T_D	1.810 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{1.0 / (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_o / 3$$

$$T_C = C_d \cdot T_o$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_o} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_o} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	S_e [g]
	0.000	0.072
$T_B \leftarrow$	0.146	0.174
$T_C \leftarrow$	0.439	0.174
	0.504	0.152
	0.569	0.134
	0.635	0.120
	0.700	0.109
	0.765	0.100
	0.831	0.092
	0.896	0.085
	0.961	0.079
	1.027	0.074
	1.092	0.070
	1.157	0.066
	1.223	0.062
	1.288	0.059
	1.353	0.056
	1.418	0.054
	1.484	0.051
	1.549	0.049
	1.614	0.047
	1.680	0.045
	1.745	0.044
$T_D \leftarrow$	1.810	0.042
	1.915	0.038
	2.019	0.034
	2.123	0.031
	2.227	0.028
	2.332	0.025
	2.436	0.023
	2.540	0.021
	2.645	0.020
	2.749	0.018
	2.853	0.017
	2.957	0.016
	3.062	0.015
	3.166	0.014
	3.270	0.013
	3.374	0.012
	3.479	0.011
	3.583	0.011
	3.687	0.010
	3.791	0.010
	3.896	0.009
	4.000	0.009

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gs}	0.016 g
S_b	1.000
S_T	1.140
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.749
S	1.140
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_b \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_s}{g} \right)^{0.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.019
0.050	0.030
0.150	0.030
0.235	0.019
0.320	0.014
0.405	0.011
0.490	0.009
0.575	0.008
0.660	0.007
0.745	0.006
0.830	0.005
0.915	0.005
1.000	0.004
1.094	0.004
1.188	0.003
1.281	0.003
1.375	0.002
1.468	0.002
1.563	0.002
1.658	0.002
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.001
3.063	0.000
3.158	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



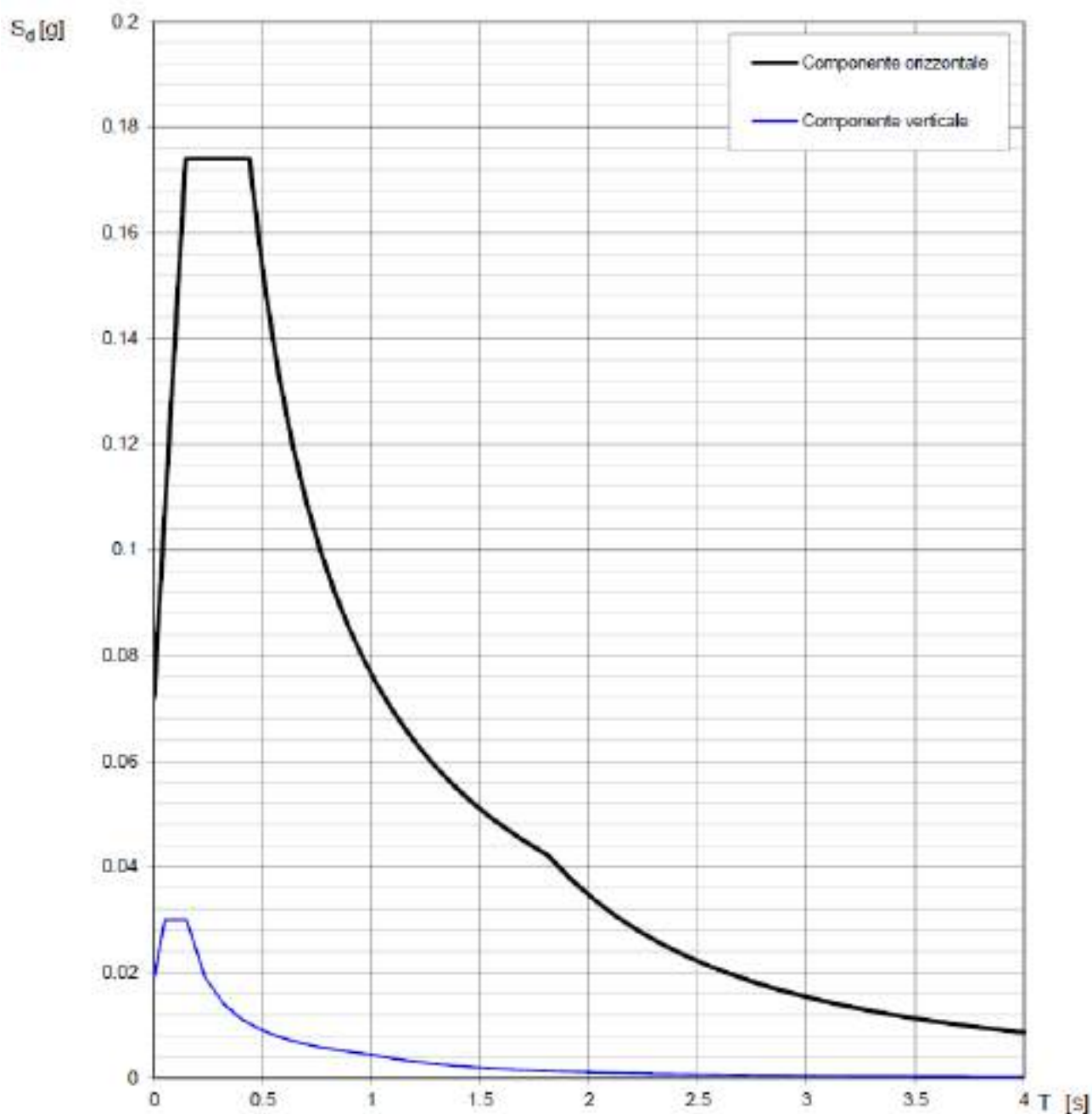


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.7$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.138 g
F_a	2.463
T_c	0.431 s
S_s	1.200
C_c	1.302
S_r	1.140
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.388
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.561 s
T_D	2.157 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_r$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 5)} \geq 0.35; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.190
0.187	0.469
0.561	0.469
0.637	0.413
0.713	0.369
0.789	0.333
0.865	0.304
0.941	0.279
1.017	0.259
1.093	0.241
1.169	0.225
1.245	0.211
1.321	0.199
1.397	0.188
1.473	0.178
1.549	0.170
1.625	0.162
1.701	0.155
1.777	0.148
1.853	0.142
1.929	0.136
2.005	0.131
2.081	0.126
2.157	0.122
2.244	0.113
2.332	0.104
2.420	0.097
2.508	0.090
2.595	0.084
2.683	0.079
2.771	0.074
2.859	0.069
2.947	0.065
3.034	0.062
3.122	0.058
3.210	0.055
3.298	0.052
3.386	0.049
3.473	0.047
3.561	0.045
3.649	0.043
3.737	0.041
3.824	0.039
3.912	0.037
4.000	0.035

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{max}	0.070 g
S_a	1.000
S_v	1.140
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.240
S	1.140
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_v$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0.1}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_a [g]
0.000	0.030
0.050	0.131
0.150	0.131
0.235	0.094
0.320	0.061
0.405	0.049
0.490	0.040
0.575	0.034
0.660	0.030
0.745	0.026
0.830	0.024
0.915	0.022
1.000	0.020
1.094	0.016
1.188	0.014
1.281	0.012
1.375	0.010
1.469	0.009
1.563	0.008
1.658	0.007
1.750	0.006
1.844	0.006
1.938	0.005
2.031	0.005
2.125	0.004
2.219	0.004
2.313	0.004
2.406	0.003
2.500	0.003
2.594	0.003
2.688	0.003
2.781	0.003
2.875	0.002
2.969	0.002
3.063	0.002
3.156	0.002
3.250	0.002
3.344	0.002
3.438	0.002
3.531	0.002
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



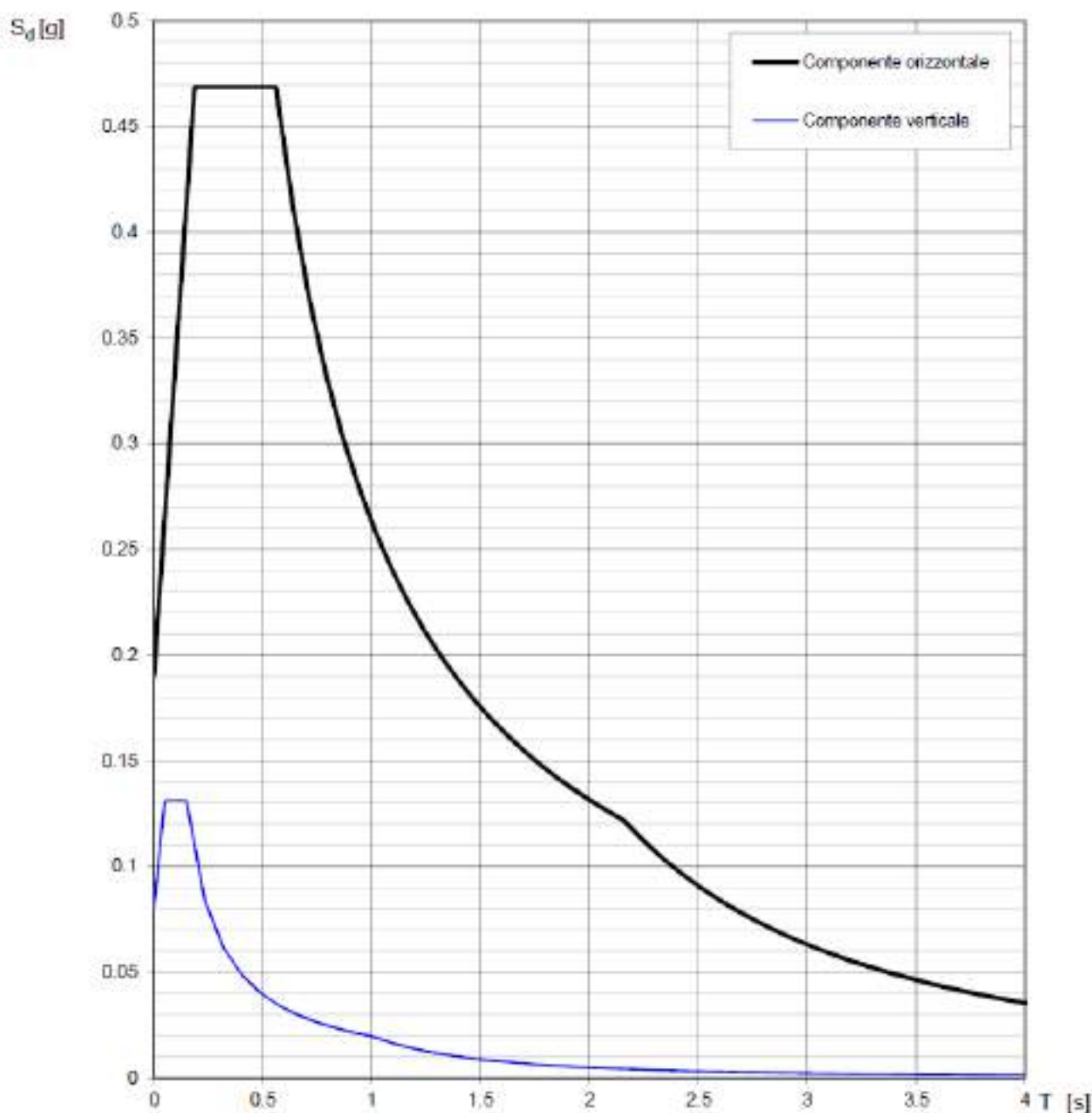


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.7$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

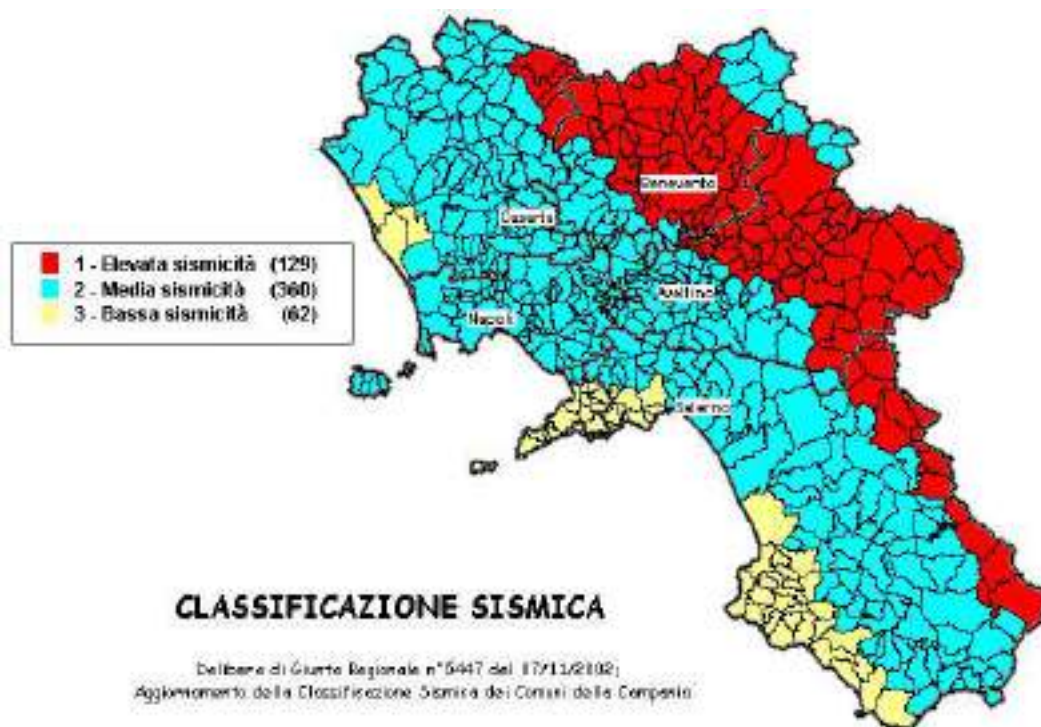


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

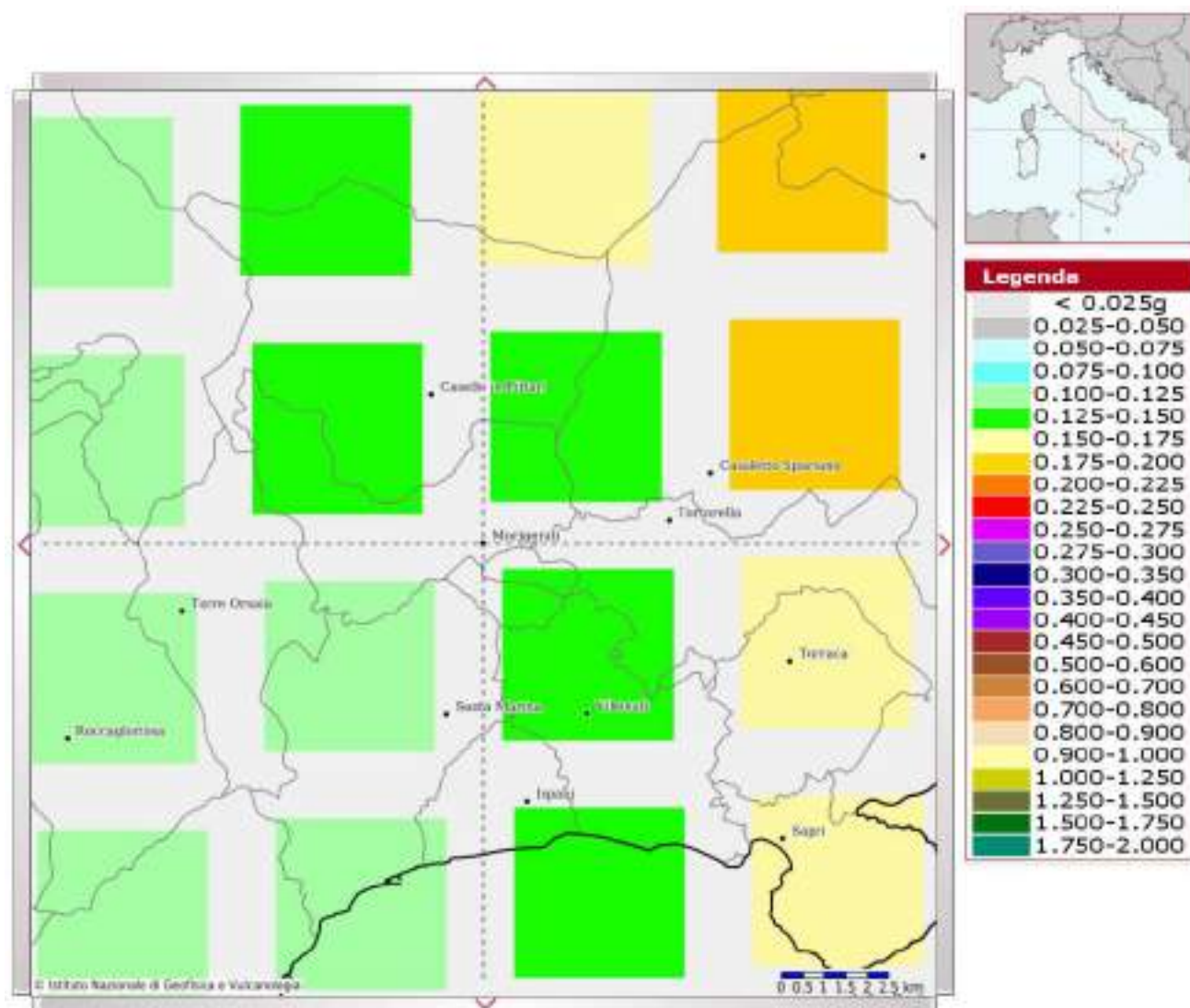


Fig. 11 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW n. 6 effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tab. 10):

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)
MASW n. 6	[435]

Tab. 10 – Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n. 6 effettuata.

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2** (**h/H = 0.7**) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.053]	[0.139]	[0.174]	[0.469]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 6 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s) acquisizione n.1
S1	0.0 – 3.1	376
S2	3.1 – 7.9	270
S3	7.9 – 20.6	470
S4	20.6 – 35.3	596

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 6.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

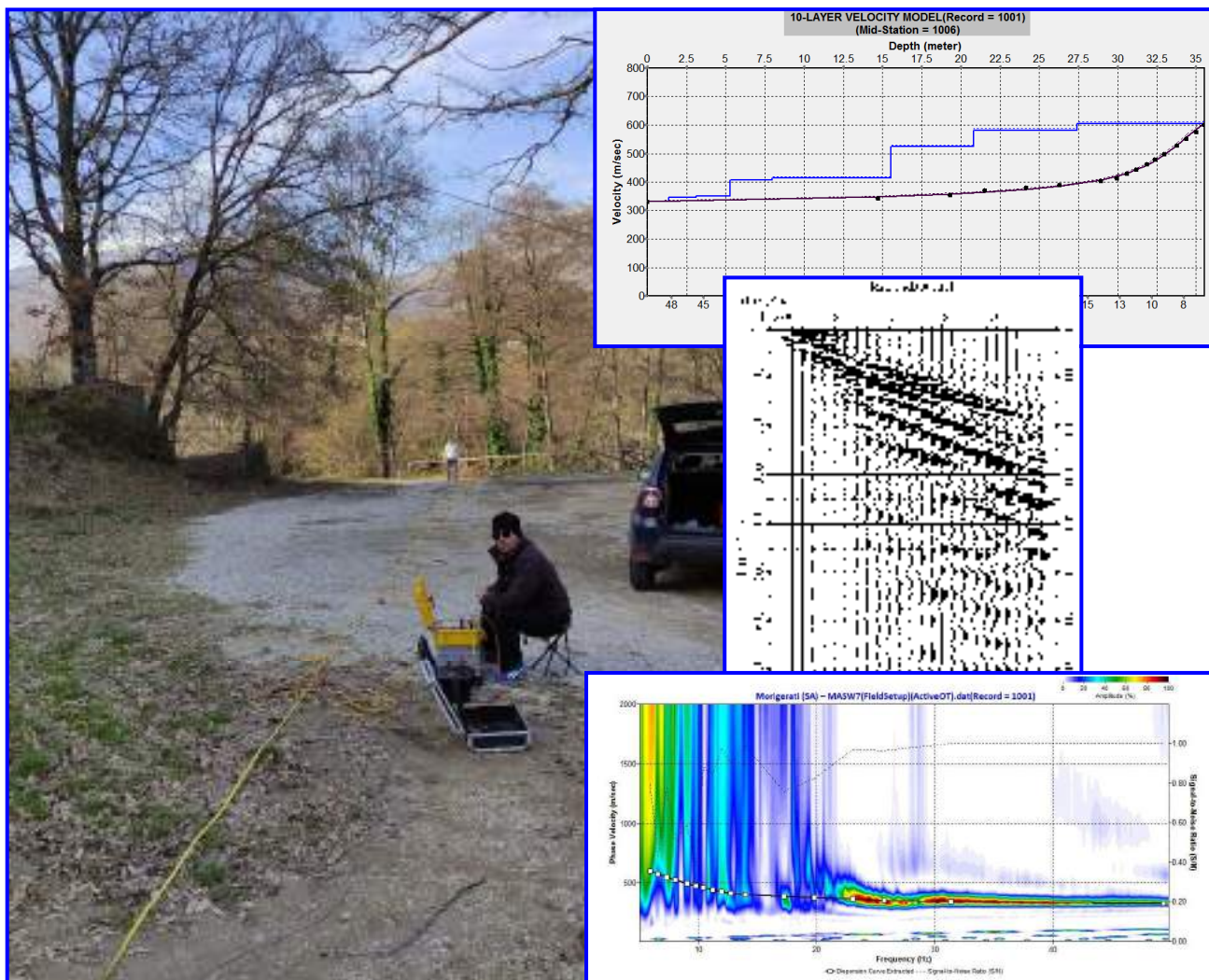
Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

Il Committente

Ing. Domenico Zuppetti

Pagani, gennaio 2021

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	9
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	11
6 - CONCLUSIONI.....	20



1 - PREMESSA

Su incarico dell'ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006” lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.142072° N – 15.563638° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW n. 7 effettuata in area progettuale.



Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW n. 7 (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e Spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n. 7</i>	<i>32.5</i>	<i>2.5</i>	<i>N 150° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio ed alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 2.5m, in modo da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento



geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.6m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 3 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 4 – 6).

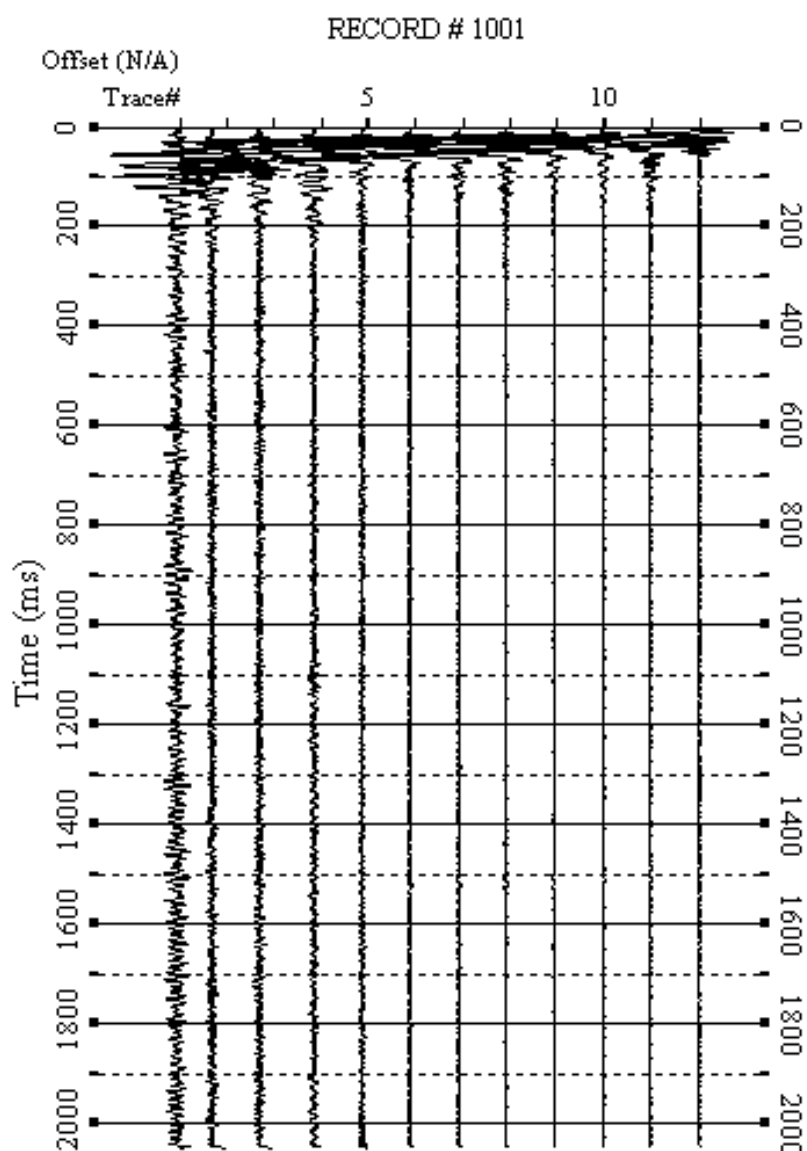


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 7. Finestra temporale [0-2000]ms.

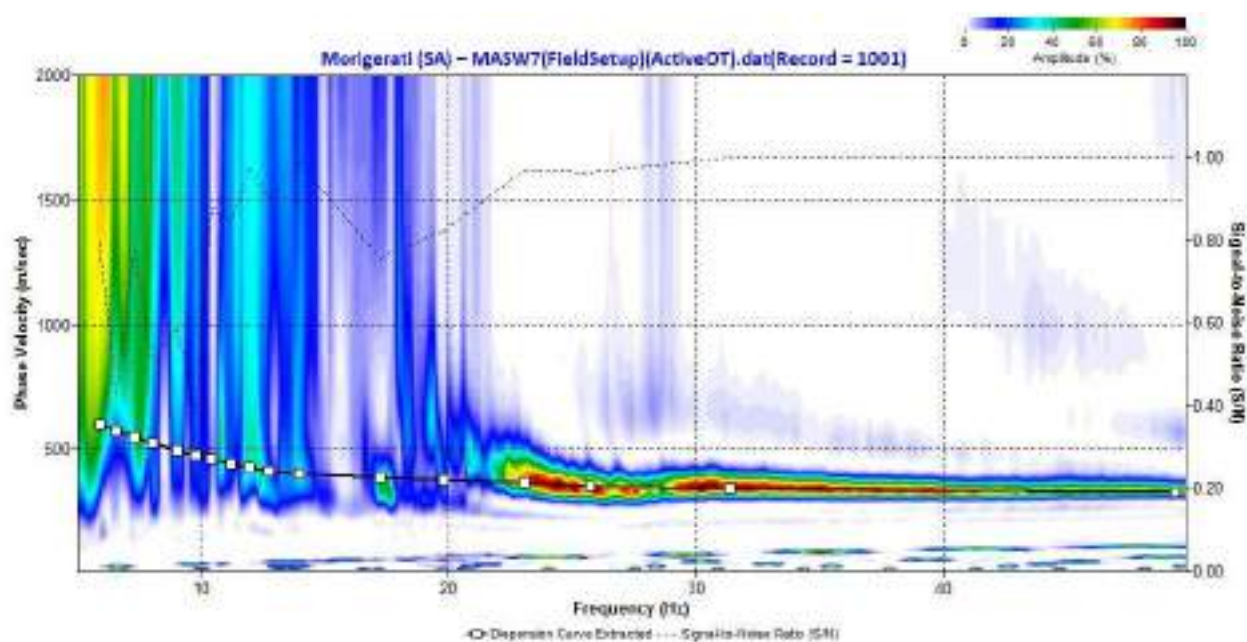


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 7.

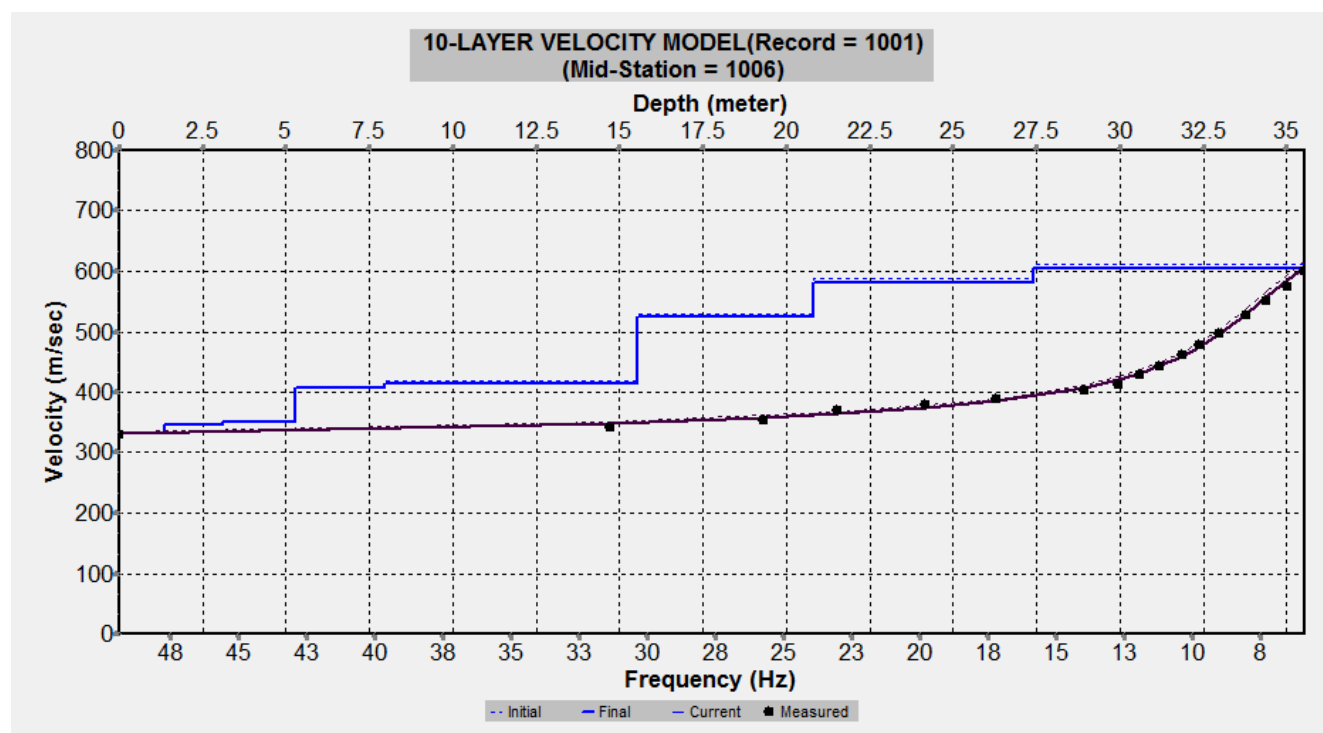


Fig. 6 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 7.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW n. 7 effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 2 – 4). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

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

Tab. 2 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW n. 7	[455]	B

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n. 7 effettuata.



Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 0.7$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.



Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 5; Fig. 7).

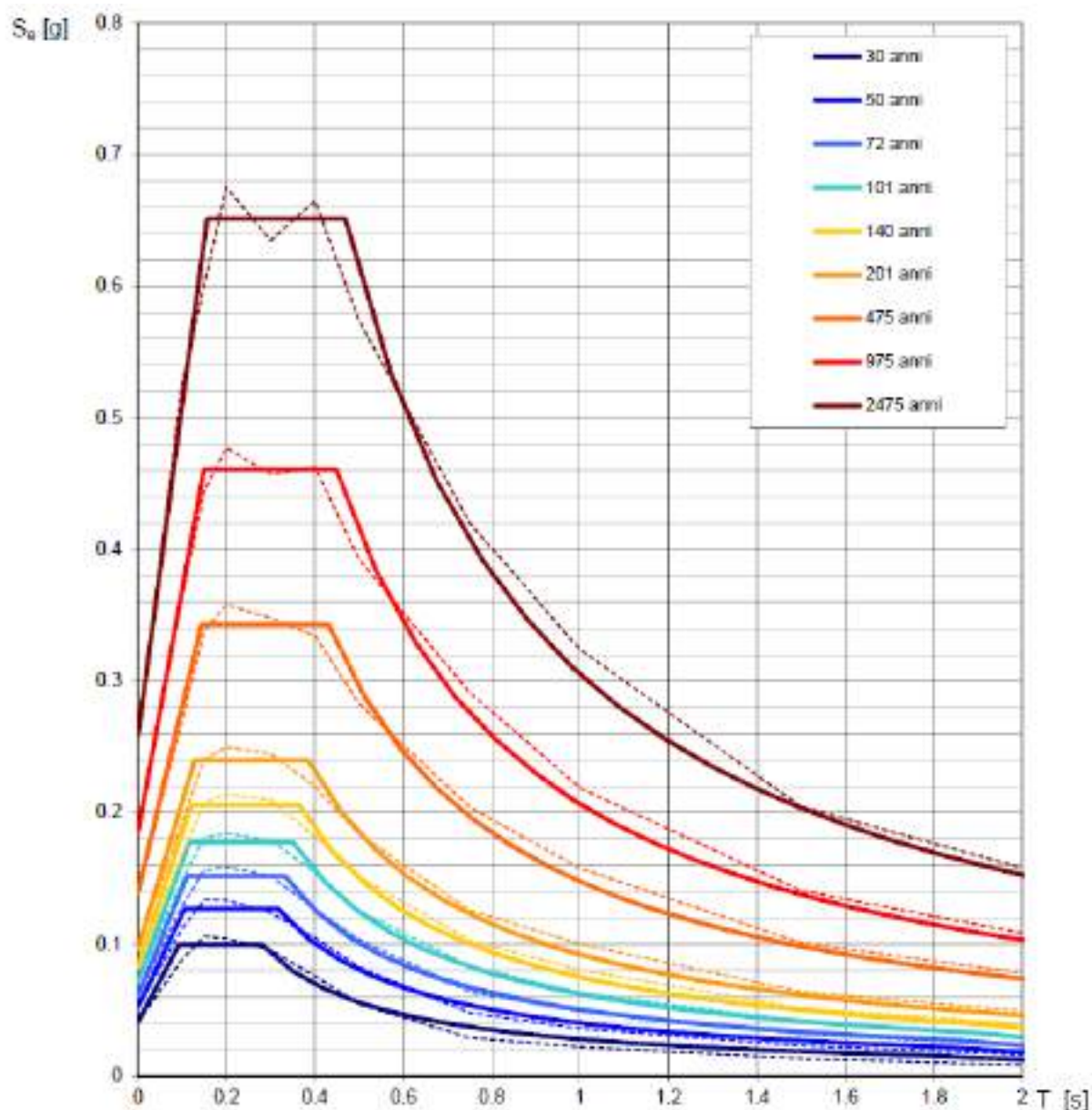
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 6 – 9; Figg. 8 – 9).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2** ($h/H = 0.7$)] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563638 – LAT. 40.142072 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.041	2.431	0.280
50	0.052	2.418	0.317
72	0.061	2.476	0.332
101	0.072	2.481	0.351
140	0.083	2.494	0.364
201	0.097	2.476	0.385
475	0.139	2.463	0.431
975	0.185	2.493	0.449
2475	0.258	2.520	0.469

Tab. 5 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T2 (h/H = 0.7)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.563638 – LAT. 40.142072 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.053 g
F_a	2.419
T_c	0.317 s
S_a	1.200
C_c	1.384
S_c	1.140
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.368
η	1.000
T_B	0.146 s
T_C	0.439 s
T_D	1.810 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + z)} \geq 0.33; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.072
$T_B \leftarrow$	0.146	0.174
$T_C \leftarrow$	0.439	0.174
	0.504	0.152
	0.568	0.134
	0.635	0.120
	0.700	0.109
	0.765	0.100
	0.831	0.092
	0.896	0.085
	0.961	0.079
	1.027	0.074
	1.092	0.070
	1.157	0.066
	1.223	0.062
	1.288	0.059
	1.353	0.056
	1.418	0.054
	1.484	0.051
	1.549	0.049
	1.614	0.047
	1.680	0.045
	1.745	0.044
$T_D \leftarrow$	1.810	0.042
	1.915	0.038
	2.019	0.034
	2.123	0.031
	2.227	0.028
	2.332	0.025
	2.436	0.023
	2.540	0.021
	2.645	0.020
	2.749	0.018
	2.853	0.017
	2.957	0.016
	3.062	0.015
	3.166	0.014
	3.270	0.013
	3.374	0.012
	3.479	0.011
	3.583	0.011
	3.687	0.010
	3.791	0.010
	3.896	0.009
	4.000	0.009

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gr}	0.018 g
S_s	1.000
S_t	1.140
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.749
S	1.140
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{1.5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_s [g]
0.000	0.019
0.050	0.030
0.150	0.030
0.235	0.019
0.320	0.014
0.405	0.011
0.490	0.009
0.575	0.008
0.660	0.007
0.745	0.006
0.830	0.005
0.915	0.005
1.000	0.004
1.094	0.004
1.189	0.003
1.281	0.003
1.375	0.002
1.469	0.002
1.563	0.002
1.656	0.002
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.001
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



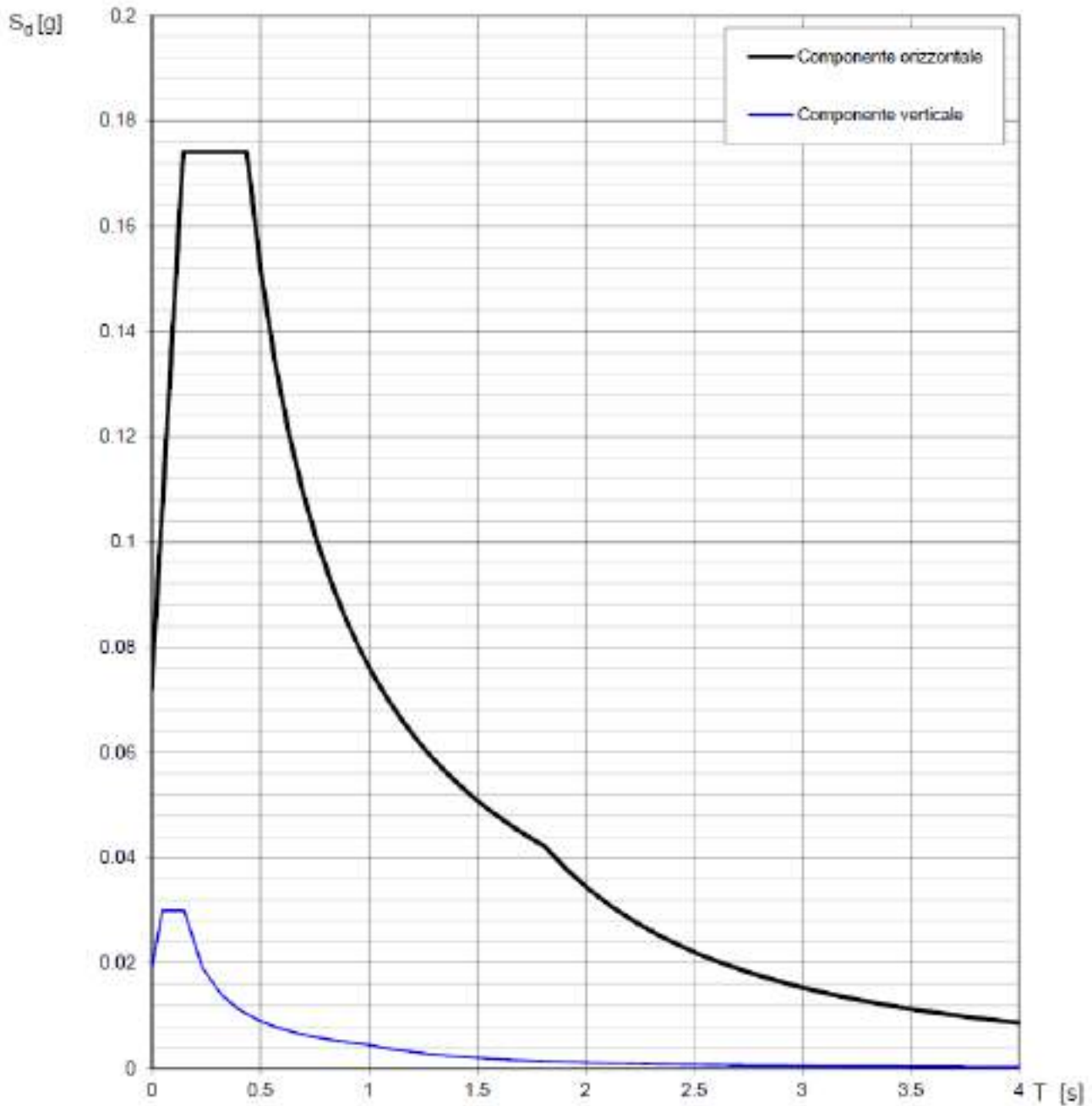


Fig. 8 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.7$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.138 g
F_a	2.463
T_c	0.431 s
S_s	1.200
C_d	1.302
S_r	1.140
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.368
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.561 s
T_D	2.157 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_r$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_d \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g - 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e [g]$
0.000	0.190
0.187	0.469
0.561	0.469
0.637	0.413
0.713	0.369
0.789	0.333
0.865	0.304
0.941	0.279
1.017	0.259
1.093	0.241
1.169	0.225
1.245	0.211
1.321	0.199
1.397	0.188
1.473	0.179
1.549	0.170
1.625	0.162
1.701	0.155
1.777	0.148
1.853	0.142
1.929	0.136
2.005	0.131
2.081	0.126
2.157	0.122
2.244	0.113
2.332	0.104
2.420	0.097
2.508	0.090
2.596	0.084
2.683	0.079
2.771	0.074
2.859	0.069
2.947	0.065
3.034	0.062
3.122	0.058
3.210	0.055
3.298	0.052
3.386	0.049
3.473	0.047
3.561	0.045
3.648	0.043
3.737	0.041
3.824	0.039
3.912	0.037
4.000	0.035

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{0v}	0.070 g
S_b	1.000
S_T	1.140
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.240
S	1.140
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_b \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \left(\frac{a_F}{g} \right)^{0.1}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_s(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_s(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_s(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_s(T) = a_z \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.080
$T_B \leftarrow$	0.050	0.131
$T_C \leftarrow$	0.150	0.131
	0.235	0.084
	0.320	0.061
	0.405	0.049
	0.490	0.040
	0.575	0.034
	0.660	0.030
	0.745	0.026
	0.830	0.024
	0.915	0.022
$T_D \leftarrow$	1.000	0.020
	1.094	0.016
	1.188	0.014
	1.281	0.012
	1.375	0.010
	1.469	0.009
	1.563	0.008
	1.656	0.007
	1.750	0.006
	1.844	0.006
	1.938	0.005
	2.031	0.005
	2.125	0.004
	2.219	0.004
	2.313	0.004
	2.406	0.003
	2.500	0.003
	2.594	0.003
	2.688	0.003
	2.781	0.003
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	3.250	0.002
	3.344	0.002
	3.438	0.002
	3.531	0.002
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H = 0.7). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



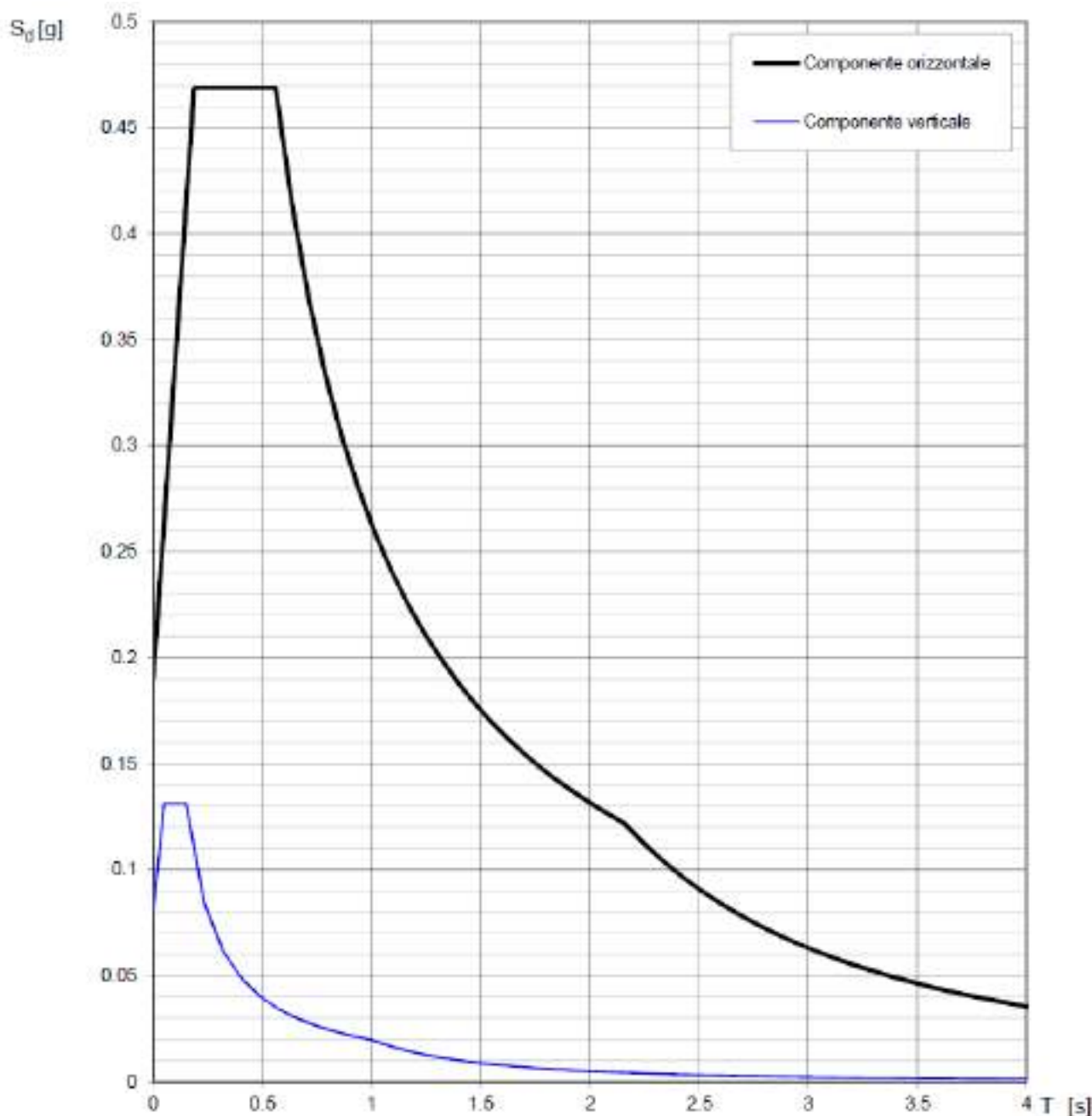


Fig. 9 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H = 0.7$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 10).

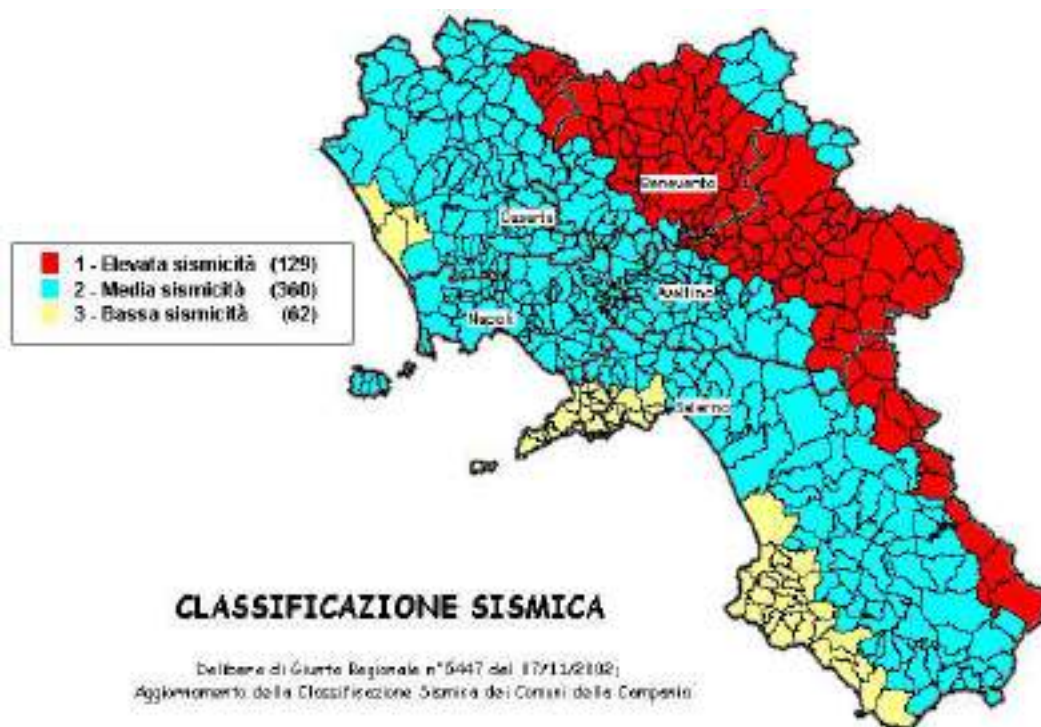


Fig. 10 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

Fig. 11 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW n. 7 effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tab. 10):

<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-30}\ (m/s)$
<i>MASW n. 7</i>	<i>[455]</i>

Tab. 10 – Valori di $V_{s,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n. 7 effettuata.



Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2** ($h/H = 0.7$) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 6 – 8 – 11), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.053]	[0.139]	[0.174]	[0.469]

Tab. 11 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n. 7 (Tab. 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s) acquisizione n.1
S1	0.0 – 5.3	343
S2	5.3 – 15.5	406
S3	15.5 – 20.8	525
S4	20.8 – 35.6	594

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n. 7.

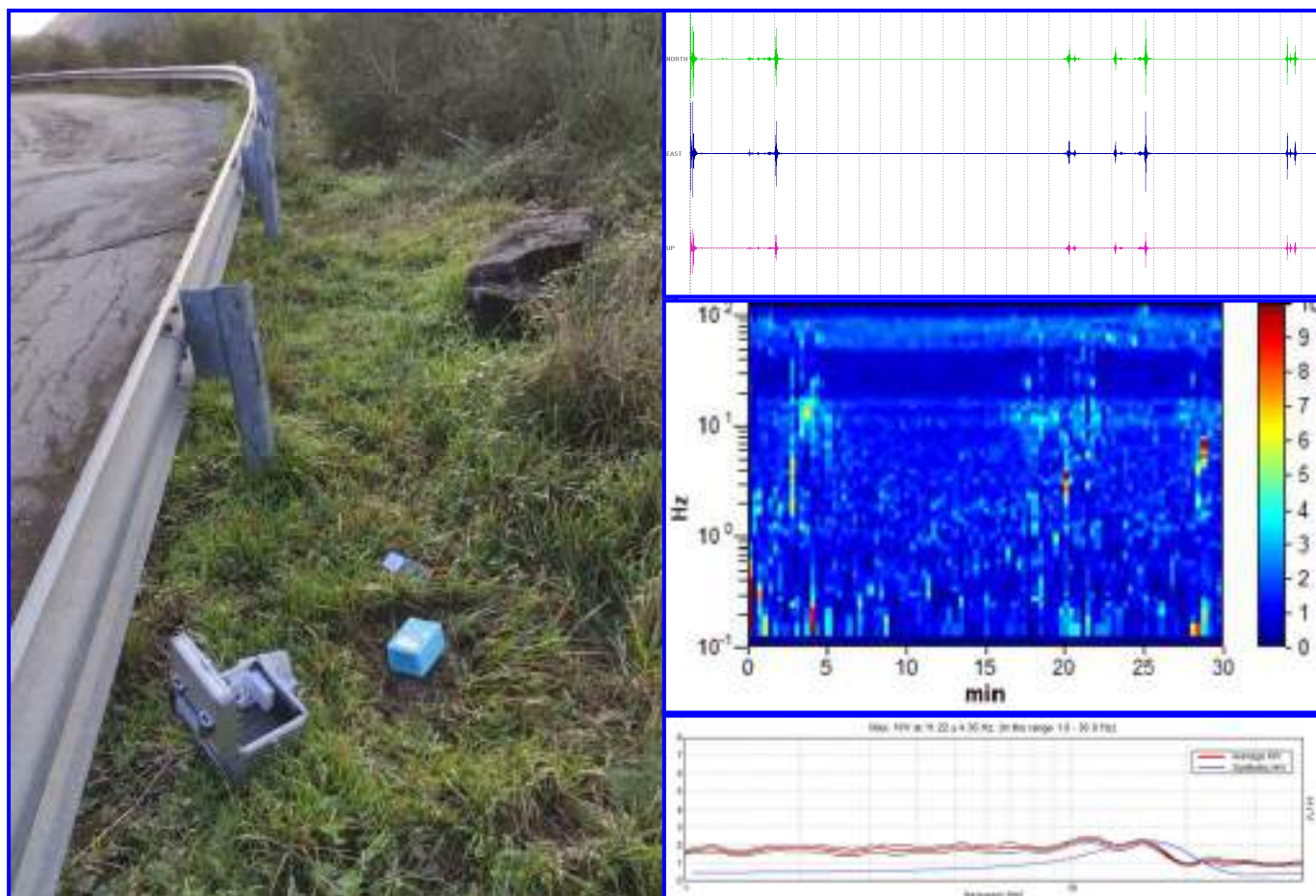
Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo




COMUNE DI MORIGERATI
PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

<i>Il Committente</i> Ing. Domenico Zuppetti	<i>Il Tecnico</i> Dott. Geol. Francesco Cuccurullo
Pagani, gennaio 2021	REV. 01



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - RISULTATI.....	8
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	13
6 - CONCLUSIONI.....	22



1 - PREMESSA

Su incarico dell'Ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale) per la redazione della relazione sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006 lungo la Strada Provinciale n. 54b (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.135080° N - 15.548916° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di fornire una stima affidabile della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (modo fondamentale e predominante di oscillazione e di valutare la categoria di sottosuolo (stima del parametro $V_{s,eq}$), vincolando l'elaborazione effettuata con la stratigrafia desunta da dati geotecnici dell'area di interesse.

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione a sismica passiva HVSR n. 3 effettuata sul sito di interesse progettuale.



Fig. 2 – Ubicazione del punto d'indagine su foto aerea di Google Earth.

2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita n.1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSr n. 3 (microtremore ambientale) (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Tempo complessivo di acquisizione (min)</i>	<i>Orientamento della terna con il Nord</i>
<i>HVSr n. 3</i>	<i>30</i>	<i>SI</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di TROMINO strumento realmente 'tutto in uno' per la registrazione sismica a stazione singola passiva ed attiva e per il monitoraggio delle vibrazioni.

Il tromometro digitale Tromino (Figura 1), si basa su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz. Il Tromino ottiene questo risultato mantenendo una configurazione ultra-compatta e ultra-leggera e può essere posizionato e messo in opera ovunque in pochi secondi. Le ridotte dimensioni (10 x 14 x 8 cm), la leggerezza (1.1 kg), il bassissimo consumo di energia (funziona con semplici pile), l'assenza totale di cavi esterni e l'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata, rendono questo strumento quasi tascabile. Inoltre, lascia virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente con un potere risolutivo comparabile con quello garantito dai più moderni sistemi sismometrici permanenti attualmente disponibili sul mercato.

Il Tromino è dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale fino a circa ± 1.5 mm/s e, nella versione utilizzata per questo lavoro, di tre canali velocimetrici per la registrazione delle vibrazioni forti fino a ± 5 cm/s e di tre canali accelerometrici. I sensori sono disposti secondo tre direzioni ortogonali (terna x, y e z) e, smorzati criticamente, trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore con risoluzione non inferiore a 23 bit. In più, un canale analogico è predisposto per l'acquisizione dati da ricevitore GPS integrato (sistema ricevitore/antenna) ed un modulo radio permette la sincronizzazione tra diverse unità di lavoro ed eventualmente la trasmissione di allarmi.

Le caratteristiche progettuali del Tromino consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz. Per quanto attiene alle caratteristiche del Tromino che interessano le misure di vibrazione, è da rilevare che lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN4150 [<http://www.inquinamentoacustico.it/vibrazioni.htm>], grazie a sismometri mid-frequency la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una frequenza di campionamento di 512 Hz. Lo strumento inoltre memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico. I dati acquisiti vengono salvati su memoria digitale di tipo Flash e, normalmente, trasferiti al PC o estratti mediante collegamento USB. Esiste un pacchetto software specifico, sviluppato per interfacciarsi al Tromino, utile per il trasferimento delle tracce acquisite ad un PC nonché per la loro archiviazione ed analisi; si tratta del software Grilla. Tale pacchetto software permette inoltre l'esportazione dei dati in formato ASCII o SAF.

Di seguito si riepilogano le caratteristiche della strumentazione utilizzata:

- 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s \sim);
- 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a ± 5 cm/s \sim);
- 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni;
- 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione) ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità;
- modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie).

Tromino opera nell'intervallo 0.1 - 1024 Hz su tutti canali (fino a 32 kHz su 2 canali) con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.

La terna di velocimetri ortogonali tra loro è stata posizionata correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul piano di calpestio (terreno). La stessa terna è stata orientata con il Nord.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Grilla) per la determinazione della frequenza di picco.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=1800s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=3.906ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento}=1/dt=256Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist}=1/2dt=128Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{min}=1/T=0.00055Hz$.

Di seguito si riportano i grafici delle registrazioni del microtremore nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) (Fig. 3).

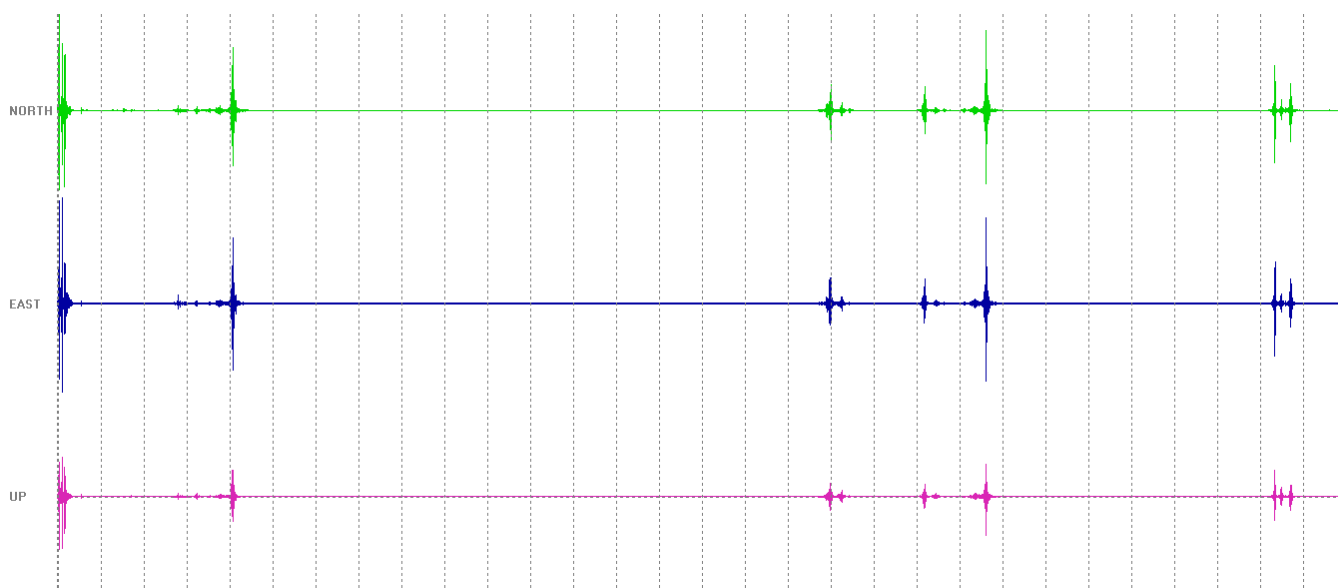


Fig. 3 – Segnali sismici del microtremore acquisito nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) – HVSr n. 3.

4 - RISULTATI

La frequenza di picco f_0 ottenuta è pari a 11.22 Hz.

Di seguito si riportano le curve H/V Spectral Ratio dell'analisi effettuata ed i relativi grafici (Figg. 4 – 7) e la valutazione dei criteri del progetto Sesame (Tab. 2).

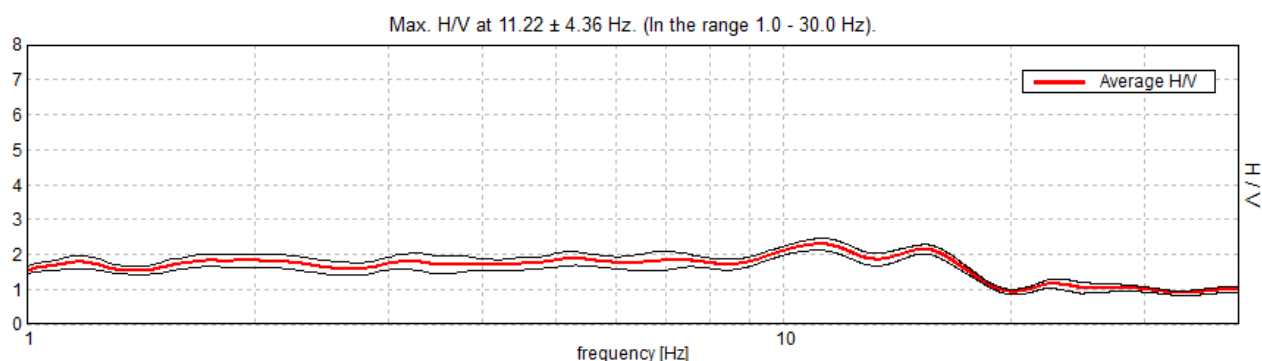


Fig. 4 – Andamento del rapporto H/V per il gruppo di registrazioni effettuate – HVSR n. 3. Nel grafico la curva rossa rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere, dette “curve di confidenza”, sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e della divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard.

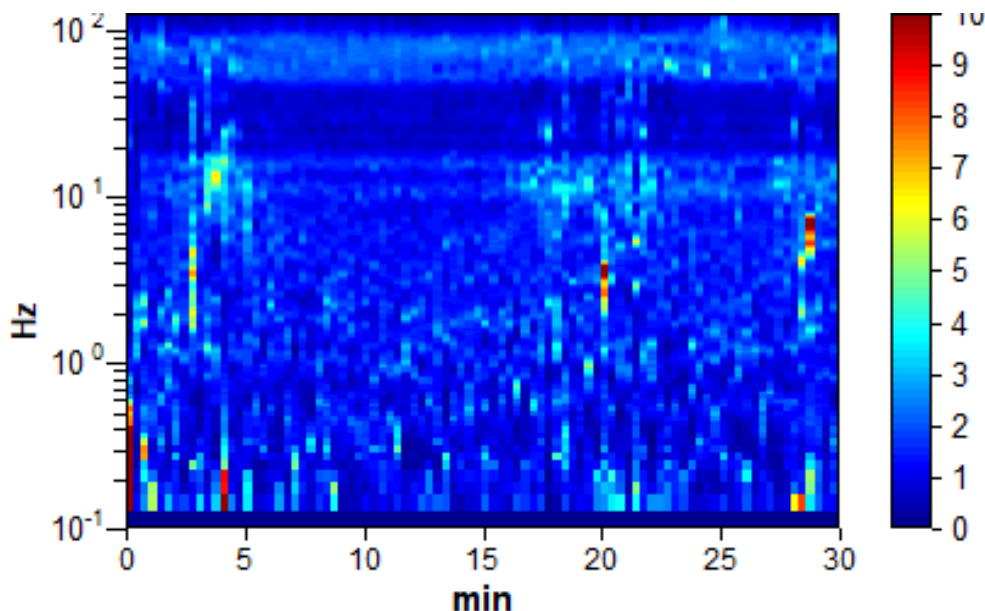


Fig. 5 – Grafico del segnale nella serie temporale H/V – HVSR n. 3.



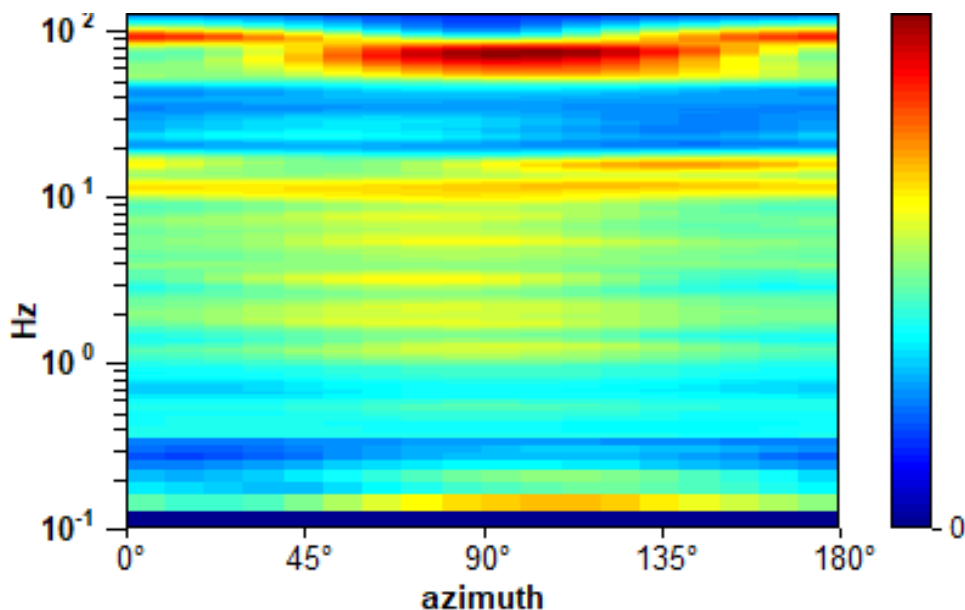


Fig. 6 – Grafico di direzionalità della curva HV – Il grafico mostra l'ampiezza del rapporto H/V per ogni 10° di rotazione.

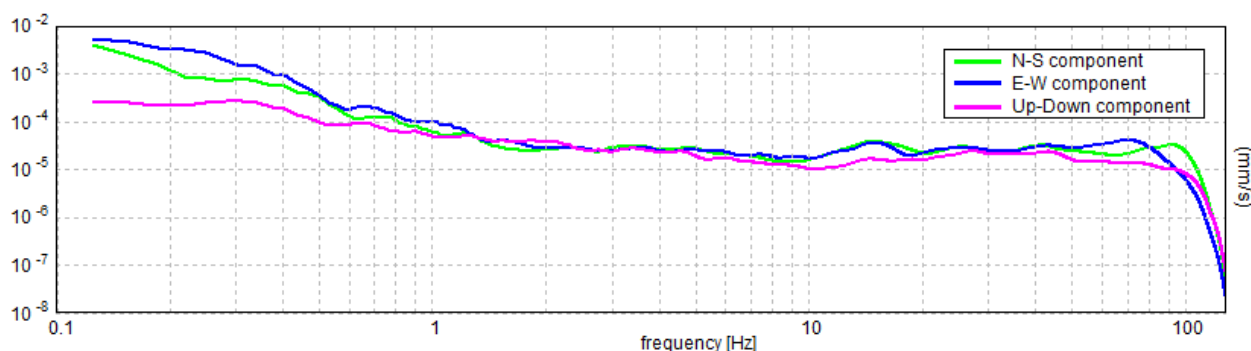


Fig. 7- Diagramma del Rapporto degli Spettri orizzontali (colori verde e blu) su verticale (colore viola).



Max. H/V at 11.22 ± 4.36 Hz (in the range 1.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$20193.8 > 200$	OK	
$\square_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\square_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 540 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.656 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.29 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \square_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.38865 < 0.05$		NO
$\square_f < \square(f_0)$	$4.36019 < 0.56094$		NO
$\square_A(f_0) < \square(f_0)$	$0.1717 < 1.58$	OK	

Tab. 2 - Criteri Sesame, 2004 per la valutazione dell'affidabilità statistica della curva HV e della chiarezza dei picchi di risonanza individuati.

La sismostratigrafia del sito è stata ricostruita a partire dai dati bibliografici e da rilievi in situ, da cui si deduce la presenza di una variazione litologica (passaggio da calcari estremamente fratturati a calcari compatti).

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica HVSR n. 3 (Tab. 3).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)	Poisson (-)
S1	0.0 – 6.0	400	0.45
S2	6.0 – inf.	750	0.45

Tab. 3 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s , V_p e Poisson per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica HVSR n. 3.

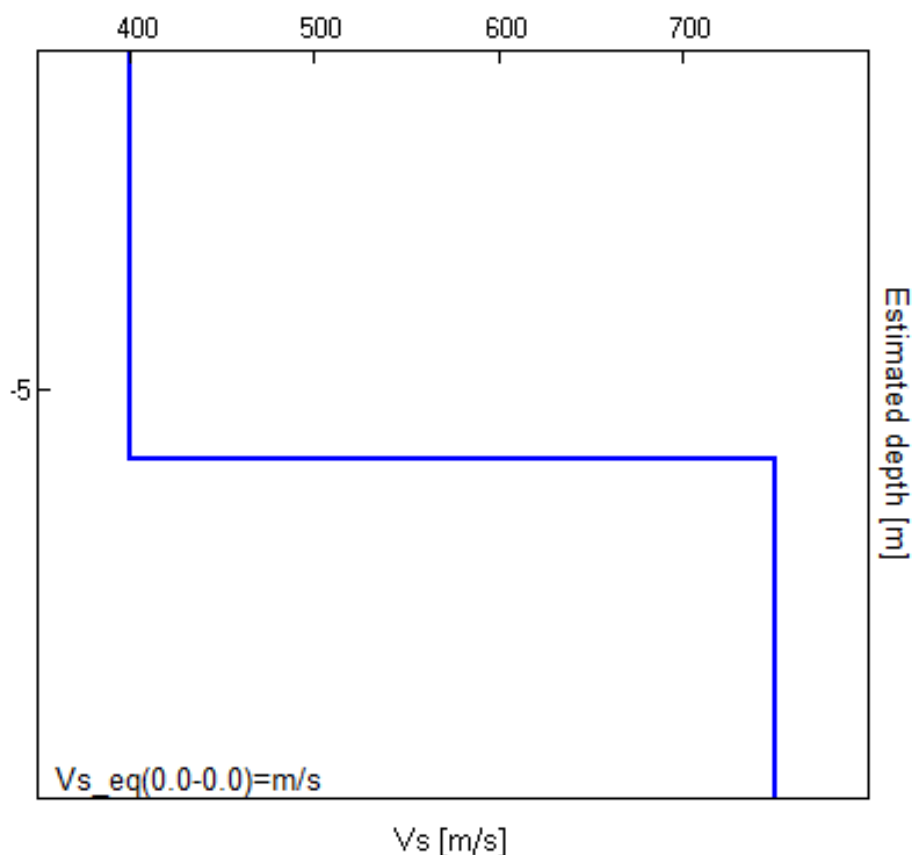


Fig. 8 – Modello stratigrafico e profilo Vs.

L'indagine di sismica passiva HVSR n. 3, in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 4 – 6).

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

Tab. 4 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
HVSR n. 3	[638]	B

Tab. 5 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica HVSR n. 3 effettuata.

Categoria di sottosuolo di fondazione B = *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
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 $i > 30^\circ$

Tab. 6 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T₂ = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 0.72$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).

5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica HVSR precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 7; Fig. 9).

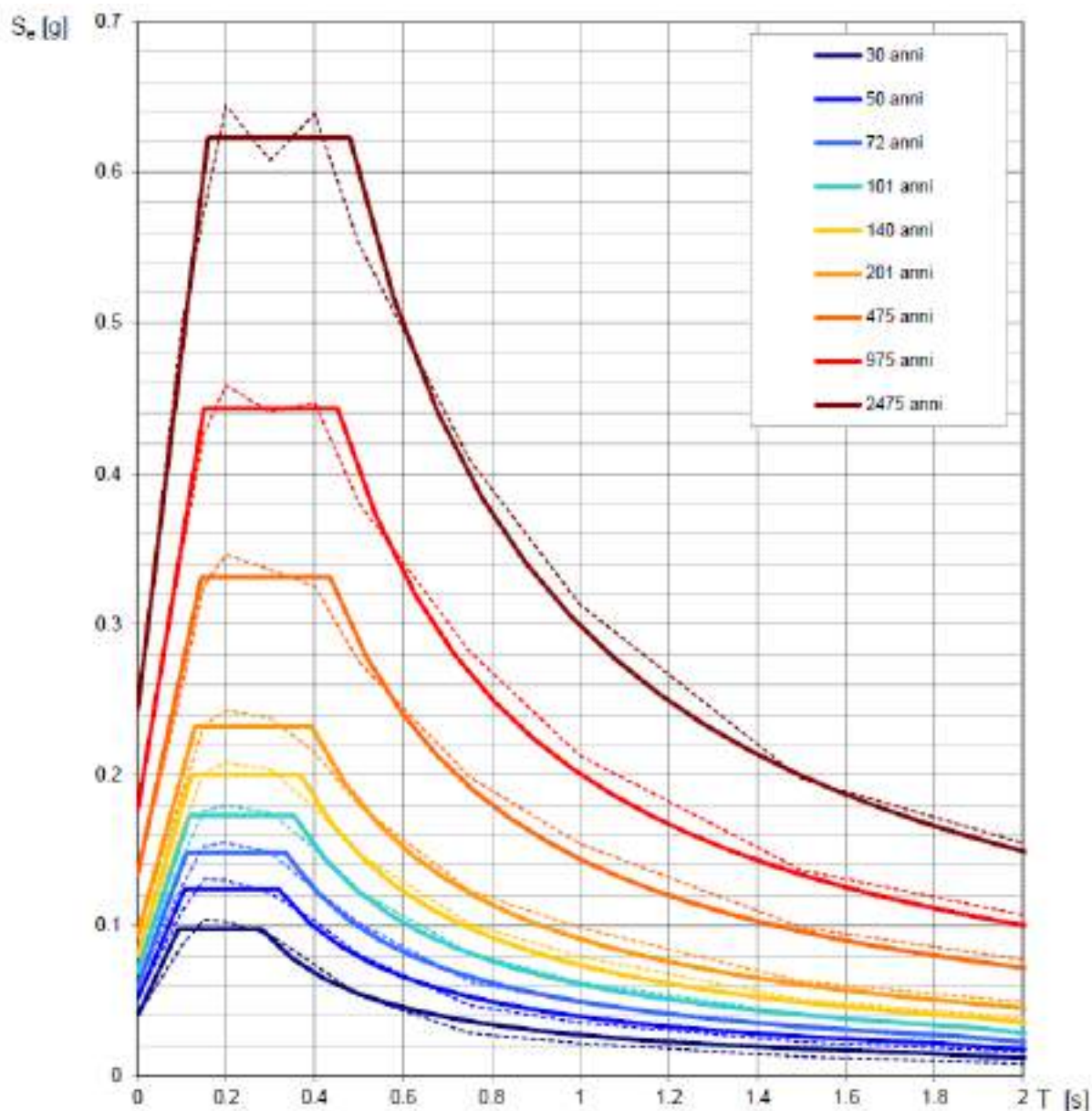
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 8 – 11; Figg. 10 – 11).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2 (h/H=0.72)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.548916 – LAT. 40.135080 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.040	2.439	0.280
50	0.051	2.421	0.319
72	0.060	2.486	0.334
101	0.069	2.491	0.353
140	0.080	2.502	0.368
201	0.094	2.479	0.392
475	0.134	2.477	0.435
975	0.176	2.519	0.452
2475	0.243	2.567	0.480

Tab. 7 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 9 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T2 (h/H=0.72)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.548916 – LAT. 40.135080 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.051 g
F_a	2.422
T_c	0.310 s
S_a	1.200
C_d	1.382
S_T	1.145
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.374
η	1.000
T_B	0.147 s
T_C	0.441 s
T_D	1.805 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{1.0 / (3 + \zeta)} \geq 0.55, \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_d \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g - 1.0$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.070
0.147	0.171
0.441	0.171
0.506	0.149
0.571	0.132
0.636	0.118
0.701	0.107
0.766	0.098
0.831	0.091
0.896	0.084
0.961	0.078
1.026	0.073
1.091	0.069
1.156	0.065
1.221	0.062
1.286	0.059
1.351	0.056
1.416	0.053
1.480	0.051
1.545	0.049
1.610	0.047
1.675	0.045
1.740	0.043
1.805	0.042
1.910	0.037
2.014	0.033
2.119	0.030
2.223	0.027
2.328	0.025
2.432	0.023
2.537	0.021
2.641	0.019
2.746	0.018
2.850	0.017
2.955	0.016
3.059	0.015
3.164	0.014
3.268	0.013
3.373	0.012
3.477	0.011
3.582	0.011
3.686	0.010
3.791	0.009
3.895	0.009
4.000	0.008

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=0.72). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gr}	0.018 g
S_s	1.000
S_T	1.145
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.741
S	1.145
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_2}{g} \right)^{0.1}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_{gr} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_a [g]
0.000	0.018
0.050	0.029
0.150	0.029
0.235	0.019
0.320	0.014
0.405	0.011
0.490	0.009
0.575	0.008
0.660	0.007
0.745	0.006
0.830	0.005
0.915	0.005
1.000	0.004
1.094	0.004
1.189	0.003
1.281	0.003
1.375	0.002
1.469	0.002
1.563	0.002
1.656	0.002
1.750	0.001
1.844	0.001
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.000
3.063	0.000
3.156	0.000
3.250	0.000
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=0.72). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



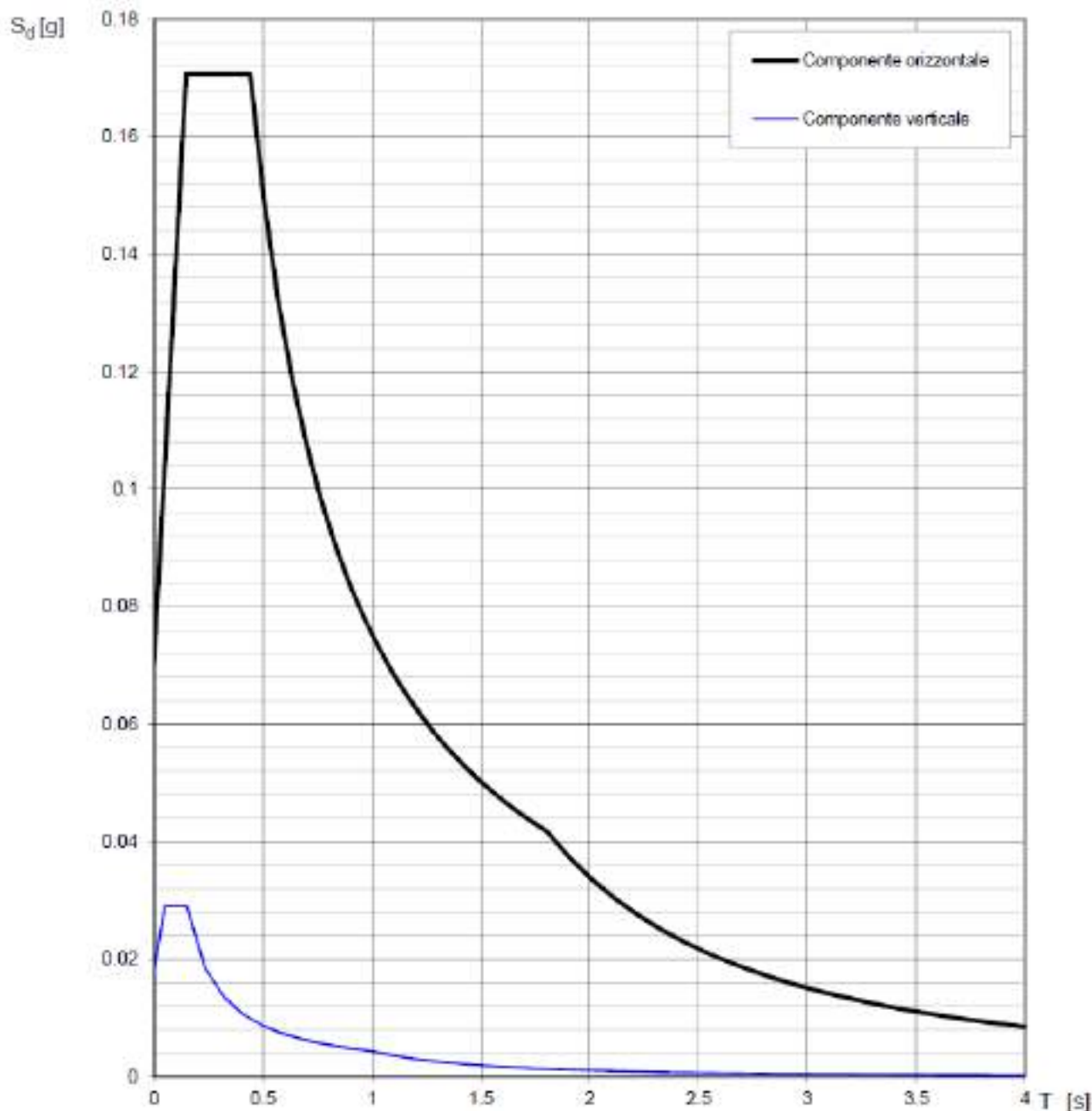


Fig. 10 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H=0.72$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.134 g
F_a	2.477
T_a	0.434 s
S_a	1.200
C_d	1.300
S_T	1.145
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.374
η	1.000
T_B	0.188 s
T_C	0.565 s
T_D	2.135 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{50 / (3 + S)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_a / 3$$

$$T_C = C_d \cdot T_B$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_a} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_a} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.184
$T_a \leftarrow$	0.188	0.455
$T_C \leftarrow$	0.565	0.455
	0.639	0.402
	0.714	0.360
	0.789	0.326
	0.864	0.297
	0.938	0.274
	1.013	0.253
	1.088	0.236
	1.163	0.221
	1.238	0.208
	1.312	0.196
	1.387	0.185
	1.462	0.176
	1.537	0.167
	1.611	0.159
	1.686	0.152
	1.761	0.146
	1.836	0.140
	1.910	0.134
	1.985	0.129
	2.060	0.125
$T_D \leftarrow$	2.135	0.120
	2.224	0.111
	2.312	0.103
	2.401	0.096
	2.490	0.088
	2.579	0.082
	2.668	0.077
	2.756	0.072
	2.845	0.068
	2.934	0.064
	3.023	0.060
	3.112	0.057
	3.201	0.054
	3.289	0.051
	3.378	0.048
	3.467	0.046
	3.556	0.043
	3.645	0.041
	3.734	0.039
	3.822	0.038
	3.911	0.036
	4.000	0.034

Tab. 10 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H=0.72$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{av}	0.065 g
S_a	1.000
S_r	1.145
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_s	1.223
S	1.145
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_r$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_s = 1,35 \cdot F_k \cdot \left(\frac{a_x}{g} \right)^{0,5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_a(T) = a_{av} \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.075
0.050	0.125
0.150	0.125
0.235	0.080
0.320	0.058
0.405	0.046
0.490	0.038
0.575	0.033
0.660	0.028
0.745	0.025
0.830	0.023
0.915	0.020
1.000	0.019
1.084	0.016
1.168	0.013
1.261	0.011
1.375	0.010
1.469	0.009
1.563	0.008
1.656	0.007
1.750	0.006
1.844	0.006
1.938	0.005
2.031	0.005
2.125	0.004
2.219	0.004
2.313	0.003
2.406	0.003
2.500	0.003
2.594	0.003
2.688	0.003
2.781	0.002
2.875	0.002
2.969	0.002
3.063	0.002
3.156	0.002
3.250	0.002
3.344	0.002
3.438	0.002
3.531	0.002
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Tab. 11 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=0.72). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



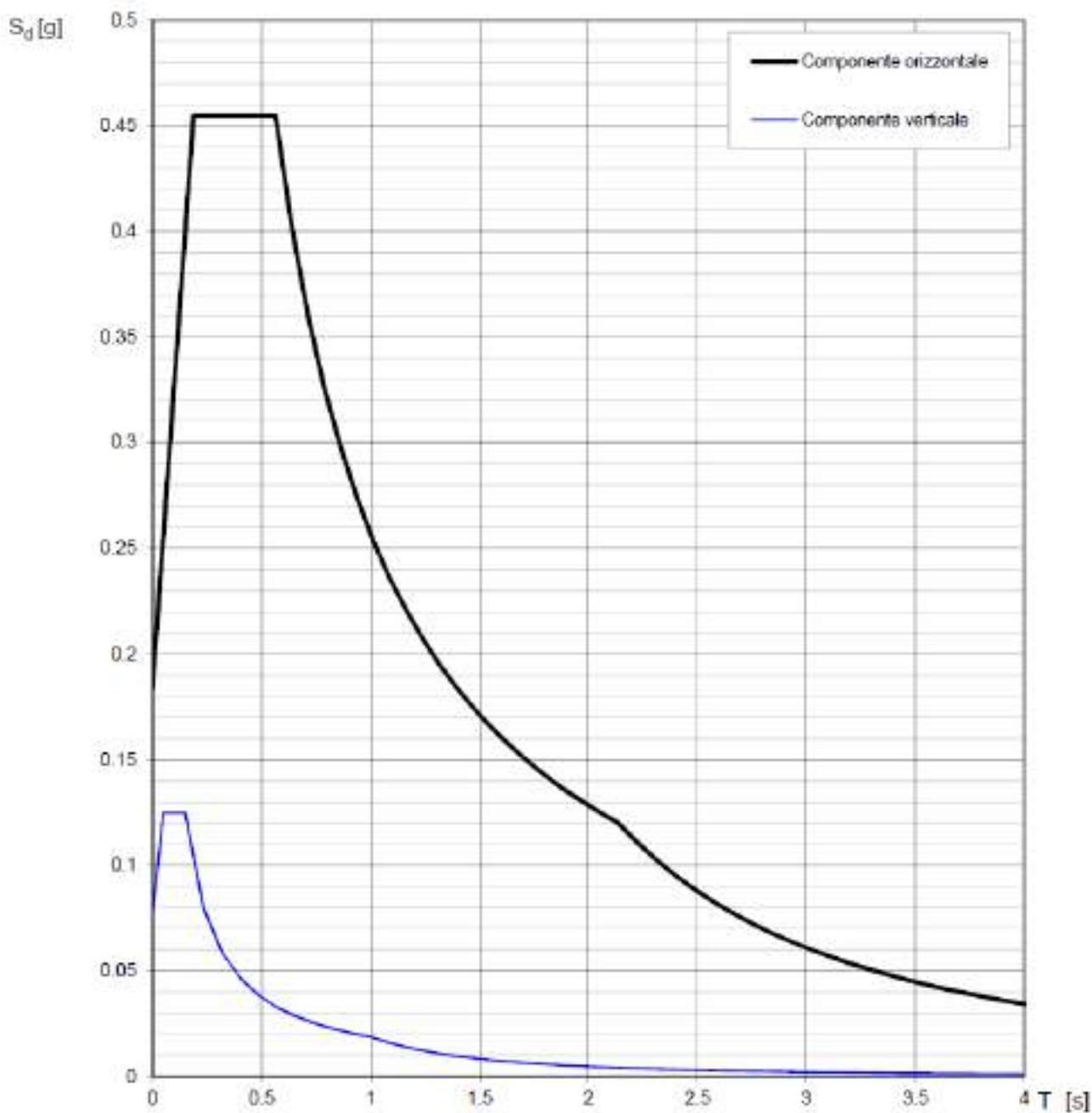


Fig. 11 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H=0.72$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 12).

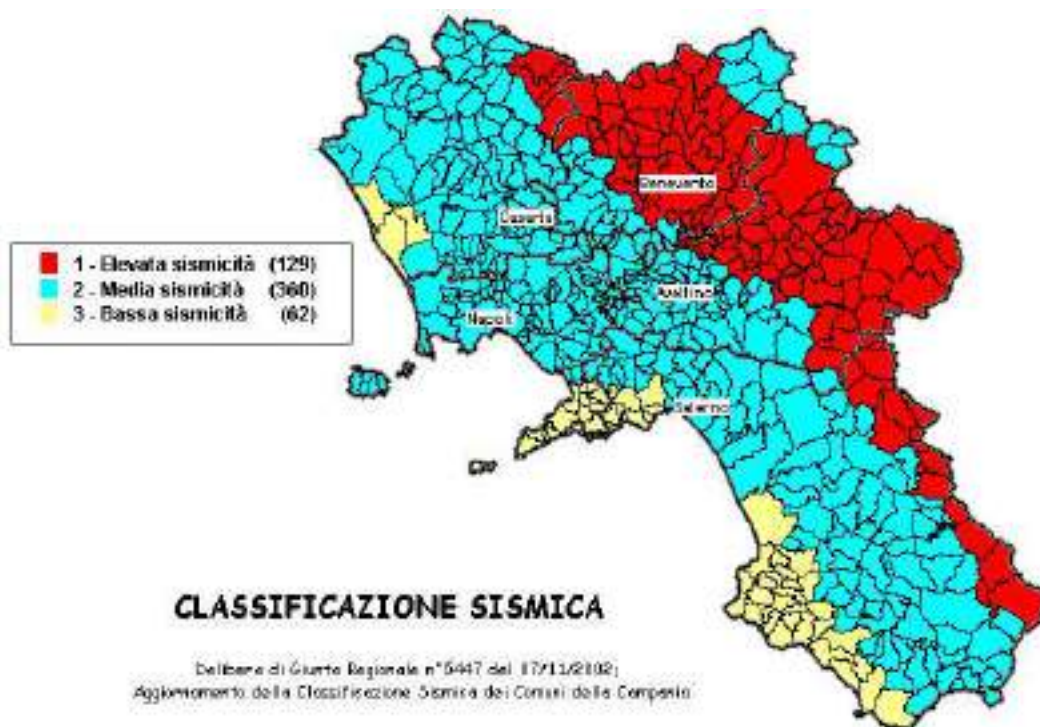


Fig. 12 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 13), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



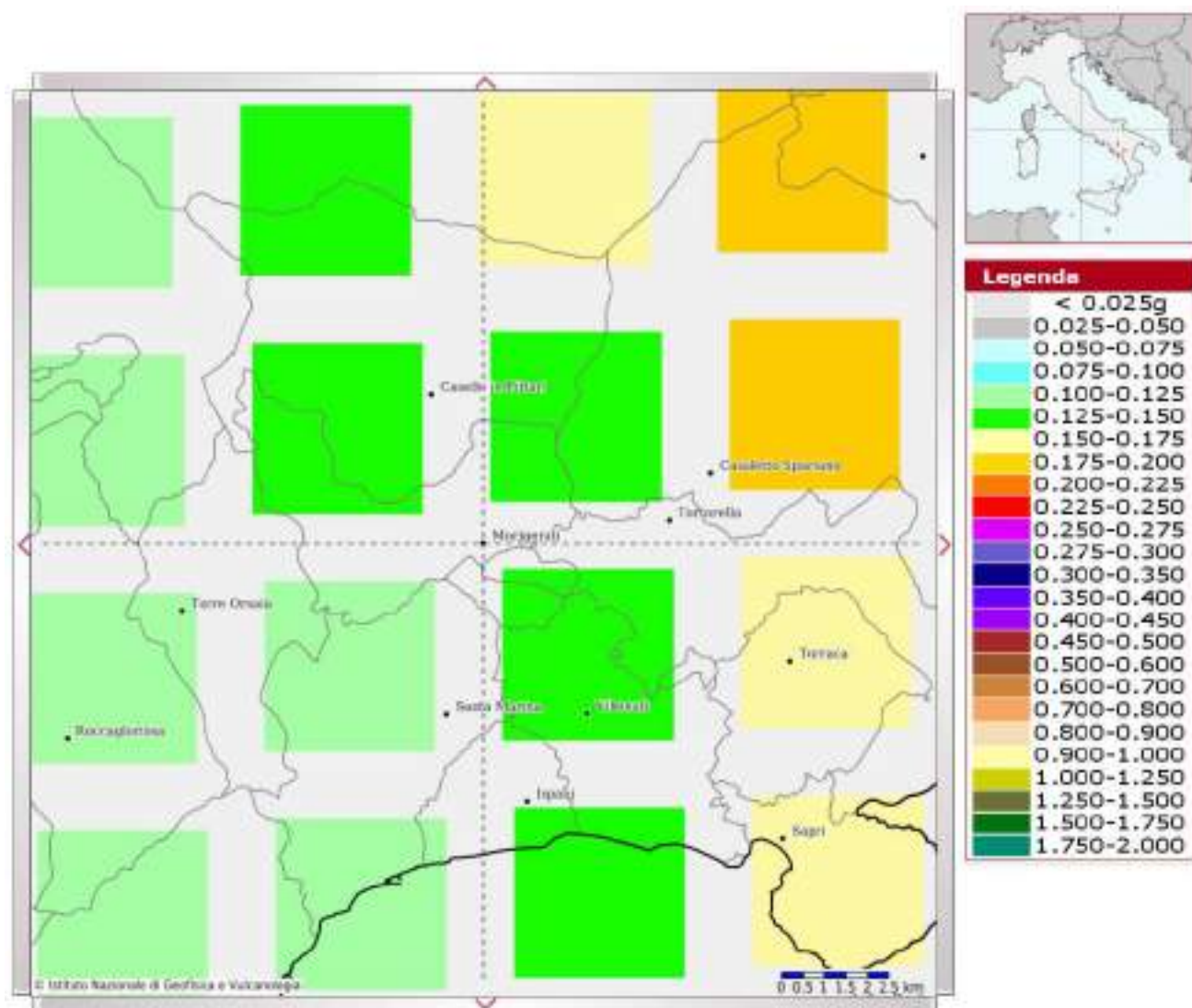


Fig. 13 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

L'indagine di sismica passiva HVSR n. 3 effettuata ha permesso di individuare la seguente frequenza di picco (Tab. 12):

Prospezione sismica	f_o (Hz)
HVSR n. 3	[11.22 \pm 4.36 Hz]

Tab. 12 – Valore di f_o calcolato, relativo alla prospezione sismica HVSR n. 3 effettuata.

Si consiglia pertanto di tenere in considerazione che i manufatti con frequenze proprie di oscillazione coincidenti con le frequenze di oscillazione dei terreni di interesse progettuale

sono soggetti a fenomeni di risonanza e, quindi, effetti amplificativi delle sollecitazioni strutturali.

Inoltre la stessa indagine ha consentito di valutare la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4).

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2** (**h/H=0.72**) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 8 – 10 – 13), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.051]	[0.134]	[0.171]	[0.455]

Tab. 13 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

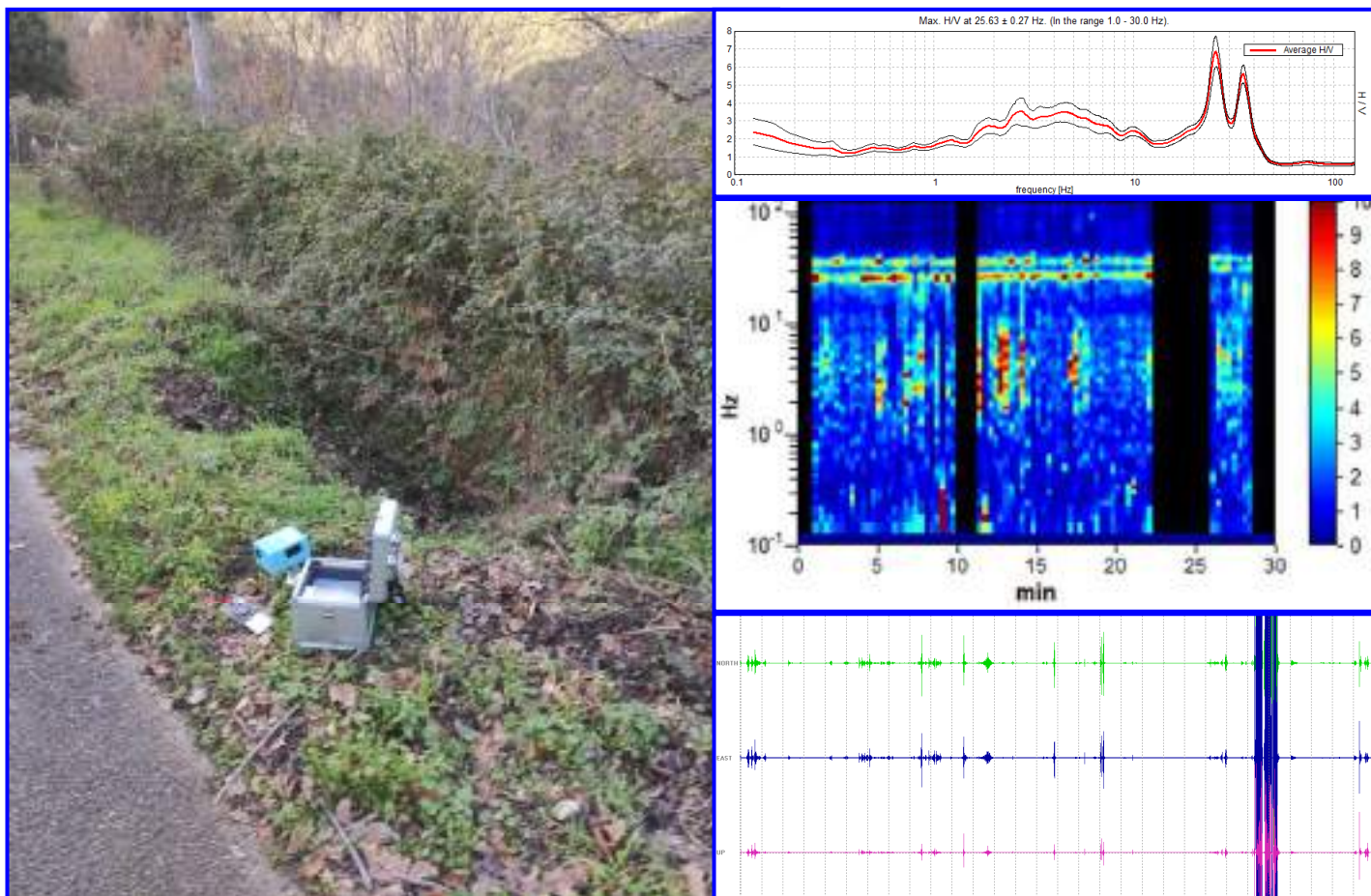
Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI MORIGERATI
PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO “AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E
ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI
MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 -
PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5,
INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO
SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006”.**

<i>Il Committente</i>	<i>Il Tecnico</i>
<i>Ing. Domenico Zuppetti</i>	<i>Dott. Geol. Francesco Cuccurullo</i>
<i>Pagani, gennaio 2021</i>	REV. 01



INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	6
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	8
4 - RISULTATI.....	9
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	14
6 - CONCLUSIONI.....	23



1 - PREMESSA

Su incarico dell'Ing. Domenico Zuppetti, è stata effettuata n°1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale) per la redazione della relazione sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto AQ TRIENNALE SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER L'ESECUZIONE DI INTERVENTI SUI SISTEMI DI MOBILITÀ EX DGRC N. 104/2018 E N. 109/2018 E SS.MM.LI. LOTTO N. 3 - PROVINCIA DI SALERNO – CUP B49J18002170001 - CIG 75188184E5, INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DA DISSESTO IDROGEOLOGICO SULLE STRADE PROVINCIALI N. 54 E N. 210 CUP L27H19002810006 lungo la Strada Provinciale n. 210 (coordinate geografiche European Datum 1950 del sito 40.148923° N - 15.556863° E), nel territorio comunale di Morigerati (SA) (Figg. 1 – 2), al fine di fornire una stima affidabile della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (modo fondamentale e predominante di oscillazione e di valutare la categoria di sottosuolo (stima del parametro $V_{s,eq}$), vincolando l'elaborazione effettuata con la stratigrafia desunta da dati geotecnici dell'area di interesse.

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



Fig. 1 – Prospezione a sismica passiva HVSR n. 8 effettuata sul sito di interesse progettuale.



Fig. 2 – Ubicazione del punto d'indagine su foto aerea di Google Earth.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita n.1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSr n. 8 (microtremore ambientale) (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Tempo complessivo di acquisizione (min)</i>	<i>Orientamento della terna con il Nord</i>
<i>HVSr n. 8</i>	<i>30</i>	<i>SI</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di TROMINO strumento realmente 'tutto in uno' per la registrazione sismica a stazione singola passiva ed attiva e per il monitoraggio delle vibrazioni.

Il tromometro digitale Tromino (Figura 1), si basa su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz. Il Tromino ottiene questo risultato mantenendo una configurazione ultra-compatta e ultra-leggera e può essere posizionato e messo in opera ovunque in pochi secondi. Le ridotte dimensioni (10 x 14 x 8 cm), la leggerezza (1.1 kg), il bassissimo consumo di energia (funziona con semplici pile), l'assenza totale di cavi esterni e l'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata, rendono questo strumento quasi tascabile. Inoltre, lascia virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente con un potere risolutivo comparabile con quello garantito dai più moderni sistemi sismometrici permanenti attualmente disponibili sul mercato.

Il Tromino è dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale fino a circa ± 1.5 mm/s e, nella versione utilizzata per questo lavoro, di tre canali velocimetrici per la registrazione delle vibrazioni forti fino a ± 5 cm/s e di tre canali accelerometrici. I sensori sono disposti secondo tre direzioni ortogonali (terna x, y e z) e, smorzati criticamente, trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore con risoluzione non inferiore a 23 bit. In più, un canale analogico è predisposto per l'acquisizione dati da ricevitore GPS integrato (sistema ricevitore/antenna) ed un modulo radio permette la sincronizzazione tra diverse unità di lavoro ed eventualmente la trasmissione di allarmi.

Le caratteristiche progettuali del Tromino consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz. Per quanto attiene alle caratteristiche del Tromino che interessano le misure di vibrazione, è da rilevare che lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN4150 [<http://www.inquinamentoacustico.it/vibrazioni.htm>], grazie a sismometri mid-frequency la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una frequenza di campionamento di 512 Hz. Lo strumento inoltre memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico. I dati acquisiti vengono salvati su memoria digitale di tipo Flash e, normalmente, trasferiti al PC o estratti mediante collegamento USB. Esiste un pacchetto software specifico, sviluppato per interfacciarsi al Tromino, utile per il trasferimento delle tracce acquisite ad un PC nonché per la loro archiviazione ed analisi; si tratta del software Grilla. Tale pacchetto software permette inoltre l'esportazione dei dati in formato ASCII o SAF.

Di seguito si riepilogano le caratteristiche della strumentazione utilizzata:

- 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s \sim);
- 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a ± 5 cm/s \sim);
- 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni;
- 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione) ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità;
- modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie).

Tromino opera nell'intervallo 0.1 - 1024 Hz su tutti canali (fino a 32 kHz su 2 canali) con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.

La terna di velocimetri ortogonali tra loro è stata posizionata correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul piano di calpestio (terreno). La stessa terna è stata orientata con il Nord.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Grilla) per la determinazione della frequenza di picco.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=1800s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=3.906ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=256Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=128Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.00055Hz$.

Di seguito si riportano i grafici delle registrazioni del microtremore nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) (Fig. 3).

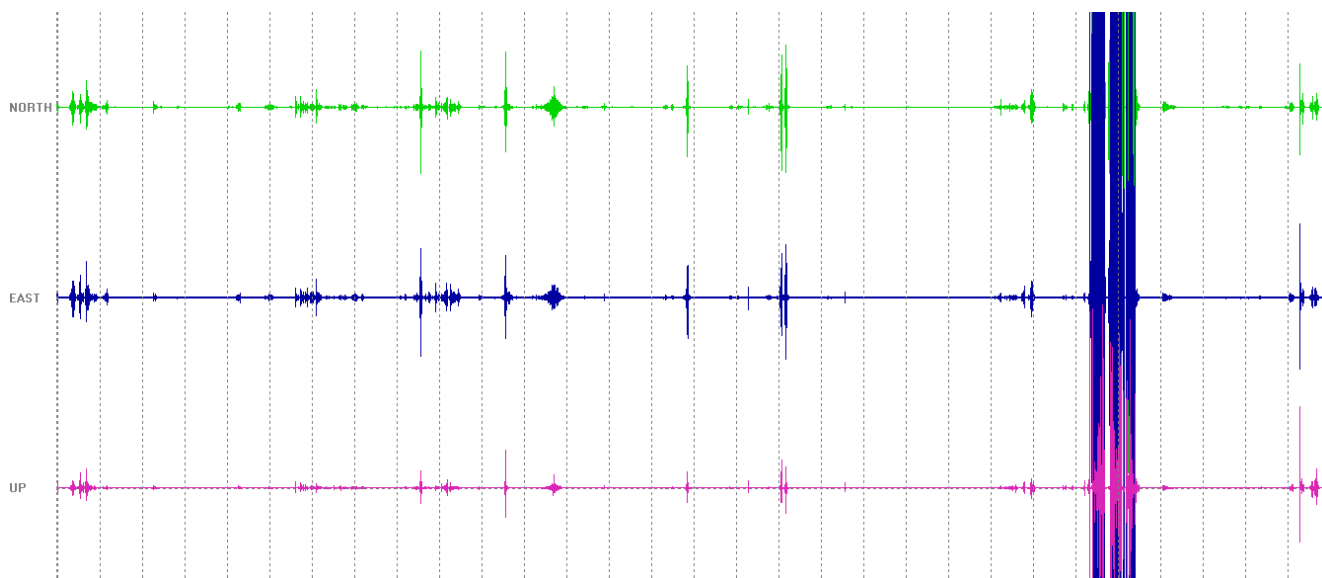


Fig. 3 – Segnali sismici del microtremore acquisito nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) – HVSR n. 8.



4 - RISULTATI

La frequenza di picco f_0 ottenuta è pari a 25.63 Hz.

Di seguito si riportano le curve H/V Spectral Ratio dell'analisi effettuata ed i relativi grafici (Figg. 4 – 7) e la valutazione dei criteri del progetto Sesame (Tab. 2).

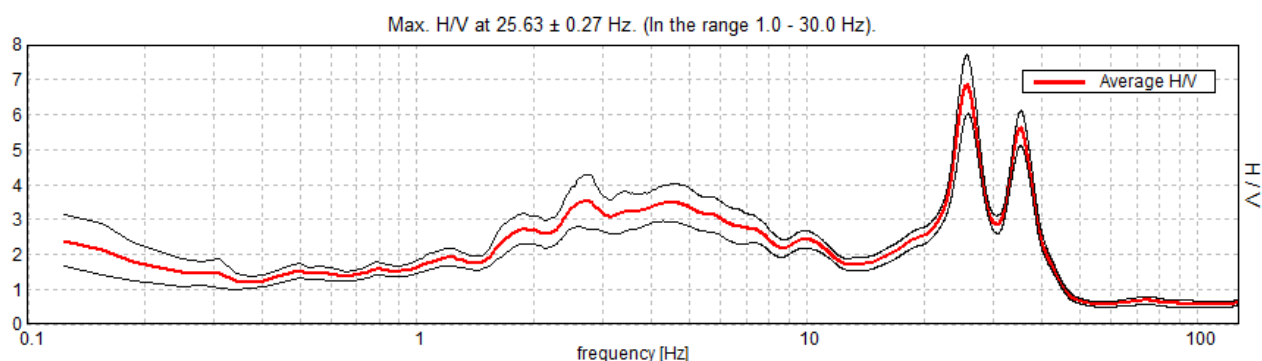


Fig. 4 – Andamento del rapporto H/V per il gruppo di registrazioni effettuate – HVSR n. 8. Nel grafico la curva rossa rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere, dette “curve di confidenza”, sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e della divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard.

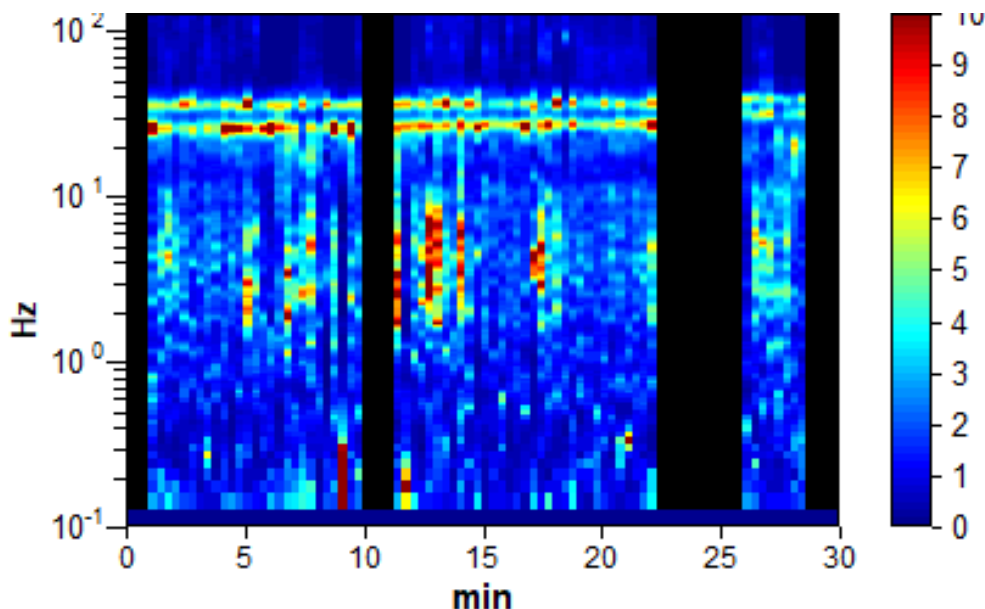


Fig. 5 – Grafico del segnale nella serie temporale H/V – HVSR n. 8.



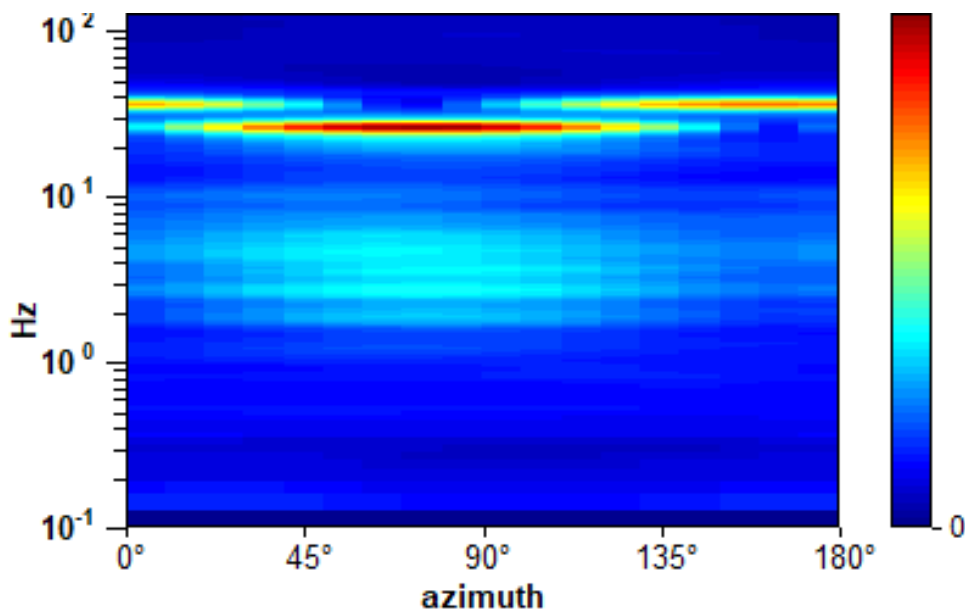


Fig. 6 – Grafico di direzionalità della curva HV – Il grafico mostra l'ampiezza del rapporto H/V per ogni 10° di rotazione.

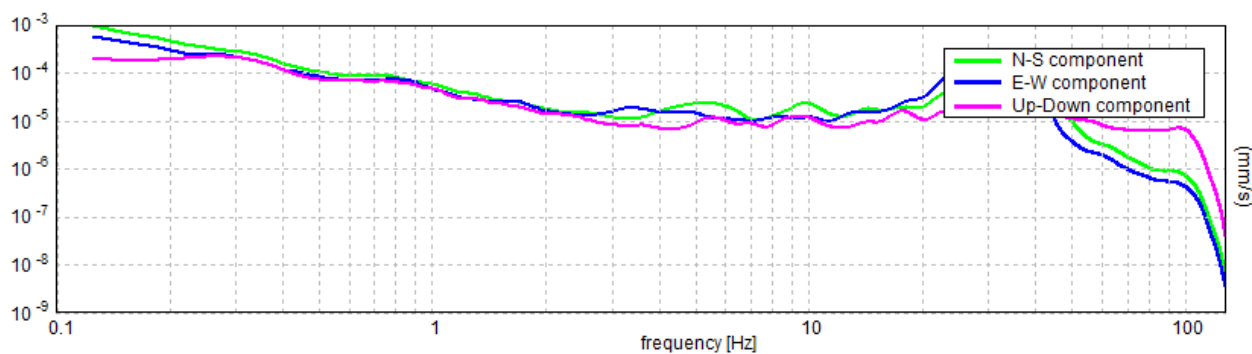


Fig. 7- Diagramma del Rapporto degli Spettri orizzontali (colori verde e blu) su verticale (colore viola).

Max. H/V at 25.63 ± 0.27 Hz (in the range 1.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	25.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	34850.0 > 200	OK	
$\square_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\square_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1231 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.688 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	28.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.86 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \square_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01064 < 0.05$	OK	
$\square_f < \square(f_0)$	$0.27275 < 1.28125$	OK	
$\square_A(f_0) < \square(f_0)$	$0.8553 < 1.58$	OK	

Tab. 2 - Criteri Sesame, 2004 per la valutazione dell'affidabilità statistica della curva HV e della chiarezza dei picchi di risonanza individuati.

La sismostratigrafia del sito è stata ricostruita a partire dai dati bibliografici e da rilievi in situ, da cui si deduce la presenza di una variazione litologica (passaggio da calcari estremamente fratturati a calcari compatti).

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica HVSR n. 8 (Tab. 3).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)	Poisson (-)
S1	0.0 – 1.5	150	0.42
S2	1.5 – 11.5	360	0.42
S3	11.5 – 21.5	550	0.42
S4	21.5 – inf.	750	0.40

Tab. 3 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s , V_p e Poisson per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica HVSR n. 8.

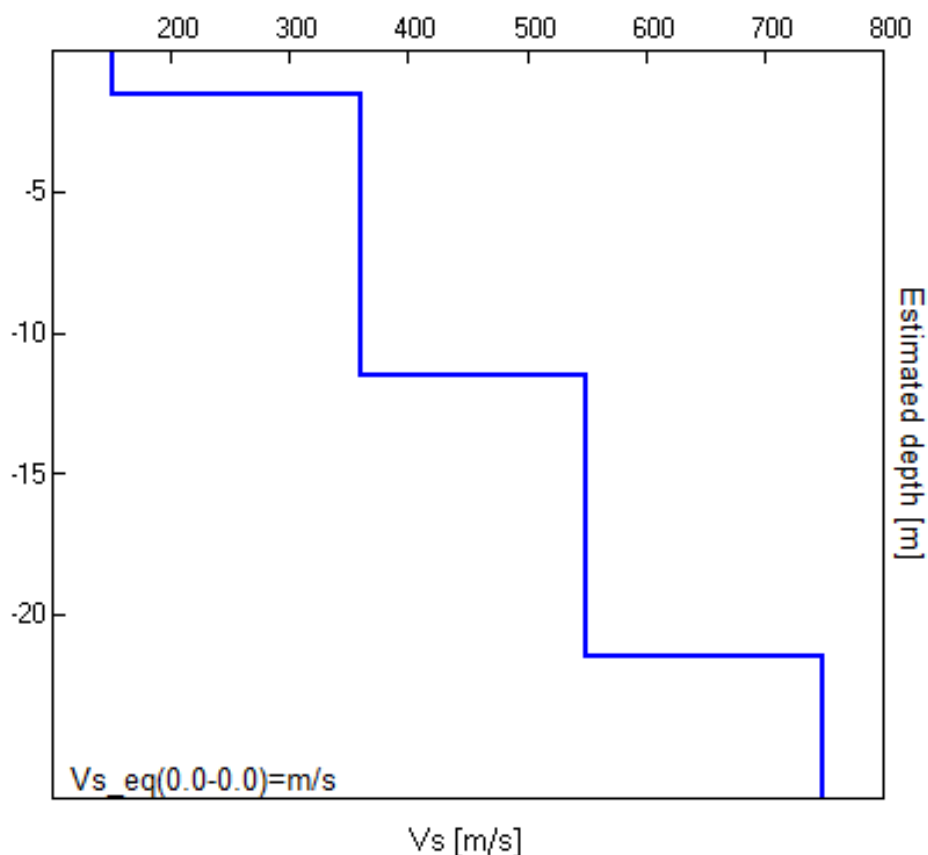


Fig. 8 – Modello stratigrafico e profilo Vs.

L'indagine di sismica passiva HVSR n. 8, in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabb. 4 – 6).

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

Tab. 4 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
HVSR n. 8	[446]	B

Tab. 5 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica HVSR n. 8 effettuata.

Categoria di sottosuolo di fondazione B = *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

Tab. 6 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T₄ = *Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ ($h/H = 0.87$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).*

5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del sottosuolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica HVSR precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 7; Fig. 9).

In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 8 – 11; Figg. 10 – 11).

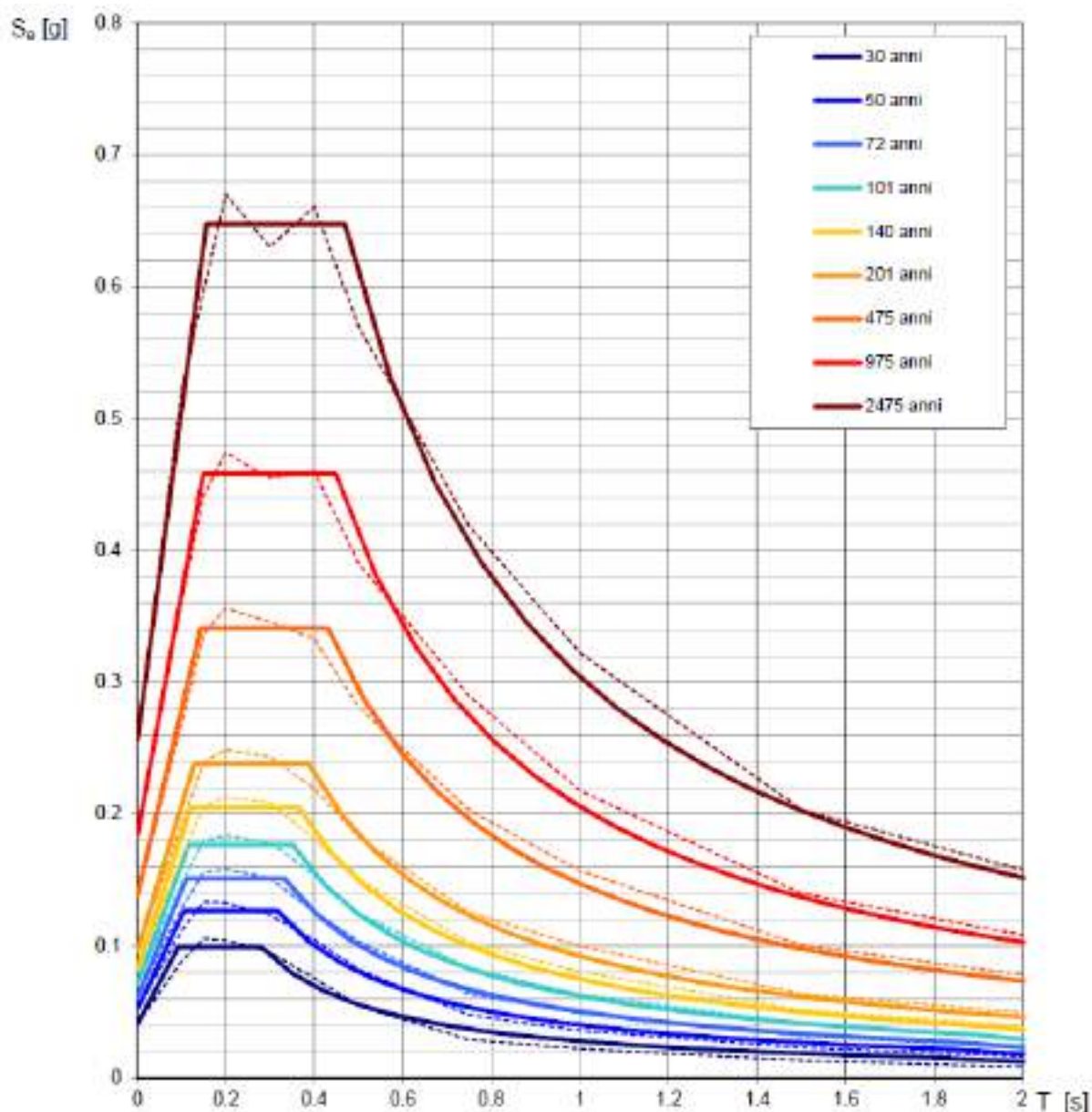
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T4 (h/H=0.87)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.556863 – LAT. 40.148923 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0.041	2.433	0.280
50	0.052	2.420	0.317
72	0.061	2.477	0.333
101	0.071	2.484	0.351
140	0.082	2.495	0.365
201	0.096	2.474	0.387
475	0.138	2.464	0.431
975	0.183	2.498	0.449
2475	0.256	2.533	0.469

Tab. 7 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.





NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa; con linea tratteggiata gli spettri del progetto SI-INGV da cui sono derivati.

Fig. 9 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.



**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T4 (h/H=0.87)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.556863 – LAT. 40.148923 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.052 g
F_a	2.420
T_c	0.317 s
S_s	1.200
C_c	1.384
S_T	1.348
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.618
η	1.000
T_B	0.146 s
T_C	0.439 s
T_D	1.810 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 2)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_a} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_a} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	S_e [g]
	0.000	0.085
$T_B \leftarrow$	0.146	0.205
$T_C \leftarrow$	0.439	0.205
	0.504	0.178
	0.570	0.158
	0.635	0.142
	0.700	0.129
	0.765	0.118
	0.831	0.108
	0.896	0.101
	0.961	0.094
	1.027	0.088
	1.092	0.083
	1.157	0.078
	1.222	0.074
	1.288	0.070
	1.353	0.067
	1.418	0.064
	1.483	0.061
	1.549	0.058
	1.614	0.056
	1.679	0.054
	1.744	0.052
$T_D \leftarrow$	1.810	0.050
	1.914	0.045
	2.018	0.040
	2.123	0.036
	2.227	0.033
	2.331	0.030
	2.435	0.027
	2.540	0.025
	2.644	0.023
	2.748	0.022
	2.853	0.020
	2.957	0.019
	3.061	0.017
	3.166	0.018
	3.270	0.015
	3.374	0.014
	3.478	0.013
	3.583	0.013
	3.687	0.012
	3.791	0.011
	3.896	0.011
	4.000	0.010

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 (h/H=0.87). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{max}	0.016 g
S_B	1.000
S_T	1.348
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.748
S	1.348
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_B \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,2}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.022
0.050	0.035
0.150	0.035
0.235	0.022
0.320	0.017
0.405	0.013
0.490	0.011
0.575	0.009
0.660	0.008
0.745	0.007
0.830	0.006
0.915	0.006
1.000	0.005
1.094	0.004
1.188	0.004
1.281	0.003
1.375	0.003
1.469	0.002
1.563	0.002
1.656	0.002
1.750	0.002
1.844	0.002
1.938	0.001
2.031	0.001
2.125	0.001
2.219	0.001
2.313	0.001
2.406	0.001
2.500	0.001
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.001
3.063	0.001
3.156	0.001
3.250	0.001
3.344	0.000
3.438	0.000
3.531	0.000
3.625	0.000
3.719	0.000
3.813	0.000
3.906	0.000
4.000	0.000

Tab. 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 (h/H=0.87). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



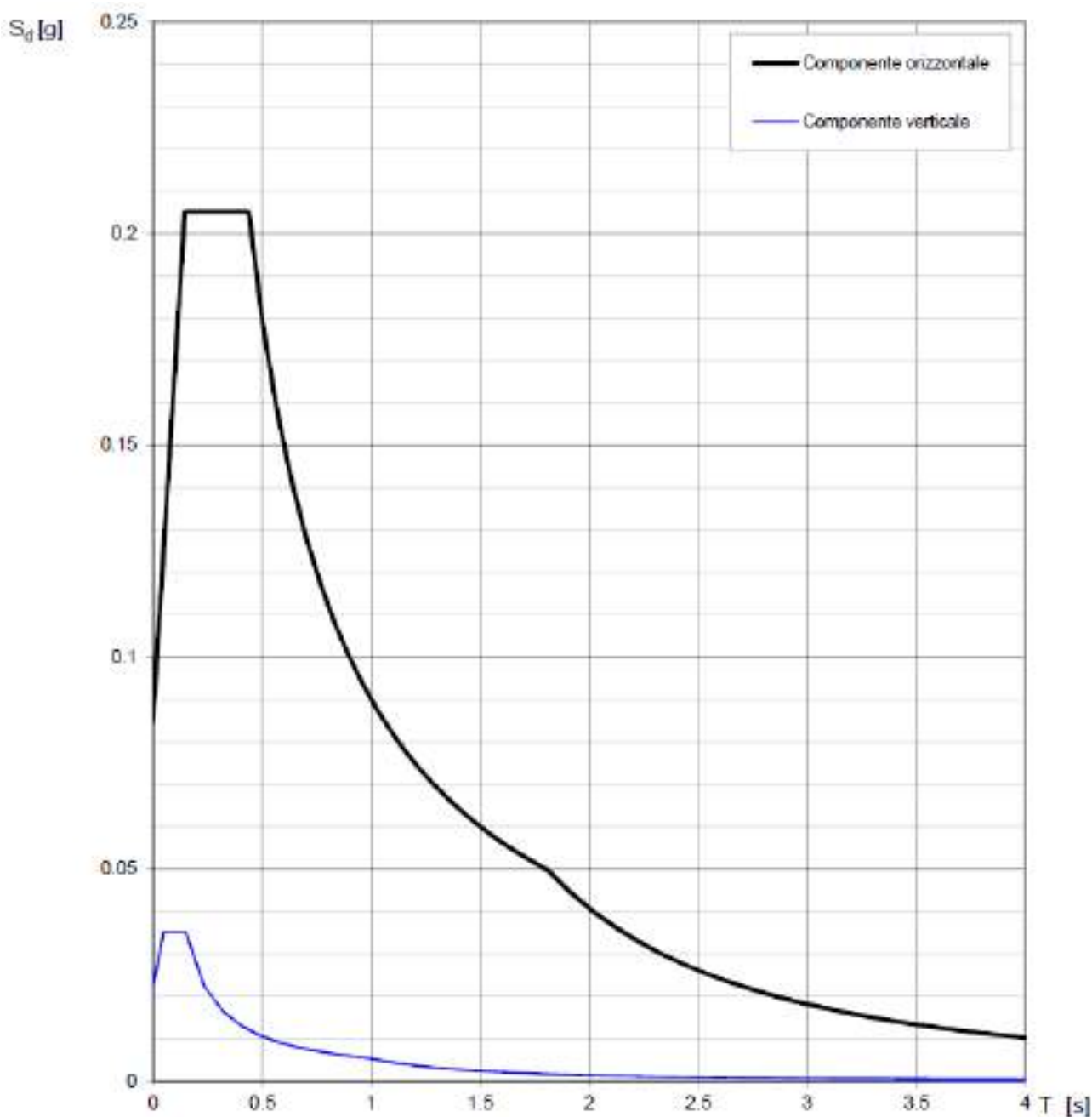


Fig. 10 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 ($h/H=0.87$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.138 g
F_0	2.464
T_C	0.431 s
S_s	1.200
C_C	1.302
S_T	1.348
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.618
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.561 s
T_D	2.154 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 2)} \geq 0.55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_s(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e [g]$
0.000	0.224
0.187	0.552
0.561	0.552
0.637	0.486
0.713	0.434
0.789	0.393
0.865	0.358
0.940	0.329
1.016	0.305
1.092	0.284
1.168	0.265
1.244	0.249
1.320	0.235
1.395	0.222
1.471	0.210
1.547	0.200
1.623	0.191
1.699	0.182
1.774	0.174
1.850	0.167
1.926	0.161
2.002	0.155
2.078	0.149
2.154	0.144
2.242	0.133
2.329	0.123
2.417	0.114
2.505	0.106
2.593	0.099
2.681	0.093
2.769	0.087
2.857	0.082
2.945	0.077
3.033	0.072
3.121	0.068
3.209	0.065
3.297	0.061
3.385	0.058
3.472	0.055
3.560	0.053
3.648	0.050
3.736	0.048
3.824	0.046
3.912	0.044
4.000	0.042

Tab. 10 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 (h/H=0.87). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	Se [g]
a_{av}	0.070 g	0.000	0.094
S_s	1.000	0.050	0.154
S_T	1.348	0.150	0.154
q	1.500	0.235	0.096
T_B	0.050 s	0.320	0.072
T_C	0.150 s	0.405	0.057
T_D	1.000 s	0.490	0.047
		0.575	0.040
		0.660	0.035
		0.745	0.031
		0.830	0.028
		0.915	0.025
		1.000	0.023
		1.094	0.019
		1.188	0.016
		1.281	0.014
		1.375	0.012
		1.469	0.011
		1.563	0.009
		1.656	0.008
		1.750	0.008
		1.844	0.007
		1.938	0.006
		2.031	0.006
		2.125	0.005
		2.219	0.005
		2.313	0.004
		2.406	0.004
		2.500	0.004
		2.594	0.003
		2.688	0.003
		2.781	0.003
		2.875	0.003
		2.969	0.003
		3.063	0.002
		3.156	0.002
		3.250	0.002
		3.344	0.002
		3.438	0.002
		3.531	0.002
		3.625	0.002
		3.719	0.002
		3.813	0.002
		3.906	0.002
		4.000	0.001

Parametri dipendenti	
F_v	1.237
S	1.348
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \left(\frac{a_2}{g} \right)^{0.1}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_2 \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Tab. 11 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 (h/H=0.87). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



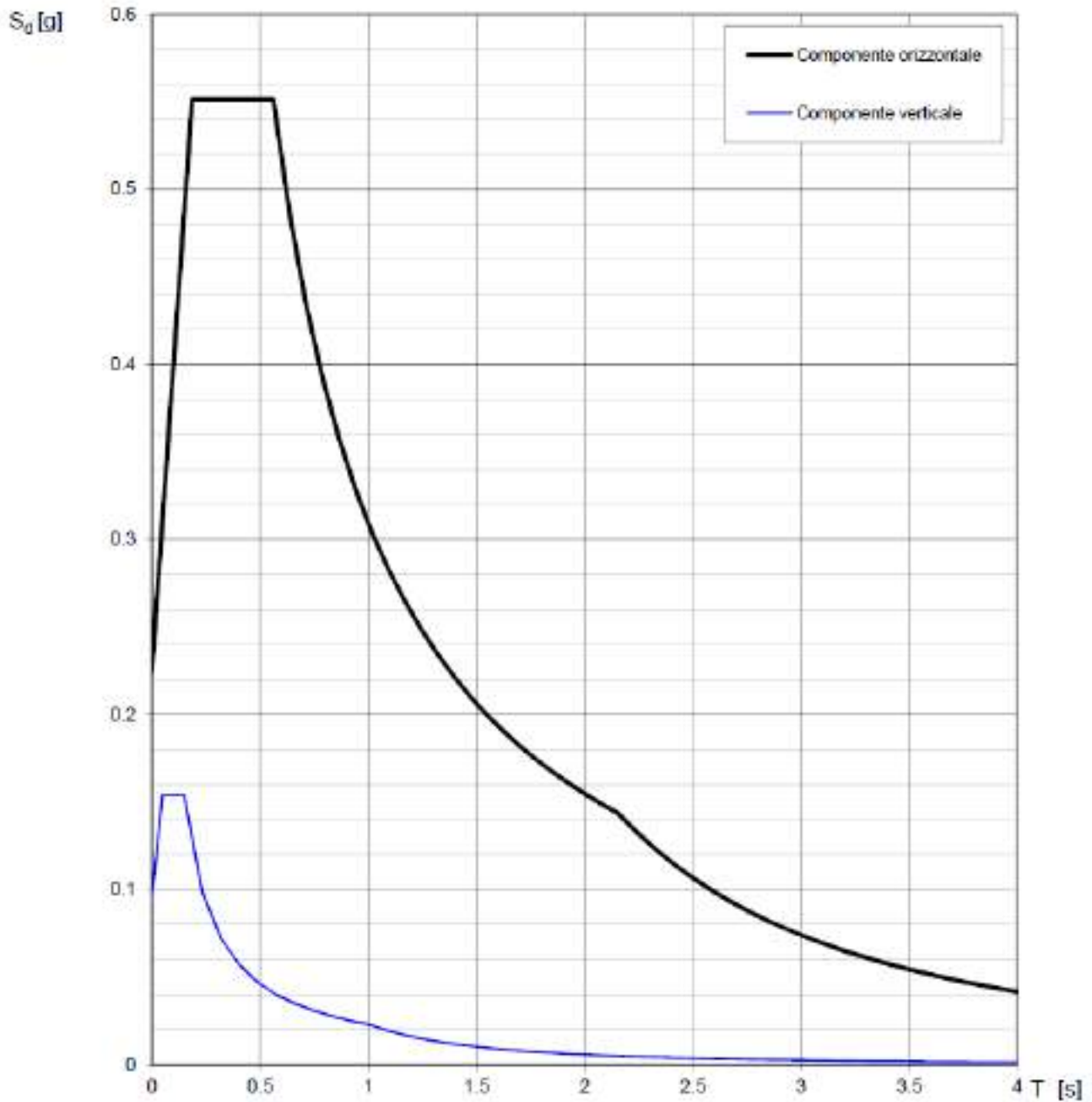


Fig. 11 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T4 ($h/H=0.87$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.



6 - CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Morigerati (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 12).

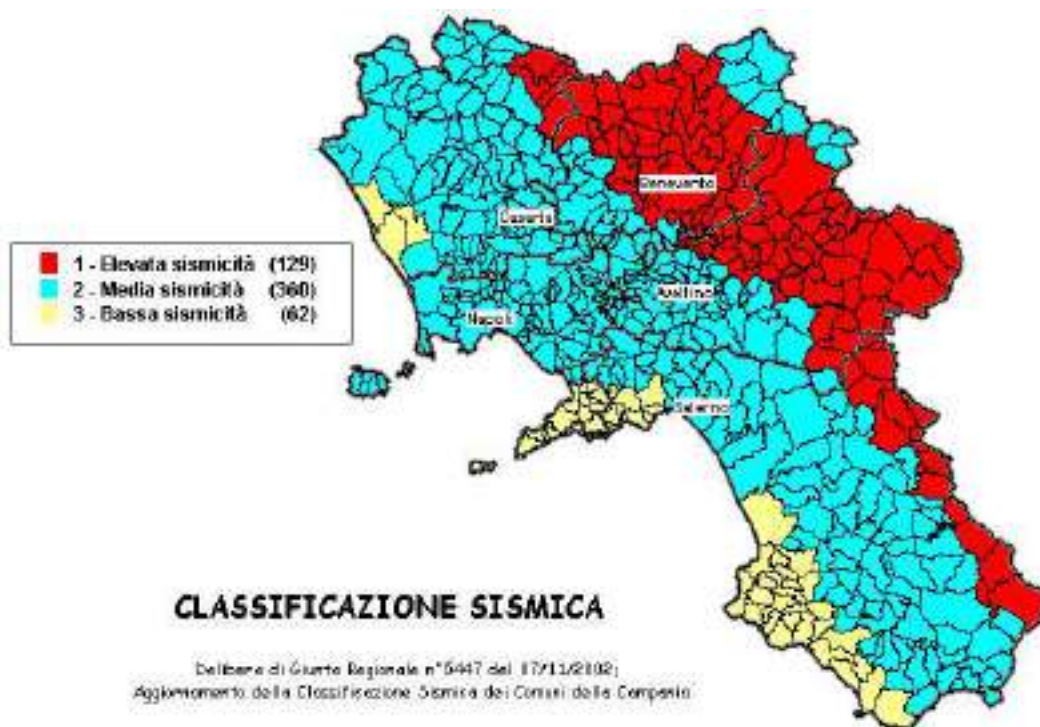


Fig. 12 – Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 13), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Morigerati (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



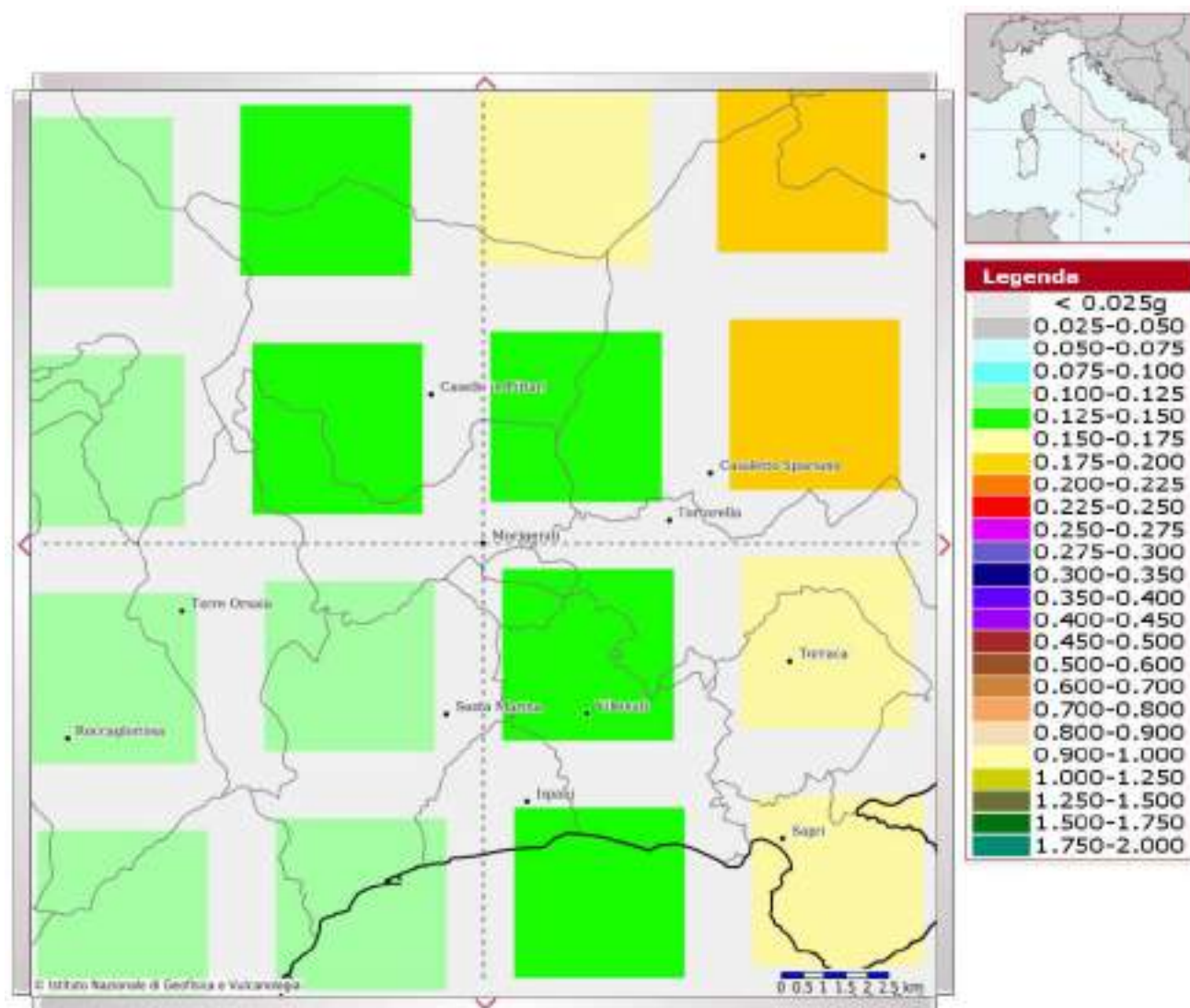


Fig. 13 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

L'indagine di sismica passiva HVSR n. 8 effettuata ha permesso di individuare la seguente frequenza di picco (Tab. 12):

Prospezione sismica	f_o (Hz)
HVSR n. 8	$[25.63 \pm 0.27 \text{ Hz}]$

Tab. 12 – Valore di f_o calcolato, relativo alla prospezione sismica HVSR n. 8 effettuata.

Si consiglia pertanto di tenere in considerazione che i manufatti con frequenze proprie di oscillazione coincidenti con le frequenze di oscillazione dei terreni di interesse progettuale

sono soggetti a fenomeni di risonanza e, quindi, effetti amplificativi delle sollecitazioni strutturali.

Inoltre la stessa indagine ha consentito di valutare la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4).

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T4** (**$h/H=0.87$**) sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 8 – 10 – 13), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.052]	[0.138]	[0.205]	[0.552]

Tab. 13 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, gennaio 2021

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

