ARCIDIOCESI DI
S. ANGELO DEI L. - CONZA - NUSCO - BISACCIA

MINISTERO DELLA CULTURA

Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

PIANO NAZIONALE DIRIPRESA E RESILIENZA (PNRR) - MISSIONE 1 - DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETIVITÀ E CULTURA, COMPONENTE 3 - CULTURA 4.0 (M1C3), MISURA 2 "RIGENERAZIONE DI PICCOLI SITI CULTURALI, PATRIMONIO CULTURALE, RELIGIOSO E RURALE, INVESTIMENTO 2.4: "SICUREZZA SISMICA NEI LUOGHI DI CULTO, RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE DEL FEC E SITI DI RICOVERO PER LE OPERE D'ARTE (RECOVERY ART)" - LINEA D'AZIONE N. 1 SICUREZZA SISMICA NEI LUOGHI DI CULTO, TORRI E CAMPANILI

INTERVENTI DI SICUREZZA SISMICA DELLA CHIESA CONCATTEDRALE DI S. AMATO - NUSCO (Av)

CUP: F76J22000040006 CIG: A017E74D0C

COMUNE DI NUSCO
Provincia di Avellino

NOVEMBRE 2024

ELABORATI STRUTTURALI:
RELAZIONE GEOLOGICA

T.10/i

COMMITTENTE:
ARCIDIOCESI DI SANT'ANGELO DEI LOMBARDI - CONZA - NUSCO - BISACCIA

IL RUP:
Luigi D'Angelis - geometra

RTP:
Rocco Di Conza - architetto
Costructura Consulting Soc. Coop. srl

ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI CONSERVATORI - PROVINCIA DI AVELLINO
ROCCO DI CONZA ARCHITETTO
ISCRITTO ALL'ALBO N° 1108

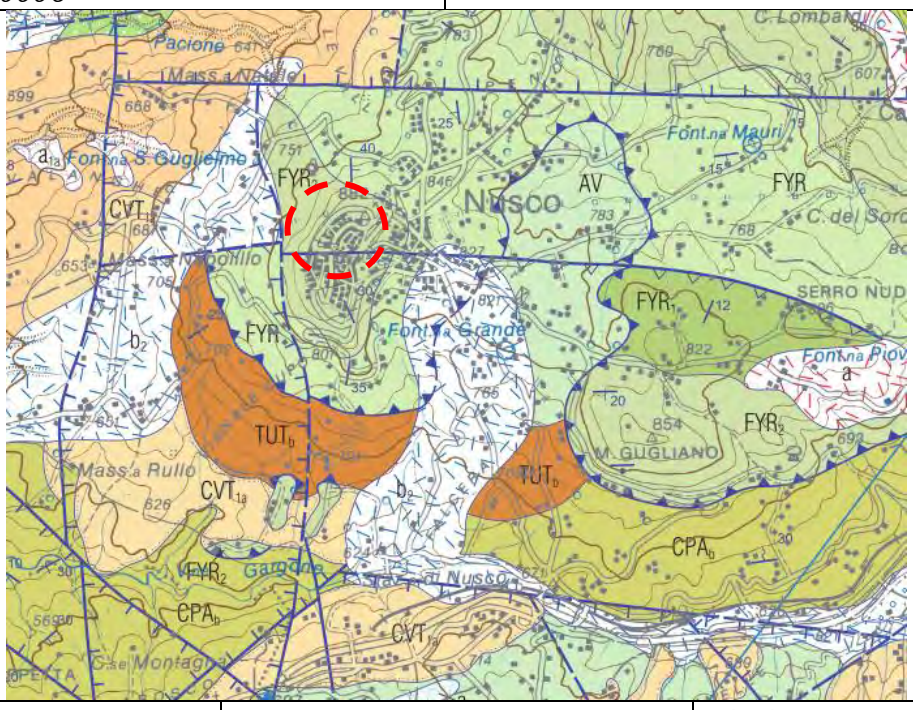
VISTI E APPROVAZIONI

COMUNE DI NUSCO

Provincia di Avellino

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA MODELLAZIONE SISMICA

OGGETTO:	*COMMITTENTE:*
INTERVENTI DI SICUREZZA SISMICA DEL CAMPANILE E DELLA CHIESA CONCATTEDRALE DI SANT'AMATO - NUSCO (AV) *CUP F76J22000040006*	Comune di Nusco (Av) ARCIDIOCESI di SANT'ANGELO dei Soprintendenza ABAP di Salerno ed Avellino



CODICE ELABORATO:	FILE:	DATA:
RG_14_24	RG_14_24.doc	Ottobre 2024

Costantino VETRONE
GEOLOGO

Geol. Costantino Vetrone -Via Dante Alighieri,2 - Cautano (BN) - Tel: +39 320 884 4674, e-mail: costantino.vetrone@pec.it

- **PREMESSA E QUADRO NORMATIVO**
- **UBICAZIONE DEL SITO E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO**
- **INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOSISMICO**
- **INDAGINI ESEGUITE**
- **CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DEI TERRENI**
- **CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI – MODELLO GEOTECNICO DEL VOLUME SIGNIFICATIVO**
- **CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO**

PREMESSA E QUADRO NORMATIVO

La presente indagine geologica è stata redatta in conformità al D.M. 17/01/2018.

In particolare, si pone in evidenza quanto indicato dalla normativa in merito alle finalità e ai contenuti della relazione geologica.

D.M. 17/01/2018:

Paragrafo 6.1.2: PRESCRIZIONI GENERALI.

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, ***devono essere esposti in una specifica relazione geologica*** di cui al § 6.2.1.**.**

D.M. 17/01/2018:

Paragrafo 6.2: ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO.

Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici deve articolarsi nelle seguenti fasi:

1. ***caratterizzazione e modellazione geologica del sito;***
2. *scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche;*
3. *caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo;*
4. definizione delle fasi e delle modalità costruttive;
5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni;
6. programmazione delle attività controllo e monitoraggio.

D.M. 17/01/2018:

Paragrafo 6.2.1: CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della strutturadel sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

Ciò premesso, in accordo con il progettista strutturale, si sono estesi i contenuti del presente studio affinché esso potesse definire il modello geotecnico del terreno interessato dalle opere secondo il citato D.M. 17/01/2018. A tale scopo, in relazione alla tipologia di intervento ed al contesto geologico di riferimento, si sono realizzate specifiche indagini che hanno permesso, oltre che alla definizione del modello geologico *"strictu sensu"*, la parametrizzazione geotecnica del volume significativo di terreno e la definizione dei parametri geotecnici caratteristici di riferimento per la progettazione. Le opere in progetto sono state inserite in profili stratigrafici con correlazioni fra i diversi punti sondati durante la campagna di indagini. Analogo procedimento è stato svolto per la definizione della risposta sismica di sito e l'attribuzione al sito della categoria di sottosuolo prevista dal D.M. 17/01/2018.

In particolare, in relazione a quanto previsto nei paragrafi 3.2 e 7.11.2 delle NTC, verranno considerati i seguenti aspetti:

1. descrizione delle opere e degli interventi
2. problemi geotecnici e scelte tipologiche
3. descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche e geofisiche
4. caratterizzazione della pericolosità sismica di base del sito oggetto dell'intervento
5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite
6. caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce, definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici
7. caratterizzazione della stabilità del sito
8. approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici
9. metodi di analisi e verifica
10. risultati delle analisi e loro commento.

In definitiva il presente studio geologico è stato articolato secondo le seguenti fasi:

- raccolta di materiale bibliografico di riferimento ed indagini di carattere storico eseguite in un intorno significativo dell'area;
- rilevamento geologico di superficie ed esame delle litologie affioranti estesi ad un intorno significativo rispetto al progetto in essere;
- modellazione geologica preliminare;
- programmazione ed esecuzione di indagini geognostiche e geotecniche in relazione al tipo di intervento, al volume significativo ed al modello geologico preliminare;
- elaborazione dati acquisiti e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
- indagini geofisiche e risposta sismica di sito;
- modellazione geologica del sito e modellazione geotecnica del volume significativo;

SINTESI QUADRO NORMATIVO:

- Decreto Ministeriale 14/01/2018 – Testo unitario – Norme tecniche per le Costruzioni
- Regolamento Regionale n.4/2010
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare 02/02/2009 – istruzione per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008
- Eurocodice 7.1 (1997) Progettazione geotecnica – parte I – regole generali - UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) Progettazione geotecnica – parte II – Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) Progettazione geotecnica – parte II – Progettazione assistita con prove in sito- UNI
- Eurocodice 8 (1998 – stesura finale 2003) indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte V – Fondazioni strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e succ. mod. ed int.
- D.G.R. Campania 5447 del 07/11/2002 e succ. mod. ed int.
- D.M. 16/01/1996 e succ. mod. ed int.
- D.M. 11/03/1988 e succ. mod. ed int.
- L.R. del 07/01/1983 n. 9 e succ. mod. ed int.
- Legge dello Stato del 02/02/1974 n. 64 e succ. integr. e mod

UBICAZIONE DEL SITO E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

L'area oggetto di studio ricade nel settore centrale della Tavoletta n.26 (Montella) del Foglio 186 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:25.000 e nella porzione centro-orientale dell'elemento n.450104 (Nusco) della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 del aggiornata al 2019.
In particolare l'area oggetto dell'intervento è ubicata nella porzione orientale del centro storico, ad una quota di ca. 890 m slm. Il centro storico si sviluppa con andamento grossomodo N-S e bassi valori clivometrici seguendo l'andamento di un grosso blocco olistolitico calcareo, sulla sommita di un pendio che, di contro, è limitato da versanti con inclinazione media di ca. 20°.

Inquadramento area oggetto di indagine su DTM Google Earth Pro- Anno 2018

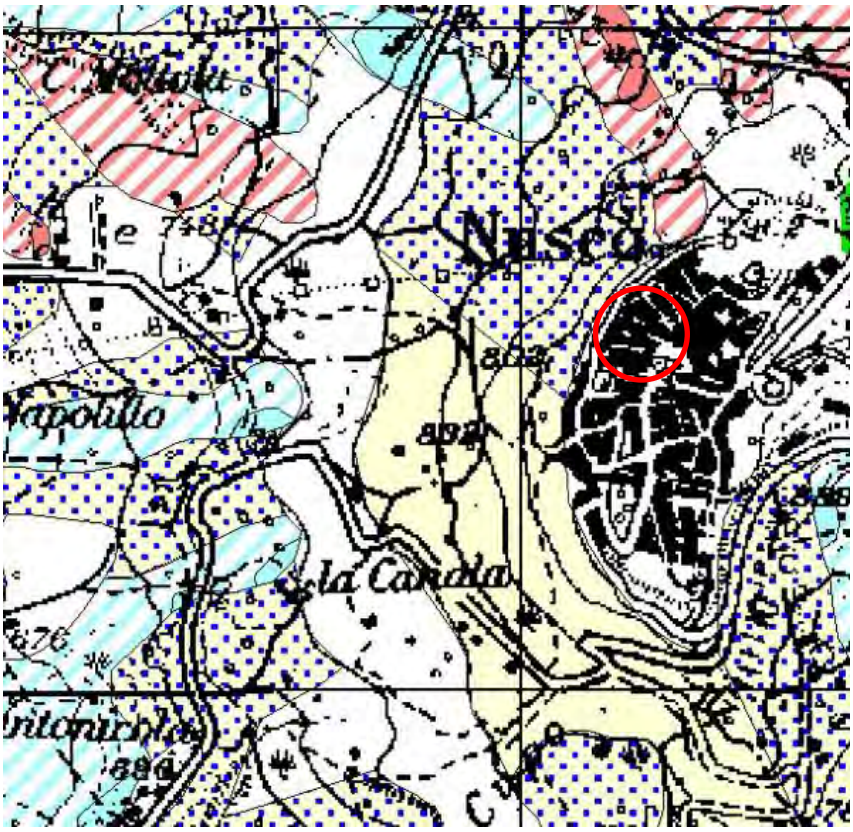
Le coordinate del sito sono le seguenti, riferite all'ellissoide ED50, sistema di riferimento per la carta di pericolosità dell'INGV:

- **Latitudine:** ϕ_{ED50} **40,88879°**
- **Longitudine:** λ_{ED50} **15,08573°**

L'opera ricade nella classe d'uso **III** secondo quanto indicato nel par. 2.4.2 delle NTC – 18, cui corrisponde un coefficiente d'uso Cu=1.5 con una vita nominale prevista Vn≥50 anni.
Le azioni simiche sulla costruzione sono pertanto riferite ad un periodo Vr = Vn x Cu = 75 anni (cfr. NTC – 18 – eq. 2.4.1).

Per quanto attiene il Piano di Assetto Idrogeologico della competente AdB ex Liri-Garigliano Volturno (ora Distretto dell'Appennino Meridionale), il lotto è escluso dalle aree a rischio idrogeologico ricadendo in zona bianca.

In tali aree, dunque, gli interventi progettuali sono consentiti senza prescrizioni particolari.



Stralcio carta del Rischio Frana del PAI con indicazione dell'area di intervento

Stato di fatto e interventi in progetto

Il progetto prevede l'intervento di messa in sicurezza sismica del ***Campanile della Chiesa Concattedrale di Sant'Amato – Nusco (Av) -*** CUP F76J22000040006 - Soggetto Attuatore Esterno: Arcidiocesi di Sant'Angelo dei Lombardi – Conza – Nusco - Bisaccia, finanziato dal Ministero della Cultura (Decreto della Segreteria Generale del Ministero della Cultura n. 455 del 07/06/2022) sui fondi del PNRR – *missione 1 – digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura, componente 3 – cultura 4.0 (M1C3), misura 2 "rigenerazione di piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale, investimento 2.4: "Sicurezza sismica nei luoghi di culto, restauro del patrimonio culturale del FEC e siti di ricovero per le opere d'arte (RECOVERY ART)" – linea d'azione n.1 sicurezza sismica nei luoghi di culto, torri e campanili*, per l'importo complessivo di € 2.900.000,00.

Come appare allo stato attuale la Cattedrale di Nusco presenta caratteri e stile prettamente settecenteschi. Eppure le sue origini risalgono alla seconda metà del sec. XI, anche se delle testimonianze romaniche quasi nulla rimane. Solo la cripta e la composita facciata, con l'imponente campanile, dimostrano una vetustà che va molto al di là del sec. XVIII.

L'impianto è a croce latina con tre navate, di cui quella principale e due laterali, oltre alle cappelle votive annesse a queste ultime. La navata centrale ha un soffitto piatto, raccordato con le pareti verticali, mentre quelle laterali presentano volte a botte; le cappelle laterali, poi, presentano volte a crociera. Le strutture verticali che separano le navate sono costituite da solidi pilastri, sormontati da archi a tutto sesto. Sopraelevato di tre scalini è l'ampio transetto dove si trova il presbiterio con l'altare maggiore e la cattedra episcopale. Il presbiterio è separato dalla navata centrale da transenne di marmo traforato e intarsiato su cui si innalza l'arco trionfale. Attualmente la copertura è continua, con due ampi spioventi che hanno colmato il salto di quota, e, pertanto, la navata centrale risulta alquanto oscura. Il presbiterio è illuminato da un lucernario sistemato al centro di un'alta cupola ribassata ed ellittica; l'ambiente del coro è sistemato nella sezione centrale della grande abside trilobata leggermente modificata rispetto alla struttura originaria. Sul lato opposto, in fondo alla navata centrale e sopra la porta principale di ingresso, verso il 1890 fu collocato un

moderno e grande organo in sostituzione di quello settecentesco che si trovava sopra il coro. In quell'occasione fu chiuso un grande finestrone di stile barocco (che aveva sostituito, forse, un antico rosone) che esisteva in facciata per dar luce alla navata centrale [riaperto nuovamente nel 1999).
Sul lato destro, a ridosso del transetto, con un'ampia scala rifatta nel 1740, si scende nella cripta di stile romanico di transizione, probabilmente del sec. XIII, con volte a crociera e arcate a sesto acuto depresso poggianti su sette colonne in pietra piuttosto basse e tozze, tutte ricoperte di intonaci e stucchi settecenteschi. La cripta, a differenza di tutte le chiese romaniche, copre soltanto una parte, quasi la metà dell'area dell'intero transetto. Si è del parere che l'altra metà fu chiusa nel secondo decennio del sec. XVI per ragioni che non è dato sapere. E' certo che sotto il coro fu ricavato l'ambiente per la tomba dei De Gianvilla (1522) e, sul lato nord, il sepolcro dei vescovi.

Figura – Torrino dell'orologio e campanile

Il campanile fa parte integrante della facciata e presenta tre ordini con la sua altezza di circa 33 metri. Sull'angolo nord della stessa facciata nel secolo scorso fu eretta la torretta dell'orologio.

Figura – Foto aerea del tessuto urbano con individuazione del manufatto oggetto di intervento

Il manufatto oggetto di intervento riporta fenomeni evidenti di disconnessione lapidea, rotazione dei paramenti murari, fenomeni di schiacciamento, infiltrazioni e insufficienti interventi di presidio statico degli elementi di maggiore esposizione agli effetti sismici (timpano, campanile).

In particolare si riscontrano:

a) Criticità di ordine strutturale e di incolumità pubblica: Il quadro fessurativo rilevabile è esiguo e presenta elementi di rilievo solo nelle zone di connessione del prospetto principale con le pareti laterali, fenomeni di schiacciamento al piede delle strutture della cappella di S. Amato sul lato nord, nei sott'archi dei rampanti delle scale della torre campanaria e nelle colonne della cripta. I fenomeni di distacco dei corpi murari esterni longitudinali con quello trasversale di prospetto sono evidenti e da imputare certamente alla diversità tecnologica ma anche all'imperizia degli interventi posti in essere a seguito del sisma realizzati con materiali incongruenti con quelli presenti nella struttura. Altro elemento di preoccupazione, derivante dalla propria configurazione geometrica e costruttiva, è il frontone curvo del prospetto, già presidiato da tiranti sul proprio asse verticale centrale che però è evidentemente insufficiente a rispondere ad eventuali future sollecitazioni sismiche, in quanto non costituisce un vero e proprio "trattenimento" della intera "vela lapidea" del timpano.

Va condotta anche una attenta verifica della stabilità degli ancoraggi di tutti gli elementi sovrapplicati di maggiore pericolosità: l'impalcato metallico della torre dell'orologio, le croci sommitali, le lapidi sovrapposte, etc. Inoltre occorre verificare le strutture che sorreggono le campane, che inducono sollecitazioni alle murature.

Di recente un intervento dei vigili del fuoco ha operato la medesima verifica con conseguente intervento provvisionale, sulla croce sommitale del campanile.

Figura – Documentazione fotografica intervento messa in sicurezza della croce del campanile da parte dei Vigili del Fuoco.

I fenomeni di schiacciamento presenti su alcuni conci del paramento murario della cappella a sud dedicata al patrono, situata di fianco al campanile, lasciano supporre che trattandosi di corpo aggiunto e forse anche a causa delle infiltrazioni d'acqua al piede dell'edificio, tale struttura stia soffrendo di una eccessiva compressione al piede dei suoi elementi determinato dall'eccessivo carico generatosi da qualche cedimento fondazionale.

b) Criticità di ordine tecnologico: Il sistema delle coperture, aula, cupola, torrino piano dell'orologio, cupolino del campanile presente diverse tracce di interventi di riparazione, tuttavia in più punti ognuno di questi elementi presenta criticità e suggerisce un approccio radicale soprattutto nella risoluzione delle connessioni/raccordo tra le parti, nella confluenza e nella raccolta delle acque.

Figura – Manto di copertura della chiesa

c) Criticità di ordine biologico: L'aspetto che prima di tutti salta all'occhio è la presenza frequente vegetazione infestante sulla facciata (parietarie) che trovano ambiente vegetativo florido tra i conci lapidei per via delle commessure aperte e per i depositi terrosi sui cornicioni e le cavità numerose presenti. Alle connessioni murarie della facciata principale con quelle laterali si ravvisa una evidente sconnessione tra i due corpi, causato certamente dalla eterogeneità degli elementi costruttivi sedimentatasi storicamente ma aggravata dagli inserimenti dei cordoli in cemento armato degli interventi post sisma 1980. Il cantonale dell'orologio presenta una evidente rotazione verso l'esterno. Andrebbe verificata l'esposizione degli interpiani della torre campanaria agli agenti meteorici, in particolare rispetto al convoglio delle acque meteoriche verso l'esterno.

Figura – Degrado superficiale e strutturale del cantonale dell'orologio

Il degrado degli intonaci e delle decorazioni a stucco per infiltrazioni di acqua è presente in più punti, in corrispondenza delle alte finestre, ma anche nei cantonali e agli attacchi a terra.

Figura – Degrado superficiale degli elementi decorativi interni a stucco

Si rimanda al progetto per un maggiore approfondimento dello stato di conservazione e delle criticità strutturali del manufatto oggetto di intervento.

Obiettivi e finalità dell'intervento di sicurezza sismica

L'obiettivo è migliorare la sicurezza sismica mediante **interventi strutturali**, finalizzati a ripristinare e/o migliorare la risposta sismica della struttura portante, che già evidenzia dissesti, distacchi di materiale lapideo ed un quadro fessurativo dovuto probabilmente a locali cedimenti fondali ed alle sollecitazioni delle campane.

Il "Codice dei beni culturali e del paesaggio", Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, per quanto attiene agli interventi sui beni tutelati, stabilisce all'articolo 29 del Codice, al comma 4 che, per i beni immobili situati nelle zone dichiarate soggette a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'**intervento di miglioramento strutturale**, ed è in ogni caso possibile limitarsi al miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

A tal fine è fondamentale la conoscenza storica strutturale della costruzione e le indagini conoscitive dovranno concentrarsi sulla geometria degli elementi strutturali, sulle tecniche costruttive utilizzate, sulle caratteristiche meccaniche dei materiali e sui fenomeni di dissesto e di degrado in atto, che consentono la determinazione di fattori di confidenza elevati, da utilizzare per la valutazione della sicurezza sismica ante e post intervento; dovrà essere cura e premura dei tecnici incaricati redigere e presentare entro il termine previsto nel cronoprogramma l'elaborato "Piano di indagine" per ottenere l'autorizzazione della competente Soprintendenza ad eseguire le prove necessarie.

La valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi di miglioramento sismico dovranno essere eseguiti ai sensi del punto 8.4 delle NTC 2018 - D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8) Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni e della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5) Istruzioni per l'applicazione dell' Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Come previsto dal Disciplinare operativo per l'esecuzione degli interventi - PNRR – M1C3 – Investimento 2.4 "Sicurezza sismica nei luoghi di culto, torri/campanili", fermo restando il rispetto delle norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasposti 17 gennaio 2018 e della circolare del C.S.LL.PP 21 gennaio 2019, n. 7, il progettista incaricato, nella definizione degli interventi di sicurezza sismica e nella redazione del progetto, tiene conto delle "Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008)"di cui alla circolare del Segretario generale del MiC n. 26 del 2/12/2010, per quanto compatibile con le suddette NTC 2018.

Per quanto attiene ai principi ed ai criteri di intervento per la riduzione della vulnerabilità sismica e la valutazione della sicurezza, il progettista incaricato farà altresì riferimento alla circolare del Segretario generale del Mibact n. 15 del 30/04/2015 e al più recente documento "La sicurezza sismica degli edifici di interesse culturale", approvato dal Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione nei territori interessati dagli eventi sismici verificatesi a far data dal 24 Agosto 2016, con decreto n. 456 del 3/10/2022, segnatamente ai paragrafi 5.1 .1 , 5.1.2, 5.1.3.

Individuazione dei principali interventi

In questa fase si vuole porre maggiore attenzione a quegli elementi che per la configurazione architettonica del monumento rilevano essere eccessivamente vulnerabili e di conseguenza altamente pericolosi per la incolumità pubblica: ossia il campanile, che per configurazione, svetta considerevolmente rispetto alla linea di colmo della facciata; al timpano circolare, praticamente una parete in pietra libera su tutti i lati, paramento scenografico, che trova oggi scarso riscontro nei tiranti in acciaio che vincolano la sola linea di raggio verticale. La calottina del campanile, in cui già di recente si è richiesto l'intervento dei vigili del fuoco, che manifesta fenomeni di espulsione dei conci lapidei ed ha modificato, per le deformazioni occorse, lo sviluppo geometrico a sesto centro della cupola.

Le opere necessarie al miglioramento della sicurezza sismica del manufatto sono divise in due lotti funzionali: il primo afferente le opere di restauro e consolidamento della struttura e il secondo afferente le attività di restauro degli apparati artistici e decorativi, consequenziali all'esecuzione dei lavori afferenti al lotto strutturale.

A livello grafico vengono riportate le aree in cui operare gli interventi di miglioramento strutturale ed approfondire le indagini conoscitive nelle due fasi di progettazione:

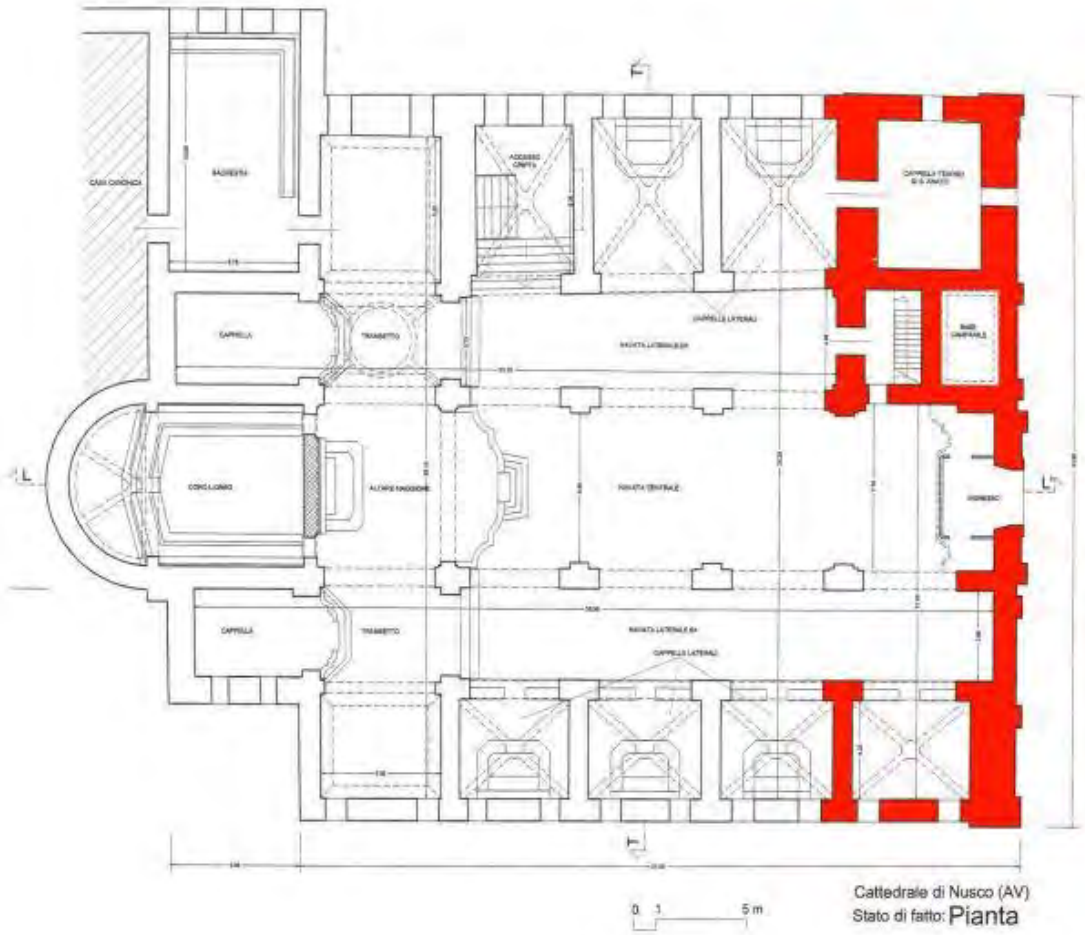


Figura – Pianta della chiesa Concattedrale con individuazione dell'ambito di intervento

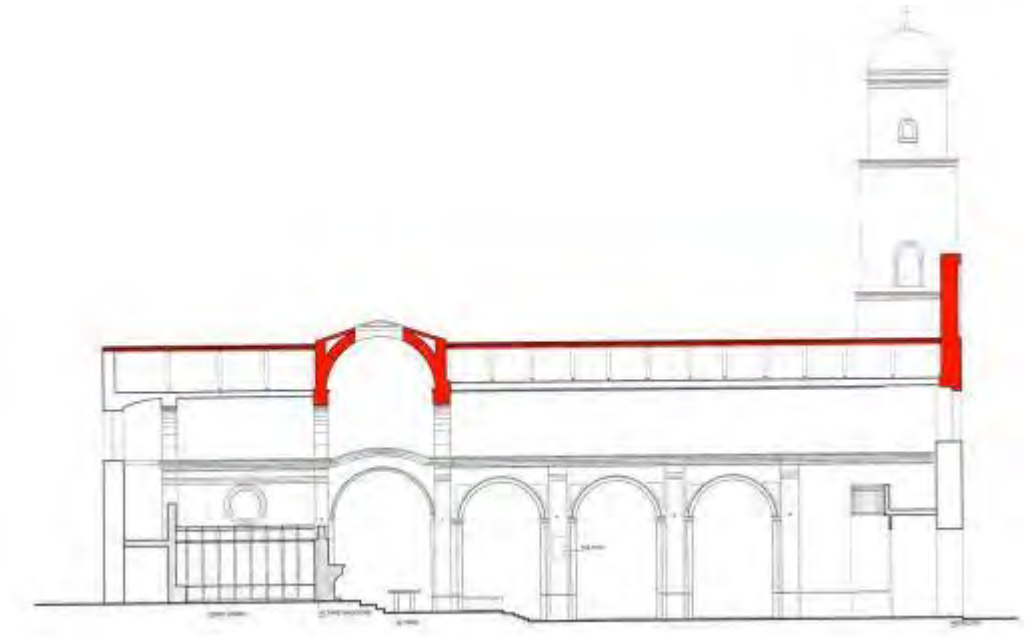


Figura – Sezione longitudinale della chiesa Concattedrale con individuazione dell'ambito di intervento

I rilievi espletati all'interno dei piani interrati della concattedrale hanno confermato che le fondazioni in muratura esistenti sono radicate sull'ammasso roccioso affiorante ed incastrate ad esso mediante un tipico pattern a pettine che, di fatto, garantisce continuità e adesione tra fondo calcareo e muri di costruzione.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOSISMICO GENERALE

Inquadramento geologico.

Dal punto di vista geologico il comprensorio in esame ricade nel settore centrale del Foglio n.186 (Sant'Angelo dei Lombardi) della Carta Geologica d'Italia ed è situato ad sud-est rispetto al margine orientale dei rilievi carbonatici del Gruppo dei Monti Picentini appartenenti all'Unità Alburno-Cervati afferente alla Piattaforma Campano-Lucana, interessata nel Miocene inferiore da una tettonica compressiva che ha provocato l'accavallamento di tale Unità strutturale sulle Unità Lagonegresi, a loro volta impostate sulle Unità della Piattaforma Abruzzese-Campana.

Durante le successive fasi di sollevamento della catena Appenninica si è avuto il sovrascorrimento (Langhiano), al di sopra della piattaforma carbonatica, del complesso delle Argille Varicolori, nota anche come Unità Sicilide. Nel corso del sollevamento dei rilievi appenninici vi fu inoltre la deposizione di sedimenti terrigeni, costituiti da alternanze di arenarie e marne (tecnicamente definiti flysch), derivanti dal progressivo smantellamento delle dorsali montuose in sollevamento. Tali sedimenti costituiscono le così dette Unità Irpine (Langhiano-Tortoniano) che dunque derivano dalla deformazione, nel Tortoniano, di un bacino a sedimentazione torbiditica impostasi nel Langhiano ai margini della Piattaforma campano-Lucana mentre essa, già interessata dalla fase tettonica e deformata, si accavallava insieme alle Argille varicolori sui domini più esterni e sullo stesso bacino. Questa unità è rappresentata in zona dal Flysch di Castelvetere, derivante dalla deformazione nel Tortoniano della successione terrigena depostasi nella zona occidentale del Bacino Irpino suddetto.

Su tale contesto paleomorfologico si è quindi instaurata la morfogenesi quaternaria, caratterizzata da estesi processi erosivi e deposizionali, e quella vulcanica, rappresentata nell'area dai prodotti piroclastici delle attività degli apparati vulcanici dei Campi Flegrei, del Somma-Vesuvio e del Vulture che hanno modellato l'attuale morfologia addolcendo i versanti e colmando le depressioni.

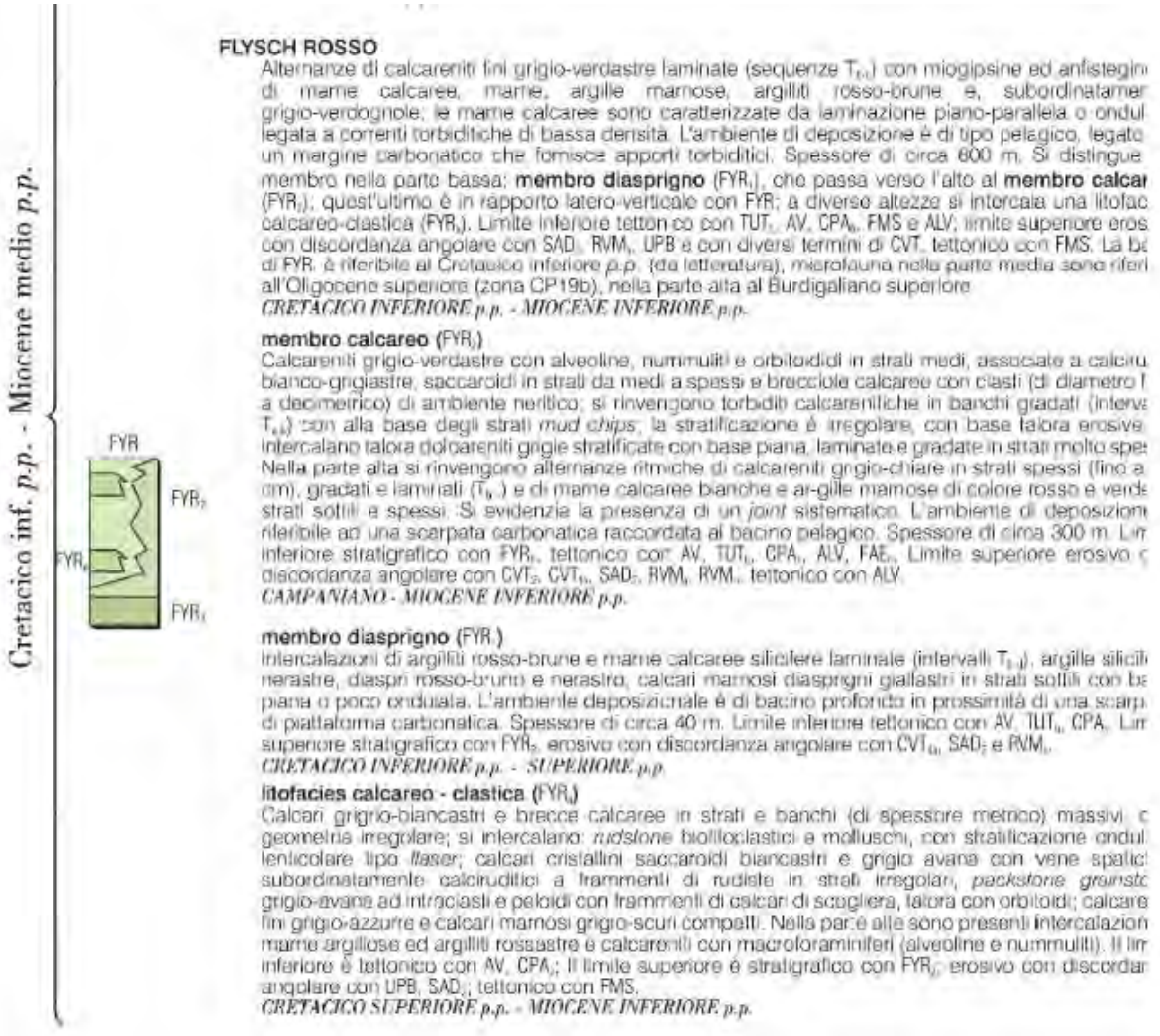
In tale quadro geologico regionale si inserisce il territorio comunale di Nusco che, pertanto, presenta un assetto geologico-strutturale estremamente complesso ed articolato, risultato dell'accostamento ed accavallamento delle diverse unità precedentemente descritte. All'interno del territorio comunale è dunque possibile distinguere diverse formazioni che, secondo gli studi più recenti (progetto CARG), afferiscono, talora in maniera non del tutto univoca, alle seguenti unità, affioranti estesamente nel territorio irpino, che si distinguono dalla più antica alla più recente in:

1. UNITA' DELLA PIATTAFORMA CAMPANO LUCANA (Formazioni calcaree);
2. UNITA' FRIGENTO – LAGONEGRO II (Flysch rosso);
3. UNITA' SICILIDE (Argille Varicolori);
4. UNITA' DEL FORTORE (Tufiti di Tusa);
5. UNITA' IRPINA (Flysch di Castelvetere);
6. DEPOSITI QUATERNARI RECENTI (coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali).

Limitandosi all'esame della zona in esame l'area risulta condizionata dalla presenza di terreni afferenti all'Unità di Lagonegro II in facies di flysch costituiti essenzialmente dal membro litoide di natura calcarenitica intervallati da livelli calcareo marnosi estremamente fratturati ad affinità brecciode. Tali terreni appartenengono alla formazione del Flysch Rosso (Oligocene – Cretacico Sup.) e sovrascorrono terreni tardorogeni afferenti all'Unità di Altavilla-Villamaina (Pliocene Inf. – Tortoniano Sup.) la quale può essere identificata da un complesso molassico costituito da depositi terrigeni i quali localmente affiorano in facies prevalentemente marnoso-calcarea e subordinatamente litarenitica. Alcuni autori (progetto CARG) individuano quest'ultimo complesso come più antico e di affinità sicilide dividendolo in due membri eteropici, formazione di Corleto Perticara e formazione delle Tufiti di Tusa sovrascorsi sempre dal Flysch Rosso ed aventi un'associazione litologica a luoghi equivalente a quella dell'Unità di Altavilla-Villamaina. In entrambi i casi i terreni in questione sono ricoperti da una coltre di alterazione superficiale avente spessore superiore al metro aventi caratteristiche granulometriche affini ai depositi ghiaioso-sabbiosi.

In particolare nel sito di interesse, come visibile da numerosi affioramenti, che intercettano il p.c. al di sotto dell'edificato, affiorano terreni costituiti da calcareniti brune compatte a grana medio-grossolana con poche fratture riempite da vene di calcite.

Su tali terreni è stato eseguito un rilievo geomeccanico per definirne le proprietà geotecniche.



FLYSCH ROSSO

Alternanze di calcareniti fini grigio-verdastre laminate (sequenze T_{c-e}) con miogipsine ed anfistegin di marne calcaree, marne, argille marnose, argilliti rosso-brune e, subordinatamer grigio-verdognole; le marne calcaree sono caratterizzate da laminazione piano-parallela o ondul legata a correnti torbiditiche di bassa densità. L'ambiente di deposizione è di tipo pelagico, legato un margine carbonatico che fornisce apporti torbiditici. Spessore di circa 600 m. Si distingue membro nella parte bassa: **membro diasprigno** (FYR_1), che passa verso l'alto al **membro calcar** (FYR_2); quest'ultimo è in rapporto latero-verticale con FYR; a diverse altezze si intercala una litofac calcareo-clastica (FYR_3). Limite inferiore tettonico con TUT_1, AV, CPA_1, FMS e ALV; limite superiore eros con discordanza angolare con SAD_1, RVM_1, UPB e con diversi termini di CVT, tettonico con FMS. La ba di FYR. è riferibile al Cretacico inferiore *p.p.* (da letteratura), microfauna nella parte media sono riferi all'Oligocene superiore (zona CP19b), nella parte alta al Burdigaliano superiore

CRETACICO INFERIORE p.p. - MIOCENE INFERIORE p.p.

membro calcareo (FYR_2)

Calcareniti grigio-verdastre con alveoline, nummuliti e orbitoidi in strati medi, associate a calcaru bianco-grigiastre, saccaroidi in strati da medi a spessi e brecciole calcaree con clasti (di diametro f a decimetrico) di ambiente neritico; si rinvengono torbiditi calcarenitiche in banchi gradati (interv T_{a-b}) con alla base degli strati *mud chips*; la stratificazione è irregolare, con base talora erosive intercalano talora dolcareniti grigie stratificate con base piana, laminate e gradate in strati molto spes Nella parte alta si rinvengono alternanze ritmiche di calcareniti grigio-chiare in strati spessi (fino a cm), gradati e laminati (T_{a-b}) e di marne calcaree bianche e argille marnose di colore rosso e verd strati sottili e spessi. Si evidenzia la presenza di un *joint* sistematico. L'ambiente di deposizion riferibile ad una scarpata carbonatica raccordata al bacino pelagico. Spessore di circa 300 m. Lim inferiore stratigrafico con FYR_1, tettonico con AV, TUT_1, CPA_1, ALV, FAE_1. Limite superiore erosivo c discordanza angolare con CVT_2, CVT_3, SAD_2, RVM_2, RVM_3, tettonico con ALV.

CAMPANIANO - MIOCENE INFERIORE p.p.

membro diasprigno (FYR_1)

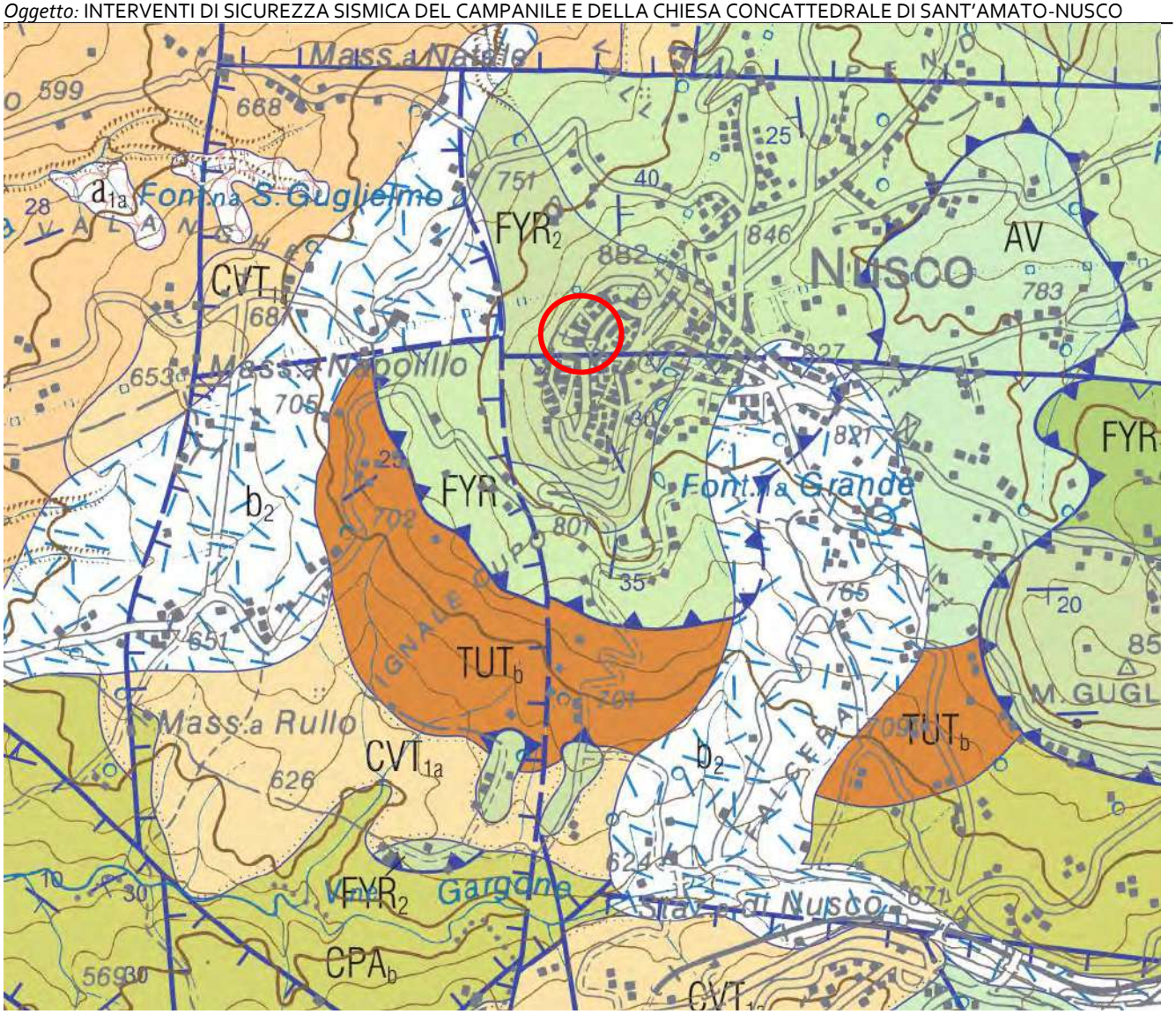
Intercalazioni di argilliti rosso-brune e marne calcaree silicifere laminate (intervalli T_{c-e}), argille silicif nerastre, diaspri rosso-bruni e nerastri, calcari marnosi diasprigni giallastri in strati sottili con ba piana o poco ondulata. L'ambiente deposizionale è di bacino profondo in prossimità di una scarp di piattaforma carbonatica. Spessore di circa 40 m. Limite inferiore tettonico con AV, TUT_1, CPA_1, Lim superiore stratigrafico con FYR_2, erosivo con discordanza angolare con CVT_3, SAD_2 e RVM_3.

CRETACICO INFERIORE p.p. - SUPERIORE p.p.

litofacies calcareo - clastica (FYR_3)

Calcari grigio-biancastri e breccie calcaree in strati e banchi (di spessore metrico) massivi c geometria irregolare; si intercalano: *rudstone* bioliticlastici e molluschi, con stratificazione ondul lenticolare tipo *flaser*; calcari cristallini saccaroidi biancastri e grigio avana con vene spatic subordinatamente calciruditici a frammenti di rudiste in strati irregolari, *packstone grainsto* grigio-avana ad intraclasti e peloidi con frammenti di calcari di scogliera, talora con orbitoidi; calcare fini grigio-azzurre e calcari marnosi grigio-scuri compatti. Nella parte alta sono presenti intercalazion marne argillose ed argilliti rossastre e calcareniti con macroforaminiferi (alveoline e nummuliti). Il lim inferiore è tettonico con AV, CPA_1; il limite superiore è stratigrafico con FYR_2, erosivo con discordar angolare con UPB, SAD_2; tettonico con FMS.

CRETACICO SUPERIORE p.p. - MIOCENE INFERIORE p.p.



Inquadramento geomorfologico.

L'area di intervento è ubicata lungo la propaggine nord-occidentale della cresta su cui sorge il centro abitato. La quota del sito è di ca 885 m. slm.. I valori clivometrici medi alla scala del versante sono di ca. 20°, discostandovisi localmente laddove sono presenti balze rocciose affioranti (dove si raggiungono i 45°) e riporti antropici. Localmente la cresta montuosa prograda in direzione Nord-Ovest secondo un profilo di versante rettilineo che si raccorda ad una falda detritica basale, a sua volta impostata sui terreni limo-argillosi che costituiscono la parte bassa della successione sedimentaria. La zona di intervento si presenta completamente urbanizzata e fa parte del centro storico; essa risulta subpianeggiante alla scala delle probelmatiche di stabilità (cresta di un rilievo con pendio avente inclinazioni siginificative distante oltre 50 m) .

Il rilievo condotto ha evidenziato l'assenza di processi morfogenetici in atto anche per l'intensa urbanizzazione dell'area che ha permesso attraverso un sistema di scoli e cunette, la regimazione delle acque di ruscellamento superficiale. Non sono presenti morfologie di accumulo di fenomeni franosi pregressi.

L'area presenta dunque un buon grado di tranquillità geostatica. L'area del chiostro dove verrà realizzata la copertura ospita una cisterna avente un diametro di ca. 4m e profondità dal piano di calpestio di ca. 4m, la pianta è rettangolare (cfr. allegati – sezioni); non si rilevano ulteriori indizi circa la presenza di cavità sotterranee la cui presenza non può tuttavia escludersi considerando la natura litologica dei terreni affioranti soggetti a tanto a fenomeni carsici, tanto, nel passato, ad opere di raccolta delle acque tipo ulteriori cisterne.

L'assenza di fenomeni gravitativi è confermato dalla cartografia a corredo del Piano di Assetto idrogeologico elaborato dall'Autorità di Bacino Liri-Garigliano-Volturno che esclude l'area da quelle a rischio frana.

Inquadramento idrologico ed idrogeologico.

Il territorio comunale di Nusco si trova sulla linea di spartiacque che divide la porzione orientale dell'Appennino, che drena le sue acque verso il Mare Adriatico, da quella occidentale, che invece drena verso il Mar Tirreno. Questa particolare configurazione morfologica del territorio fa si che esistano due distinti bacini di alimentazione confluenti rispettivamente nel Fiume Calore e nel Fiume Ofanto.

L'idrografia del territorio comunale è fortemente condizionata dalle caratteristiche geolitologiche dei litotipi affioranti; infatti il grado di permeabilità complessivamente basso delle formazioni presenti favorisce il ruscellamento superficiale a discapito dell'infiltrazione che ha carattere prevalentemente stagionale. Le falde acquifere sono quindi poco profonde e la circolazione idrica, visto l'alternarsi di strati permeabili per porosità e per fatturazione con strati praticamente impermeabili, avviene per falde sovrapposte con l'acquifero di base, connesso alla circolazione idrica all'interno degli ammassi carbonatici sepolti sotto le formazioni più recenti, molto profondo.

Discorso opposto per il massiccio dolomitico-calcareo del Montagnone che, nonostante meno permeabile dei massicci calcarei strictu sensu, rappresenta un grosso serbatoio idrico naturale con una falda che drena in direzione delle sorgenti di Caposele.

Relativamente all'area di interesse si rileva i terreni affioranti costituiscono un acquifero estremamente eterogeneo ed anisotropo dal punto di vista idrogeologico caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea per fratturazione e carsismo che si localizza all'interno delle discontinuità a maggior persistenza e/o interconnesse. La posizione morfologica non permette l'instaurarsi di una vera e propria falda acquifera sino a profondità interferenti con l'opera essendo favoriti i fenomeni di infiltrazione e percolazione verso il basso (falda basale). La presenza di una cintura ad evidente contrasto di permeabilità costituita da terreni argillosi che sono posti alla base della successione sedimentaria (facies degli argilloscisti alla base della successione di Lagonegro II) porta alla presenza di diffuse emergenze sorgentizie al contorno del centro storico ubicate, preferenzialmente, lungo le rotture di pendenza. Tali sorgenti hanno carattere marcatamente stagionale connesso ai fenomeni di ricarica dell'acquifero ed alla sua volumetria relativamente ridotta. La maggiore di queste emergenze è rappresentata da Fontana Grande, sorgente per soglia di permeabilità sottoimposta all'acquifero, ubicata ad una quota di ca. 790 mt. slm e distante ca. 450 mt in direzione SO.

Inquadramento geosismico.

La sismicità della zona, attualmente catalogata in II categoria, in seguito ai dati ottenuti successivamente al sisma del 1980 è risultata intimamente collegata all'attività di diverse ed individuate "strutture sismogenetiche", linee tettoniche entro le quali, in profondità, sono ubicati i fuochi dei terremoti che nel passato hanno interessato l'area. In particolare la zona risente della presenza della cosiddetta "Faglia Sud – Appenninica", la quale è l orientata in direzione NW-SE e segue tutta la catena appenninica dal Molise sino alla Basilicata.

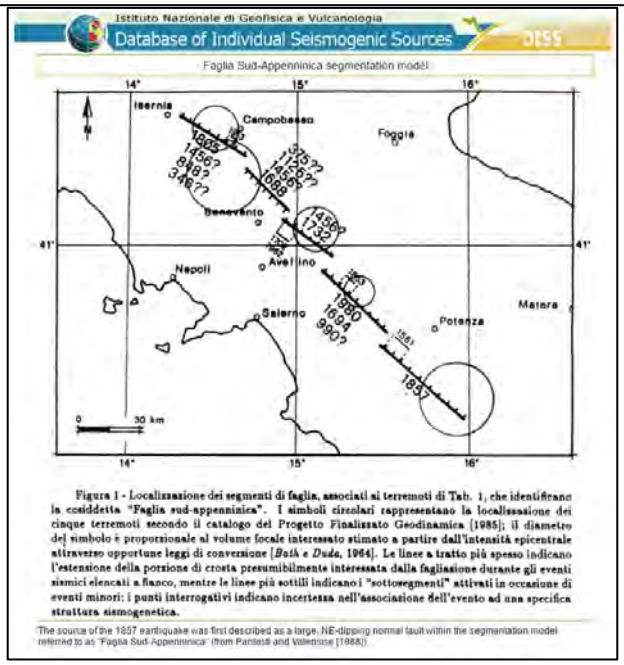
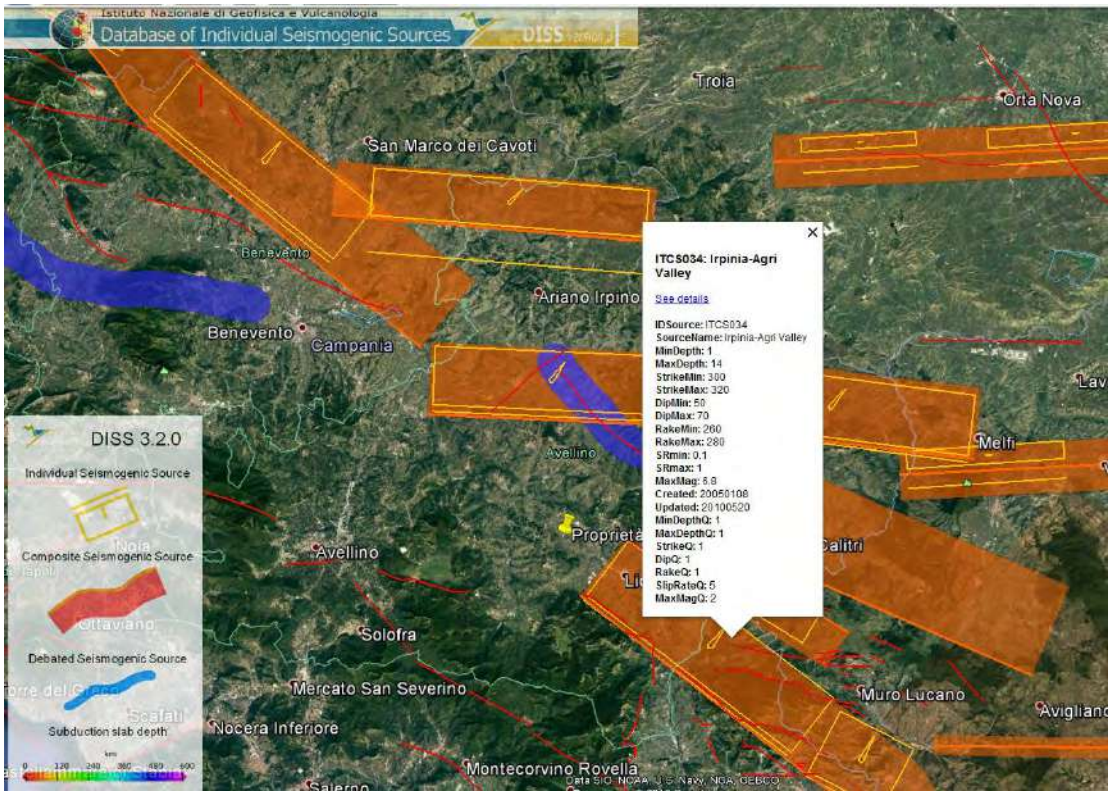


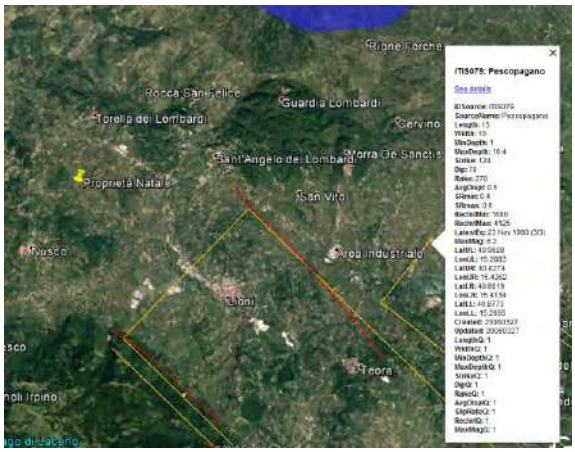
Figura 1 - Localizzazione dei segmenti di faglia, associati ai terremoti di Tab. 1, che identificano la cosiddetta "Faglia sud-appenninica". I simboli circolari rappresentano la localizzazione dei cinque terremoti secondo il catalogo del Progetto Finalizzato Geodinamica [1985]; il diametro del simbolo è proporzionale al volume focale interessato stimato a partire dall'intensità epicentrale attraverso opportune leggi di conversione [*Batà e Duda, 1964*]. Le linee a tratto più spesso indicano l'estensione della porzione di crosta presumibilmente interessata dalla fagliazione durante gli eventi sismici elencati a fianco, mentre le linee più sottili indicano i "sottosegmenti" attivati in occasione di eventi minori; i punti interrogativi indicano incertezza nell'associazione dell'evento ad una specifica struttura sismogenetica.

The source of the 1857 earthquake was first described as a large, NE-dipping normal fault within the segmentation model referred to as "Faglia Sud-Appenninica" (from Pantosti and Valensise [1988]).

All'interno della Faglia sud-appenninica si distingue la sorgente sismogenetica composita ITCS034 (Irpinia-Angri Valley) che rappresenta una regione allungata contenente diverse sorgenti sismiche individuali e la sorgente sismica composita ITCS 087 (Conza- Tolve).



All'interno di queste due sorgenti composite si individuano le sorgenti individuali ITIS077 (Colliano) e ITIS079 (Pescopagano) le quali dominano lo scenario sismico dell'area.

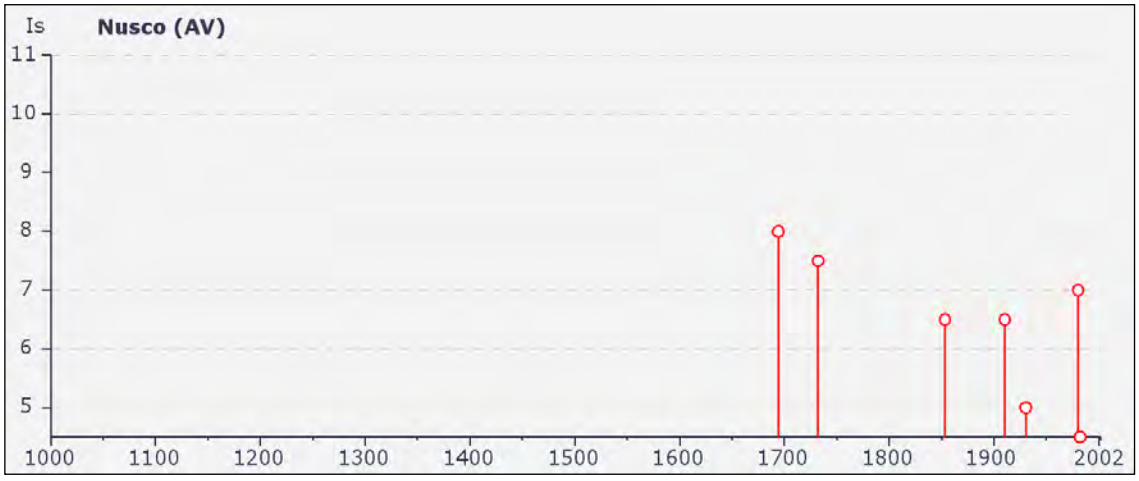


Il database macrosismico italiano curato dall' I.N.G.V. fornisce, per il Comune di Nusco, i seguenti risultati:

Storia sismica di Nusco (AV) [40.887, 15.085]

Osservazioni disponibili: 11

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw	Rt	Rt1
8	1694	09	08	11	40		Irpinia-Basilicata	10-11	6.87	CFTI	BOA997
7-8	1732	11	29	07	40		Irpinia	10-11	6.61	CFTI	BOA997
7	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	10	6.89	CFTI	BOA997
6-7	1853	04	09	12	45		Irpinia	9	5.90	CFTI	BOA997
6-7	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	8-9	5.87	CFTI	BOA997
5	1930	07	23		08		Irpinia	10	6.72	CFTI	BOA997
4-5	1982	08	15	15	09	54	VALLE DEL SELE	6	4.76	BMING	BMING
4	1982	03	21	09	44	2	MARATEA	7-8	5.20	CFTI	BOA997
4	1991	05	26	12	25	59	POTENTINO	7	5.22	BMING	BMING
4	1996	04	03	13	04	35	IRPINIA	6	4.92	BMING	BMING
3-4	1984	05	07	17	49	42	Appennino abruzzese	8	5.93	CFTI	BOA000

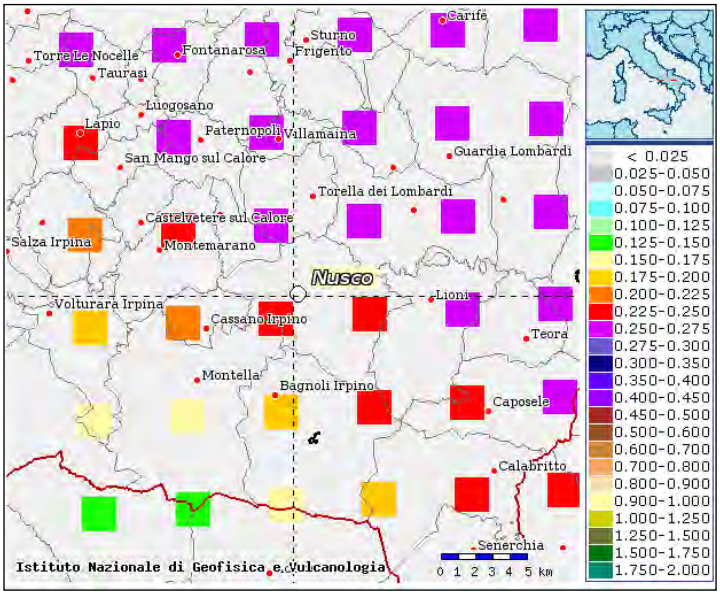


La tabella della storia sismica è ordinata per a) intensità al sito e per b) anno; l'area in basso è dedicata al diagramma della storia sismica, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4/5.

Dal punto di visto macrosismico la zonazione sismo genetica ZS9, che riprende ed in parte modifica la precedente macrozonazione ZS4 rappresenta il riferimento sismotettonico e geodinamico da cui vengono poi elaborate le mappe di pericolosità sismica su bedrock in tutto il territorio nazionale. All'interno della ZS9 le diverse zone sismotettoniche contenenti le sorgenti sismogenetiche sono indicate con un numero. In particolare l'appennino meridionaleè condizionato principalmente dalla zona sismogenetica 927 e in maniera minore dalle zone 925, 926 e 928.

La zona 927 include l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da ca. 0.7 Ma, ha interessato l'Appenino meridionale. La classe di profondità dei meccanismi focali è compresa tra 8-12 km per una magnitudo attesa massima non inferiore a 5.0 Md

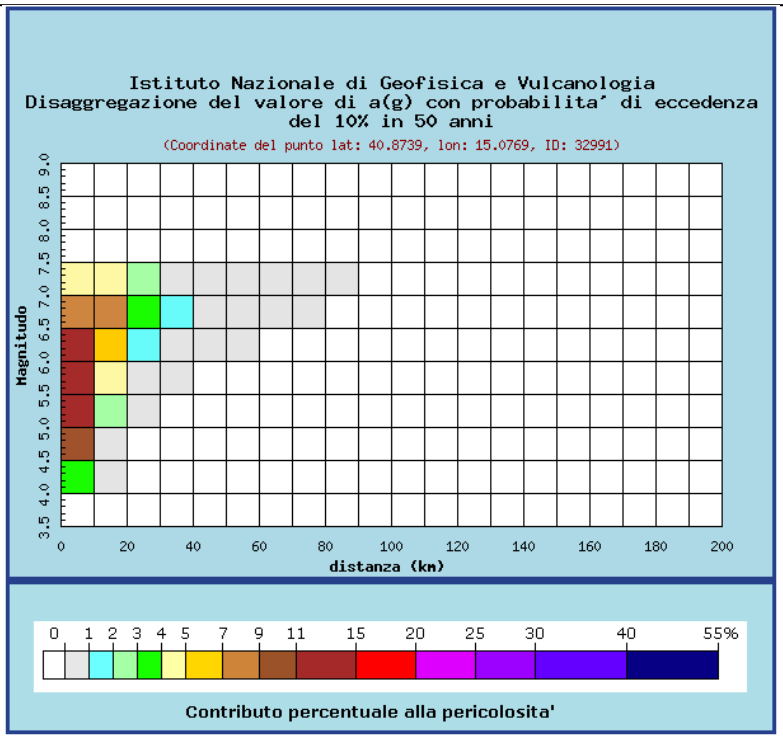
In particolare la PGA (Peak Ground Acceleration) attesa su bedrock risulta essere, per il Comune di Nusco, compresa tra 0.225g -0.250 g. Di seguito la mappa ed i valori su griglia con passo 0.05°:



Lo stesso INGV ha prodotto mappe di pericolosità per i 10 periodi spettrali per i quali erano disponibili le stesse relazioni di attenuazione nella mappa sopra riportata. I periodi spettrali sono compresi tra 0.1 e 2 secondi. Le stime di Se(T) sono state condotte per le stesse 9 probabilità di eccedenza in 50 anni per le quali è stato calcolato il valore di ag. Le mappe sono disponibili all'indirizzo: http://esse1.mi.ingv.it/d3.html .

Inoltre di particolare interesse risulta la consultazione dei grafici di disaggregazione del valore di A(g), ovvero dell'accelerazione attesa su suolo rigido in funzione della coppia Magnitudo-Distanza (distanza epicentrale) in quanto tali elaborati individuano una delle possibili cause di esclusione della verifica a liquefazione secondo quanto riportato dall NTC 2008.

Nel caso di specie si osserva che i valori medi sono i seguenti:



Valori medi		
Magnitudo	**Distanza**	**Epsilon**
6.000	9.910	0.687

Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. L'analisi di disaggregazione è stata condotta per l'intero territorio nazionale [INGV e DPC, 2007], per ciascuno dei vertici del reticolo già utilizzato per la definizione dei parametri della pericolosità sismica di base e in corrispondenza di differenti valori del periodi di ritorno.

Per ciascun nodo, i risultati sono stati restituiti in termini di distribuzioni M-R-ε (ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui un dato valore di scuotimento devia da quello mediano predetto dalla legge di attenuazione assegnata una coppia M-R) e, seguendo il suggerimento degli Autori [SPALLAROSSA e BARANI, 2008] che hanno sviluppato la procedura, è possibile assumere, come valore della magnitudo attesa, il valore più alto tra le media e la moda della distribuzione così ottenuta per il prefissato periodo di ritorno (475 anni), effettuando una scelta probabilmente poco cautelativa (del resto non esiste ancora un'indicazione specifica su quale percentile, ad esempio, assumere nella distribuzione).

In definitiva possono essere assunti come valori attesi della magnitudo media e della magnitudo moda (riferendosi ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) , quelli ottenuti dal processo di disaggregazione e associati alle rispettive distanze R così come illustrato di seguito:

Mmedia	**Rmedia**	**Mmoda**	**Rmoda**	**Comune**
6	10	6.75	5	Nusco

Per cui per il sito in esame è possibile, in via cautelativa, assumere un terremoto di progetto avente una magnitudo M=6,75. Tale terremoto domina lo scenario di pericolosità sismica locale per valori di a(g) su bedrock riferiti ad un periodo di ritorno di 475 anni.

Per quanto attiene la neotettonica e la possibile presenza di faglie attive si segnala che non ci sono indizi circa la riattivazione di faglie che possano interferire con l'area oggetto dei lavori. A tale scopo la consultazione del catalogo ITHACA delle faglie capaci ha escluso l'area in questione da quelle a rischio.

La presenza di un substrato relativo costituito da rocce calcaree relativamente compatte e l'esiguo spessore dei materiali di copertura, associato alle loro buone caratteristiche dinamiche, conferisce all'area ottime caratteristiche di rigidità nei confronti della risposta sismica locale per cui, in via del tutto preliminare, non si prevedono particolari fenomeni di amplificazione sismica.

INDAGINI ESEGUITE

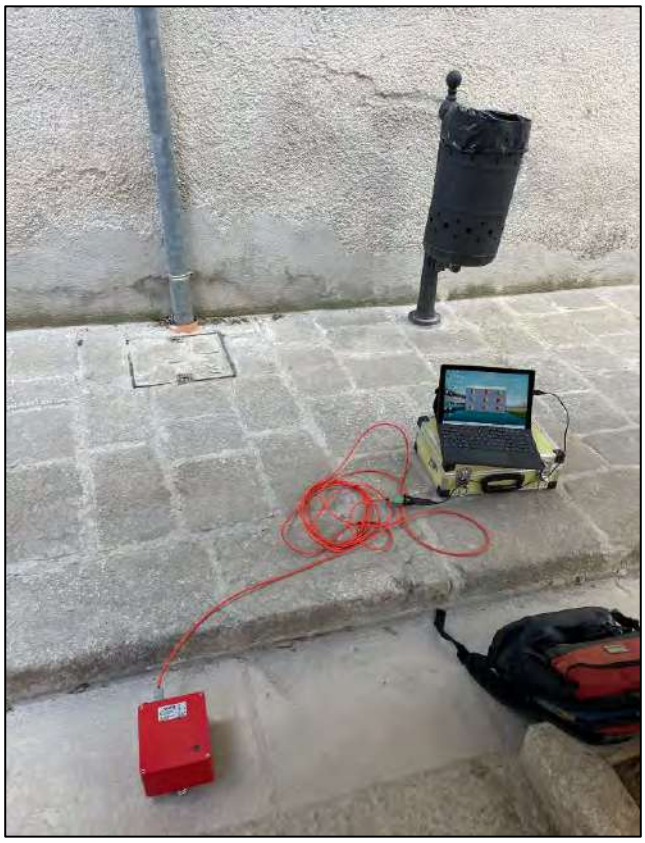
In base al quadro conoscitivo emerso in fase di rilevamento geologico delle aree contermini il sito di interesse e di consultazione bibliografica delle indagini e cartografie esistenti, nel sito oggetto d'intervento si sono eseguite le seguenti indagini:

- Indagine geostratigrafica consistente nel rilievo esteso delle aree al contorno al fine di determinare la litostratigrafia locale ;
- Rilievo geostrutturale dell'ammasso roccioso nelle zone contermini quella di intervento al fine di definirne le caratteristiche geomeccaniche ed i parametri geotecnici equivalenti;
- Indagine sismica di sito del tipo HVSR (n.3 prove) al fine di determinare la frequenza fondamentale di sito, definire il modello stratigrafico, la frequenza di sito e determinare il valore del Vs,eq e la categoria di suolo di fondazione;
- Indagine sismica di tipo MASW lungo il lato antistante la facciata principale della concattedrale.

Considerando che dall'ammasso roccioso calcareo, al di sotto del piano di posa delle fondazioni dell'edificio esistente, non sono ottenibili campioni indisturbati sottoponibili ad indagini geotecniche di laboratorio volte a determinarne i parametri fisico-meccanici; considerando che gli stessi depositi oppongono rifiuto alla penetrazione nei test penetrometrici (sia SPT che DPSH), in relazione ai carichi di esercizio ed all'impegno costruttivo previsti, si è deciso di valutare lo spessore delle formazioni in sito, ed in particolare della porzione alterata dell'ammasso roccioso al di sotto del piano di posa fondale, su base geofisica attraverso i dati provenienti dall'indagine vincolando la stessa allo spessore della coltre di alterazione superficiale appurato in sito. La determinazione dei parametri fisico-meccanici della formazione litoide è stata effettuata attraverso indagini visive degli affioramenti rocciosi visibili alla base della muratura e comparate con le risultanze di un rilevamento geomeccanico lungo gli affioramenti rocciosi in Via Sottocastello, afferenti alla medesima litologia e con il medesimo assetto giaciturale.

Si sono inoltre allegate e considerate le stratigrafie dei sondaggi S2 e, in particolare, S4 eseguito nell'anno 1982 a corredo del PRG.Tali indagini risultano sufficienti a definire il modello geologico e geotecnico del sito nonché ad inquadrare le problematiche idrogeologiche e di stabilità delle aree.

Ubicazione indagini eseguite e prese a riferimento



Indagine HVSR eseguite

Indagine MASW

MODELLO GEOLOGICO DI SITO

In base ai risultati scaturiti dalla campagna di indagine condotta l'area, riferendosi al volume significativo dell'opera in progetto, risulta condizionata dalla presenza di due orizzonti litologici principali.
In particolare la caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizzontal to Verrtical Spectral Ratio* - Metodo di Nakamura) ha permesso l'individuazione delle discontinuità sismiche principali che sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura (riporto antropico) che al contatto copertura-bedrock relativo ed eventuali ulteriori anisotropie meccaniche verticali dell'ammasso. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.
In definitiva la successione litostratigrafica locale, a partire dall'attuale p.c. da cui è stata effettuata la misura, può essere così definita:

Ammasso roccioso degradato ed alterato

Trattasi di calcari e calcareniti fratturate con fratture riempite di calcite. La giacitura media esibisce un'immersione N40° ed inclinazione di ca. 60° per cui gli strati sono disposti a traverpoggio rispetto al versante. Il loro spessore, dedotto dalla prospezione HVSR risulta di superiore a 60 mt. al di sotto dell'attuale p.c.. per cui costituiscono per intero il volume significativo al di sotto del piano fondale. La successione stratigrafica presenta, lungo la verticale e specie nella parte alta, diverse discontinuità (max. 1mt. di spessore), proprie della formazione flyschoide, costituite da livelli marnoso-argillosi e/o fasce cataclastiche costituite da brecce che tendono ad estinguersi in profondità; dette discontinuità possono generare contrasti di rigidezza all'interno dell'ammasso roccioso. L'ammasso roccioso si presenta fratturato con il materiale roccioso che non presenta particolari segni di alterazione meteorica se non nella porzione superficiale (< 1 mt.), la consistenza dell'ammasso è dunque il risultato di processi di disgregazione fisica (essenzialmente crioclastici) che tendono a attenuarsi con la profondità; il deposito, in base ai rilievi stratigrafici eseguiti si presenta sostanzialmente asciutto.
N.B.: in prossimità del perimetro della cattedrale, e per una larghezza metrica, si rileva sempre uno spessore di terreni di riporto, imputabili a scavi e reinterri eseguiti in epoca storica per l'ammorsamento dei piani interrati e delle strutture fondali (cfr. sezioni geologiche).

La stratigrafia di sito, insieme al modello geologico è riportata in allegato.

Pericolosità sismica e rischio liquefazione.

Dal punto di vista della pericolosità sismica connessa al rischio liquefazione si osserva che l'assenza di una falda idrica, unitamente alla presenza dell'ammasso roccioso competnte, escludono la possibilità di tale fenomeno per cui, in base al dettato normativo, è possibile omettere tale verifica.

Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

Il modello geologico emerso dalle indagini condotte ha posto in evidenza quanto segue:

1. Il sito nel complesso è da ritenere stabile nei confronti dei fenomeni gravitativi superficiali essendo, alla scala del sito, sub-pianeggiante;
2. Il profilo litostratigrafico previsto è essenzialmente composto dall'ammassso roccioso non alterato stratificato e fratturato;
3. La falda acquifera è assente;

4. Considerando la presenza di un substrato subaffiorante di ottime caratteristiche meccaniche è possibile assumere l'interfaccia del volume significativo sia per le verifiche agli SLU sia agi SLE pochi metri entro il substrato. Si può assumere, in base alle raccomandazioni AGI, un volume significativo "molto cautelativo" pari a ca.10 mt. dal p.c. (ovvero 1B dove B è il lato corto delle strutture a farsi) , per cui è possibile concentrare le analisi geotecniche all'interno del bedrock calcareo. Ciò è in accordo con l'EC7 che rimarca che la quota di base del volume significativo è quella per cui la tensione effettiva trasmessa dalla fondazione raggiunge il 20% della tensione litostatica preesistente.
5. Per gli SLU, la metodologia di derivazione analitica del carico limite a lungo termine relativa alle condizioni drenate (attraverso la coesione drenata c' e l'angolo di attrito phi') rappresenta, come dettato dallo studio dello stress path della fondazione, la condizione di maggiore criticità in relazione alle caratteristiche litologiche dei terreni investigati, per quanto attiene gli SLE i parametri di deformabilità sono riassumibili adoperando il modulo di deformazione elastico Ey;
6. La derivazione dei parametri geotecnici dei depositi affioranti, considerando la loro natura litologica, non può essere effettuata mediante le usuali prove di laboratorio geotecnico per l'impossibilità di ottenere campioni indisturbati, né attraverso l'ausilio di prove in sito in quanto gli stessi depositi (così come desunto anche dalle indagini a corredo del P.R.G.) oppongono rifiuto alla penetrazione. Pertanto saranno derivati i parametri geotecnici secondo quanto desumibile dal rilievo geomeccanico eseguito seguendo le linee guida dell'AGI (Associazione Geotecnica Italiana) implementando i risultati dello stesso nel software RocLab della RocScience ;

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI – MODELLO GEOTECNICO DEL VOLUME SIGNIFICATIVO

CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI, DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO E DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Il D.M. 17/01/2018 ha introdotto importanti novità per quanto attiene alla progettazione geotecnica. In particolare il modello geotecnico da adottare nella progettazione deve fondarsi su opportune indagini geotecniche. La tipologia ed il numero delle grandezze geotecniche da misurarsi devono essere scelte sulla base del modello geologico ed in relazione alla tipologia di pera da realizzarsi. Particolare importanza è rivestita, inoltre, dalla fase di interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove geotecniche. A tale scopo le nuove norme, mutuando l'Eurocodice 7, introducono il concetto di valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite considerato, dovrà essere utilizzato in ogni tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di superfici di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Il DM ha adottato il concetto di valori caratteristici senza però chiarirne esaustivamente la definizione e senza offrire una procedura operativa per la loro determinazione; infatti la circolare esplicativa si limita a chiarire che i parametri geotecnici devono essere determinati coerentemente con il tipo di analisi (es. tensioni efficaci piuttosto che tensioni totali) e che nei problemi geotecnici che coinvolgono elevati spessori di terreno in cui vi sia compensazione strutturale essi possono essere assunti prossimi ai parametri medi mentre in problemi geotecnici che coinvolgono modesti spessori ed in assenza di compensazione strutturale essi possono essere assunti prossimi ai valori minimi. In letteratura, tuttavia, sono però presenti numerosi spunti che consentono di chiarire gli aspetti pratici inerenti la loro determinazione in coerenza con il dettato normativo.

Ciò premesso ed in relazione alle specifiche problematiche geotecniche si è operato nel modo seguente:

- Definizione prove ed indagini geotecniche in relazione alla litologia;
- Definizione dei parametri medi di interesse Xm;
- Determinazione dei valori caratteristici Xk;
- Modellazione geotecnica del volume significativo.

Le risultanze della modellazione geologica hanno evidenziato la presenza di un unico orizzonte litologico geotecnicamente significativo rappresentato dall'ammasso roccioso.

I parametri geotecnici che governano l'insorgere degli stati limiti ultimi in relazione alle fondazioni superficiali a farsi sono essenzialmente c' e ϕ'. Per gli stati limite di esercizio, volti a definire i cedimenti immediati e differenziali, ci si riferirà ad i parametri di deformabilità desunti a partire dal modulo di Young Ey. Tali parametri sono stati desunti mediante l'esecuzione di un rilievo geomeccanico in affioramento.

PARAMETRI GEOTECNICI AMMASSO ROCCIOSO CALCAREO

Le caratteristiche litostratigrafiche e l'assetto giaciturale dei dell'ammasso roccioso calcareo sono state ottenute attraverso il rilievo geologico di superficie, eseguito sugli affioramenti disponibili a contorno dell'area in questione (in particolare laddove la muratura è radicata all'ammasso roccioso sull'impronta di sedime del fabbricato), ed attraverso l'esecuzione di uno stendimento geomeccanico, eseguito su di un affioramento naturale posto sul lato nord-ovest del lotto. Si è adoperato anche uno sclerometro (martello di Schmidt) per valutare il valore della resistenza a compressione uniassiale della roccia utile sia ai fini della classificazione geomeccanica, sia per la stima dei parametri geotecnici dell'ammasso roccioso continuo equivalente secondo il criterio di Hoek & Brown.

Caratteristiche di fratturazione.

L'ammasso roccioso risulta tettonizzato e fratturato. La superficie dell'ammasso roccioso è di colore bruno rossiccio e all'interno delle discontinuità si rileva la presenza occasionale di riempimenti calcitici che, visto il comportamento sostanzialmente isotropo dell'ammasso, non possono rappresentare linee di debolezza nei confronti degli sforzi di taglio; inoltre l' alterazione delle superfici di discontinuità rivela l'occasionale presenza di circolazione idrica connessa

alla percolazione delle acque di infiltrazione. Più raramente si rileva la presenza di riempimento terrigeno che comunque è limitato alle porzioni superficiali delle discontinuità ed è connesso ad un regime idrologico superficiale non più esistente a causa dell'urbanizzazione dell'area.

I dettagli del rilievo geomeccanico e la descrizione dell'ammasso roccioso, eseguito secondo le raccomandazioni dell'ISRM, sono in allegato.

Nel nostro caso, è possibile distinguere un set di fratturazione principale dovuto alla stratificazione, che presenta un immersione media N 40° con inclinazione media i = 60°, e due set secondari a minore persistenza , uno con immersione N 200° e i = 45° e l'altro N 280° e i = 20°. La giacitura degli strati è a traverpoggio rispetto al pendio assicurando un discreto grado di stabilità all'ammasso roccioso. La spaziatura delle discontinuità dovuta a stratificazione è di ordine metrico per cui,considerando la presenza di altre fratture da trazione che conferiscono alle discontinuità una spaziatura complessiva decimetrica, alla scala del problema di portanza delle fondazioni e di stabilità globale l'ammasso roccioso può essere considerato alla stregua di un continuo equivalente.

STAZIONE N. 1							quota 894 m s.l.m.
1. Orientazione				2. Spaziatura (cm)			
	Calcari	-	-		Calcari	-	-
s	40/60	N.R.	N.R.	s	20(Smin) 100(Smax)	N.R.	N.R.
f 1	200/45	N.R.	N.R.	f 1	10(Smin) 50 (Smax)	N.R.	N.R.
f 2	280/20	N.R.	N.R.	f 2	10 (Smin) 50 (Smax)	N.R.	N.R.
pendio	210/40	N.R.	N.R.				
3. Persistenza (m)				4. Rugosità (JRC)			
	Calcari	-	-		Calcari	-	-
s	> 20	N.R.	N.R.	s	2,0-4,0	N.R.	N.R.
f 1	3 - 10 m	N.R.	N.R.	f 1	4,0-6,0	N.R.	N.R.
f 2	3 - 10 m	N.R.	N.R.	f 2	4,0-6,0	N.R.	N.R.
5. Resistenza pareti - JCS (Mpa)				6. Apertura (mm)			
	Calcari	-	-		Calcari	-	-
s	105	N.R.	N.R.	s	0,25-2,5	N.R.	N.R.
f 1	105	N.R.	N.R.	f 1	0,25-2,5	N.R.	N.R.
f 2	105	N.R.	N.R.	f 2	0,25-2,5	N.R.	N.R.
7. Riempimento				8. Condizioni idrauliche			
	Calcari	-	-		Calcari	-	-
s	calcite occasionale	N.R.	N.R.	s	Asciutto	N.R.	N.R.
f 1	calcite occasionale	N.R.	N.R.	f 1	Asciutto	N.R.	N.R.
f 2	calcite occasionale	N.R.	N.R.	f 2	Asciutto	N.R.	N.R.
9. N. famiglie di discontinuità				10, Dimensioni blocchi (Jv)			
	Calcari	-	-		Calcari	-	-
s	3	N.R.	N.R.		> 60	N.R.	N.R.

Fig. Analisi geomeccanica stazione n.1 – Affioramento piani interrati lato cripta

Il comportamento meccanico di un ammasso roccioso dipende sia dalle proprietà del materiale roccioso intatto sia dalle caratteristiche delle discontinuità in esso presenti. L'importanza relativa di questi due fattori è legata al rapporto tra la spaziatura della discontinuità e la scala del problema in esame. Le discontinuità introducono nell'ammasso una struttura orientata anche quando il materiale roccioso è di per sé isotropo; ne deriva pertanto un'anisotropia nel comportamento meccanico dell'ammasso. Esistono, in linea generale, due approcci metodologici al problema: l'ammasso può essere considerato come un mezzo discontinuo nel quale i movimenti possono avvenire solo lungo le discontinuità; l'ammasso può essere considerato come un mezzo continuo ai fini del problema in esame ed il suo comportamento può essere descritto in termini di parametri complessivi.

Nel nostro caso, in riferimento alle condizioni geostrutturali dell'ammasso ed alla scala del problema in esame, è possibile affermare che le caratteristiche geotecniche dell'ammasso sono controllate dalla distribuzione casuale della fratturazione dell'ammasso la quale permette di descrivere il comportamento dell'ammasso roccioso come mezzo continuo ed isotropo. Per tale motivo è possibile schematizzare l'ammasso con il criterio di Hoek & Brown.

A differenza di quanto avviene nelle terre sciolte, negli ammassi rocciosi la resistenza al taglio del materiale non può generalmente essere descritta con il criterio di rottura di Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \, tg\varphi$$

Questo infatti indica una correlazione fra resistenza al taglio del materiale e pressione di confinamento di tipo lineare, mentre negli ammassi rocciosi tale correlazione è chiaramente di tipo non lineare.

D'altra parte i metodi dell'equilibrio limite per il calcolo della portanza visti in precedenza richiedono che il materiale, terra o roccia, sia descrivibile attraverso i parametri c e φ.

E' necessaria quindi una correlazione che leghi queste due grandezze a quelle utilizzate normalmente per la descrizione del comportamento meccanico dell'ammasso roccioso.

E' necessaria quindi una correlazione che leghi queste due grandezze a quelle utilizzate normalmente per la descrizione del comportamento meccanico dell'ammasso roccioso.

Hoek e Brown descrivono una procedura che consente l'applicazione delle formule dell'equilibrio limite anche al caso di ammassi rocciosi.

La forma generale del criterio di rottura di Hoek & Brown è la seguente:

$$\sigma_1 = \sigma_{3'} + \sigma_c \left[m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right]^a ;$$

dove:

mb = valore della costante m per gli ammassi rocciosi;

s, a = costanti dipendenti dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;

σc = resistenza alla compressione monassiale della roccia intatta;

σ1 σ3 = sforzi principali in tensioni efficaci.

La determinazione dei parametri a, s e mb viene fatta in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, espressa numericamente dall'indice GSI (Geological Strength Index).

Per ammassi rocciosi in condizioni indisturbate di qualità da buona a media per i quali sia GSI≥25, si ha:

$$a = 0.5;$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28} \right);$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9} \right);$$

Poiché il criterio di Hoek e Brown esprime una curva di tipo non lineare, i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace (σn') agente sulla base della fondazione (carico di esercizio).
I valori di ci e φi si possono ottenere attraverso lo sviluppo di una tecnica numerica per la soluzione in forma implicita.
In questo caso i passi di calcolo sono i seguenti:

- con le procedure di Hoek e Brown, si calcolano i valori di σ1, facendo variare σ3 da un valore minimo prossimo a 0 fino ad un valore massimo che può essere posto indicativamente uguale a 0,25σc. Il passo di variazione di σ3 (Δσ3) è fornito dalla relazione Δσ3 = σc/210 . Ad n passi Δσ3 corrispondono altrettante coppie di valori di σ1, σ3, con le formule di Hoek e Brown, e n gruppi di valori δσ1/δσ3 , σn', τ, ottenuti attraverso le relazioni di Balmer:

$$\sigma_n = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3} + 1};$$

$$\tau = (\sigma_n - \sigma_3)\sqrt{\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3}};$$

$$\frac{\delta\sigma_1}{\delta\sigma_3} = 1 + \frac{m_b\sigma_c}{2(\sigma_1 - \sigma_3)} \text{ (caso GSI>25, a=0,5).}$$

Dalle formule di regressione lineare:

$$\varphi_i' = arc\tan\left[\frac{\sum\sigma_n\tau - \frac{\sum\sigma_n\sum\tau}{n}}{\sum\sigma_n^{\,2} - \frac{(\sum\sigma_n)^2}{n}}\right],$$

$$c_i' = \left(\frac{\sum\tau}{n}\right) - \left[\left(\frac{\sum\sigma_n}{n}\right)\tan\varphi_i'\right],$$

si ricavano i corrispondenti valori di ci' e φi' dell'intervallo considerato.

- S'individua l'intervallo di valori di σn calcolati nel passo precedente (Δσn) nel quale ricade il σn' medio della base del concio. Δσn a sua volta si collega a due intervalli di variazione della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio istantanei (Δci' e Δφi'), da cui si ricavano:

$$c_i = \frac{\sigma_{nbc}'}{\Delta\sigma_n}\Delta c_i',$$

$$\varphi_i = \frac{\sigma_{nbc}'}{\Delta\sigma_n}\Delta\varphi_i',$$

Nelle premesse precedenti, si è proceduto preliminarmente a definire la qualità dell'ammasso roccioso attraverso la classificazione RMR introdotta da Beniawski nel 1973 e successivamente perfezionata nel 1993.
Tale classificazione prende in considerazione 6 parametri:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (UCS);
- indice RQD;
- spaziatura delle discontinuità (S);
- condizioni delle discontinuità: persistenza, rugosità, apertura e riempimento;
- condizioni idrauliche;

- orientazione delle discontinuità in relazione al problema affrontato.

In particolare i valori di resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (UCS) si sono stimati attraverso l'impiego di uno sclerometro seguendo le procedure suggerite dallo stesso ISRM

In base alle analisi condotte si è stimato un valore di resistenza a compressione uni assiale (UCS):

UCS = 105 MPa – strong rock

L'indice RQD è stato stimato sulla base di quanto indicato da Palmstrom 1986 secondo la formula:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Dove Jv rappresenta l'indice volumetrico di fratturazione ovvero il numero totale di giunti per metro cubo.

Si precisa che il rilievo è stato condotto osservando scrupolosamente le indicazioni dell'ISRM (International Society of Rock Mecanichs).

Ad ognuno di questi parametri viene assegnato un indice parziale (rating),la somma dei ratings fornisce un indice di qualità che caratterizza l'ammasso roccioso.

In base ai rilievi effettuati si sono stimati (cfr. allegati) i seguenti parametri:

- UCS= 105MPa; rating = 12
- RQD% (cfr. Palmstrom 1986); rating= 13
- spaziatura media discontinuità = 0.2; rating =10
- condizione dei giunti, rating =15
- condizioni idrauliche, rating = 15
- orientazione della discontinuità nessuna, rating =0

RMR= 65

Classe ammasso II

GOOD ROCK

I valori ottenuti corrispondono ad un ammasso roccioso di buona qualità.

Classificazione dell'ammasso roccioso								
Classificazione di Bieniawski ('89)								
Calcari			-			-		
RMR		65	RMR		-	RMR		-
Classe		III (Buona)	Classe		-	Classe		-
RMRc			RMRc		-	RMRc		-
Classe			Classe		-	Classe		-
Classificazione di Romana ('85)								
Calcari			-			-		
SMR		70	SMR		-	SMR		-
Classe		II (Buona)	Classe		-	Classe		-
Classificazione di H. Sommez e R. Ulusay ('99)								
Calcari			-			-		
GSI		75	GSI		-	GSI		-
Descrizione		good	Descrizione		-	Descrizione		-

Fig. Classificazione ammasso roccioso stazione n.1

I parametri geotecnici dell'ammasso, ottenuti attraverso le procedure di calcolo elettronico (software RocLab; cfr allegati) utilizzando il criterio di Hoek e Brown, sono indicati di seguito.

Per quanto attiene alle caratteristiche di resistenza delle discontinuità ed alla loro resistenza al taglio nei confronti dei fenomeni di scivolamento (rock slide) non si sono condotte ulteriori analisi in quanto le condizioni giaciturali delle stesse non sono tali da permettere fenomeni di questo tipo. In pratica non esistono le condizioni geometriche predisponenti al dissesto.

La caratterizzazione dell'ammasso roccioso, effettuata sugli affioramenti visibili nei dintorni del sito, è stata eseguita mediante l'assegnazione dei parametri nella seguente tabella 1.

Tabella 1: caratteristiche del bedrock calcareo.

Parametro di Hoek-Brown	Simbolo	Valore	Note
Resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta	σ_{ci}	**105 MPa**	Determinato in base alla tipologia di roccia e alla sua resistenza sulla base di indagine sclerometrica in situ
Geological strenght index	GSI	**75**	Determinato in base alla tipologia di roccia, alla configurazione delle fratture e delle alternanze e allo stato delle discontinuità
Costante del materiale	mi	**10**	Determinato in base alla tipologia di roccia
Fattore di disturbo	D	**0**	Affioramento naturale
Modulus ratio	MR	**700**	Determinato in base alla tipologia di roccia

Il programma Roclab, a partire da detti parametri, ha fornito i seguenti valori dei parametri geotecnici di interesse:

Tabella 2: valori medi dei parametri geotecnici del bedrock

PARAMETRI	SIMBOLO	UNITA'	VALORI
Angolo di attrito interno	Φ	gradi	**37.7**
Angolo di attrito a volume costante[1]	Φcv	gradi	**35**
Coesione efficace	c'	MPa	**8.37**
Densità[1]	γ	KNm^{-3}	**27**
Modulo di Poisson	μ		**0.3**
Modulo di deformazione	E	MPa	**42169**

1 -Valore stimato in base a dati di letteratura

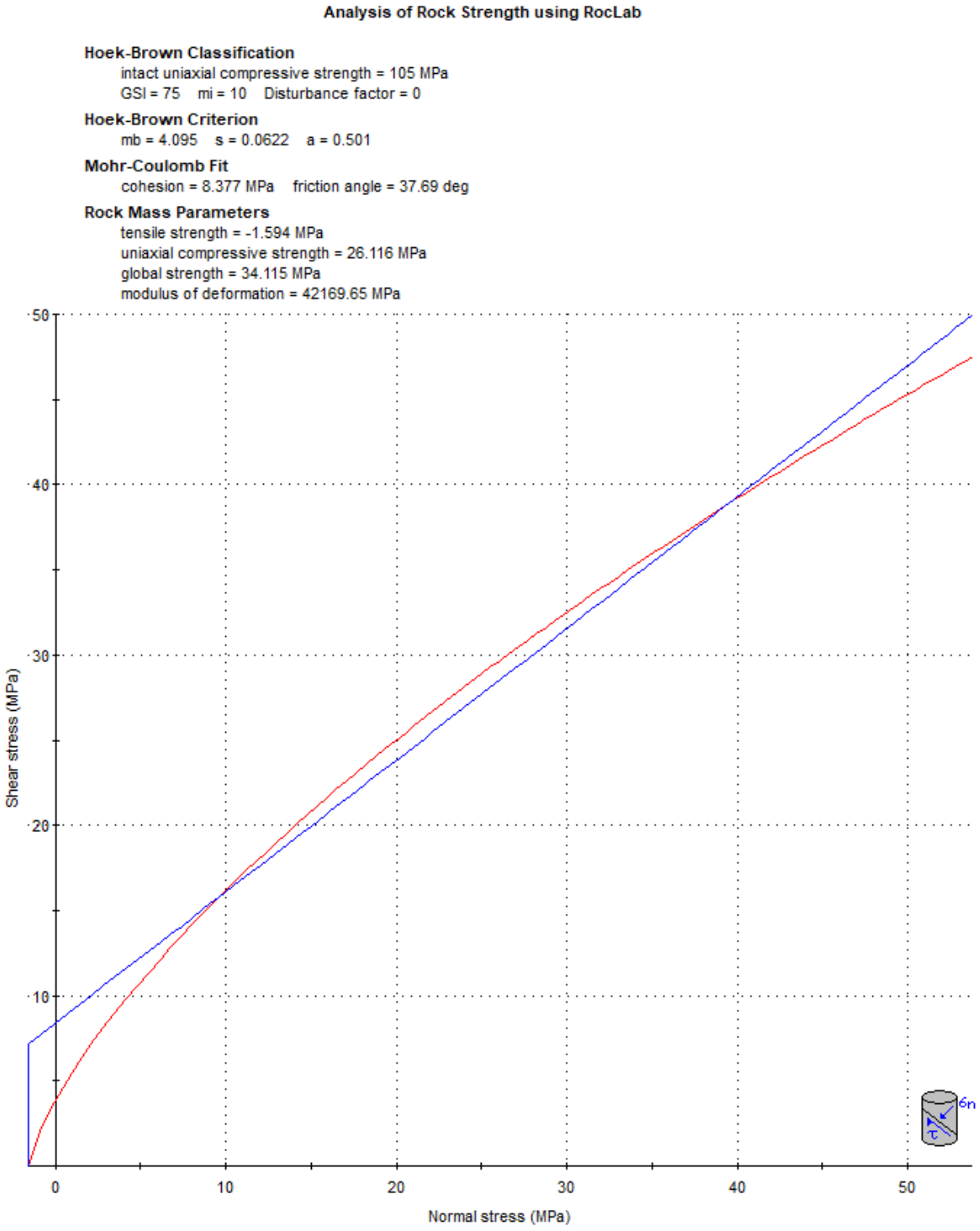


*Fig. Inviluppo di rottura curvilineo Hoeck&Brown ed equivalente di Mohr-Coloumb per valori di Sigma3 pari a 0.25 *UCS*

In caso di fondazioni superficiali il sigma3max è molto basso, quasi mai il 0.25*sigma_c utilizzato di default da roclab nell'opzione 'general', il che si traduce in un phi quasi tangente all'origine e una coesione generalmente più bassa. Il valore 0.1*sigmac per fondazioni superficiali in genere va bene, in alternativa si può utilizzare l'opzione 'slope', inserendo la densità della roccia e la profondità max della superficie di rottura, automaticamente il programma calcola il sigma3max

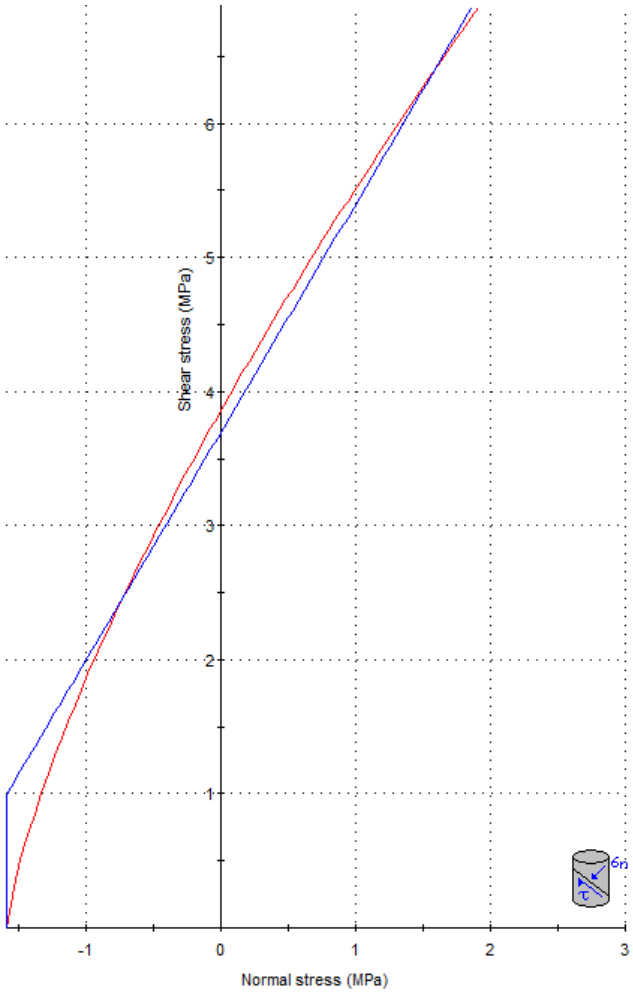
Nel caso specifico si è fatto riferimento ad un volume significativo di 10m, calcolato sulla base delle dimensioni del manufatto (raccomandazioni Associazione Geotecnica Italiana) e calcolato il valore di sigma3 a tale profondità (pari all'incirca a 0.17 MPa). Sulla base di ciò si è dunque definita la nuova equazione dell'inviluppo di Mohr-Coloumb adattata al caso di specie.

I risultati sono i seguenti:

Tabella 3: valori medi dei parametri geotecnici del bedrock adattati alla tensione di confinamento di 0.27MPa

PARAMETRI	SIMBOLO	UNITA'	VALORI
Angolo di attrito interno	Φ	gradi	**59.52**
Angolo di attrito a volume costante[1]	Φcv	gradi	**35**
Coesione efficace	c'	MPa	**3.7**
Densità[1]	γ	KNm^{-3}	**27**
Modulo di Poisson	μ		**0.35**
Modulo di deformazione	E	MPa	**42169**

1 -Valore stimato in base a dati di letteratura



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 105 MPa
GSI = 75 mi = 10 Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion
mb = 4.095 s = 0.0622 a = 0.501

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 3.704 MPa friction angle = 59.52 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -1.594 MPa
uniaxial compressive strength = 26.116 MPa
global strength = 34.115 MPa
modulus of deformation = 42169.65 MPa

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO

La Giunta Regionale della Regione Campania con Atto n. 5447 del 07.11.2002 ha deliberato l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio Regionale, inserendo il Comune di Nusco nella macrozona di media sismicità identificata, ai sensi della L. 64/74, con la categoria sismica C.S. = 2.
Ai sensi della nuova normativa sismica nazionale , l'area ha grado di sismicità corrispondente ad una accelerazione sismica orizzontale di riferimento (accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico):

a(g) = 0.25 g.

Tale valore rappresenta l'accelerazione orizzontale, espressa in termini di accelerazione di gravità "g", a seguito di un evento sismico laddove il sottosuolo interessato è costituito da formazioni litoidi o rigide (bedrock) definite quali suoli di fondazione di categoria A (Vs> 800m/sec). Più precisamente la Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio nazionale prevede per il territorio comunale di Nusco un valore massimo dell'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno = 475 anni) compreso tra 0.225g e 0.250g.

Il D.M. 14 gennaio 2018 si riferisce alla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Questa rappresenta l'elemento primario per la determinazione delle azioni telluriche.
Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione Se(T) ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di superamento PVr, in funzione del periodo di riferimento Vr. Tale periodo è definito dalla relazione:

$$Vr=VnxCu$$

dove:
Vn = vita nominale della struttura = 50 anni;
Cu = coefficiente in funzione della classe d'uso = 1.
La probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVr varia al variare dello stato limite considerato. Le relative forme spettrali sono definite per ognuna delle probabilità PVr a partire dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima;
- 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.

Il valore dei parametri ag, F0 e T*C in funzione del periodo di ritorno Tr di riferimento e, per il sito di interesse:

T_R anni	a_g (g)	F_0 (-)	T^*_C (S)
30	0.059	2.383	0.277
50	0.079	2.344	0.295
72	0.097	2.319	0.318
101	0.116	2.329	0.328
140	0.137	2.329	0.339
201	0.165	2.323	0.348
475	0.253	2.297	0.376
975	0.346	2.291	0.408
2475	0.486	2.414	0.429

Mentre i valori per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite, in funzione della classe d'uso, sono:

Stato limite	T_R anni	a_g (g)	F_0 (-)	T^*_C (S)
SLO	30	0.059	2.383	0.277

SLD	50	0.079	2.344	0.295
SLV	475	0.253	2.297	0.376
SLC	975	0.346	2.291	0.408

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC-18).

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

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

La formula per il calcolo di Vs,eq è la seguente:

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

con hi = spessore dello stato iesimo
Vs,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
N = numero di strati
H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec

L'attribuzione al sito della categoria di suolo permette di definire gli spettri di risposta di sito per le componenti orizzontali e verticali in relazione agli stati limite considerati consideranto opportuni coefficienti così come specificato in seguito:

Amplificazione stratigrafica (§ 3.2.3.2.1 NTC-18)

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B,C,D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di ag, Fo e TC* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente Tab. 3.2.V delle NTC-08, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	SS	CC
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	

		$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80 \cdot$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

La determinazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita secondo l'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle NTC. E, a partire dal livello del piano di posa delle fondazioni e considerando le condizioni geostratigrafiche osservate, , può essere assimilato ad un sottosuolo di **categoria 'A'**

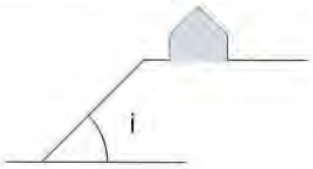
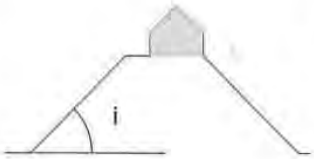
Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La superficie topografica, poiché il sito è ubicato sulla sommita di un pendio con inclinazione media (alla scala del versante) di circa 19° può essere assimilata alla

categoria 'T2'

Il coefficiente di amplificazione topografica risulta essere St = 1.2.
Si osserva che le classi di amplificazione topografica vengono riferite alla scala del versante per altezze del pendio superiori a 30 m come mostrato nello schema alla pagina successiva.
Si ribadisce che, alla scala della stabilità del versante, il sito si presenta subpianeggiante e con pendio con i>15° posto a notevole distanza (oltre 50m); le caratteristiche giaciturali dell'ammasso roccioso (traverpoggio), le ottime caratteristiche meccaniche (coesione di 3 Mpa e attrito >55°) e la configurazione morfologica rendono superfluo ricorrere ad analisi di stabilità.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T_1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	-	1.0
T_2	Pendii con inclinazione media i > 15°	Sulla sommità del pendio 	1.2
T_3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	Sulla cresta del rilievo	1.2
T_4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	Sulla cresta del rilievo 	1.4

Dallo schema sopra riportato emergono i seguenti aspetti:

- la categoria topografica viene attribuita alla condizione topografica generale a grande scale del versante in cui si inserisce il manufatto e non alle specifiche condizioni morfologiche del sito (dovendo comunque risultare H=30 m.).
- L'inclinazione cui si fa riferimento è quella media riferita alla condizione maggiormente penalizzante fra quelle rilevate al contorno del sito in questione.

Per meglio chiarire la questione del coefficiente di amplificazione topografica sono da considerare creste quelle situazioni in cui il dislivello altimetrico minimo h è maggiore od uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo H e con inclinazione dei versanti α1 e α2 maggiore o uguale a 15°.

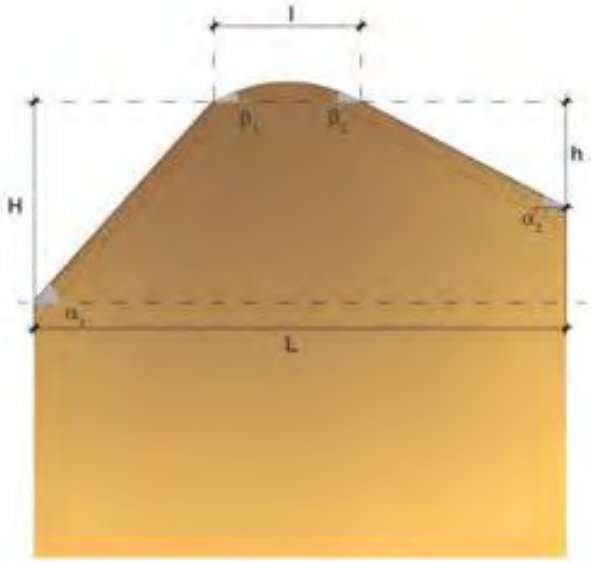
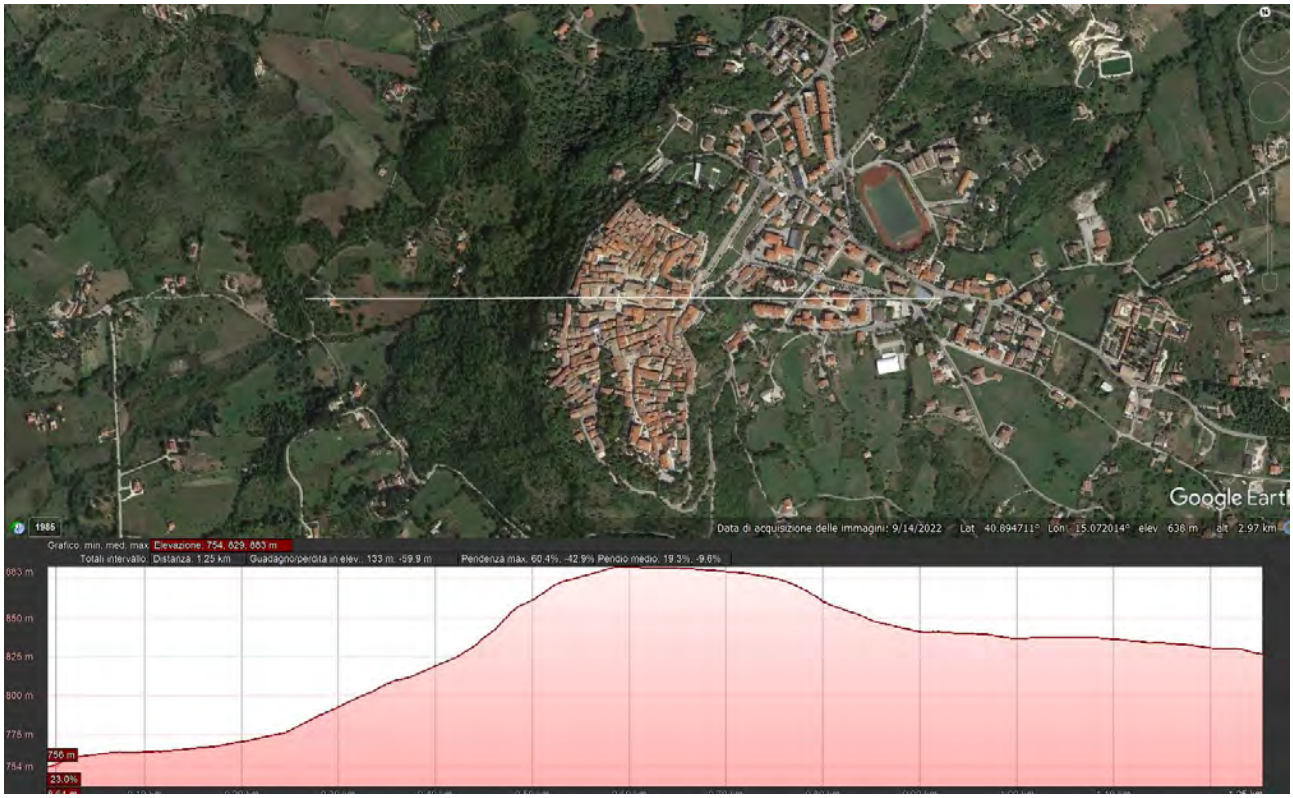


Fig.: cresta, h≥1/3 H con α1 e α2 ≥15°

Considerando la figura successiva che mostra il dettaglio dell'andamento plano-altimetrico sulla sezione di riferimento, nel nostro caso si ha H=100m e h = 30m per cui 1/3H=34. Essendo h<1/3H possiamo riferirci alla categoria T2.



HVSR

Nell'ambito del lavoro indicato in premessa sono state eseguite n.3 registrazioni di microtemori al suolo effettuate su altrettante stazioni di misura ubicate secondo la planimetria precedentemente riportata ed elaborate secondo la tecnica **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).
L'indagine è stata condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dal Progetto SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations) che stabilisce la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array e fornisce i criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

Analisi HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine passiva HVSR (Ho- rizzontal to Vertical Spectral Ratio - Metodo di Nakamura), è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito, correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. Il metodo è basato sull'acquisizione del rumore sismico (microtremore), generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; sorgenti di rumore uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Il risultato che si ottiene da una registrazione di questo tipo è la *frequenza caratteristica di risonanza del sito* che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifi- ci/strutture in termini di risposta

sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate pre- cauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di **"doppia risonanza"** estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi.

Modalità esecutive della prova e acquisizione dati

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (X,Y,Z). Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SE- SAME, per una durata non inferiore a 20 minuti. Dopo opportuni filtraggi ed operazioni di elaborazione si ottenere il rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna fre- quenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

Descrizione della strumentazione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismografo digitale SR04 – Geobox della Sara Instruments 24 canali 24 bit per canale con 3 geofoni da 0.5 Hz linearizzati

L'intero processo di elaborazione dei dati è stato effettuato con i software *Geopsy, Tiny HVSR, Dinver e Easy HVSR*.

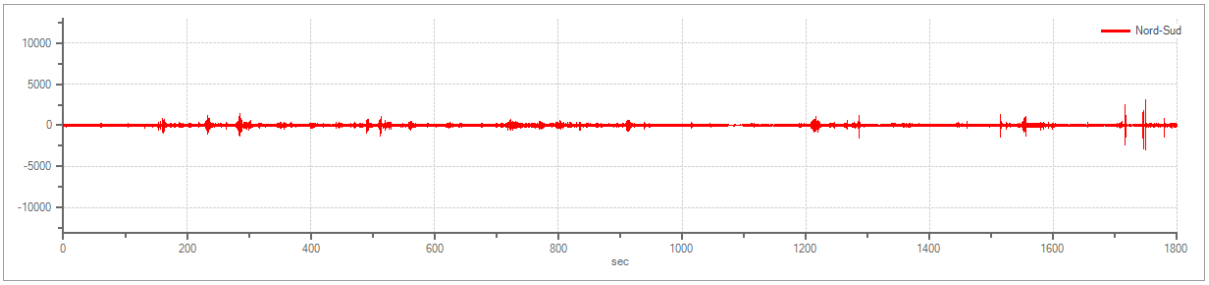
I report relativi alla prova effettuata sono riportati di seguito.

Elaborazione HVSR 1 (lato parcheggio piazza vescovado)

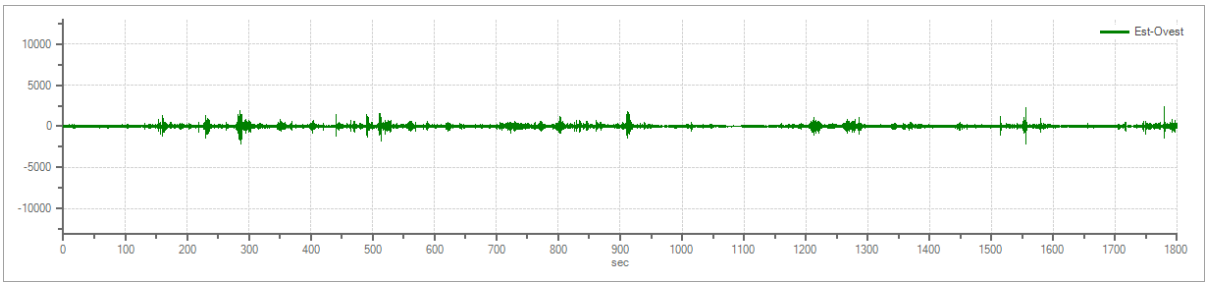
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3	
Durata registrazione:	1800	s
Frequenza di campionamento:	300.00	Hz
Numero campioni:	540000	
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.	

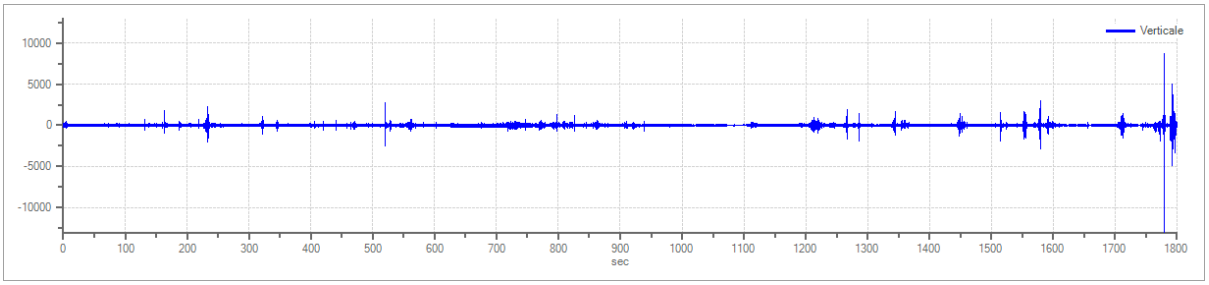
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

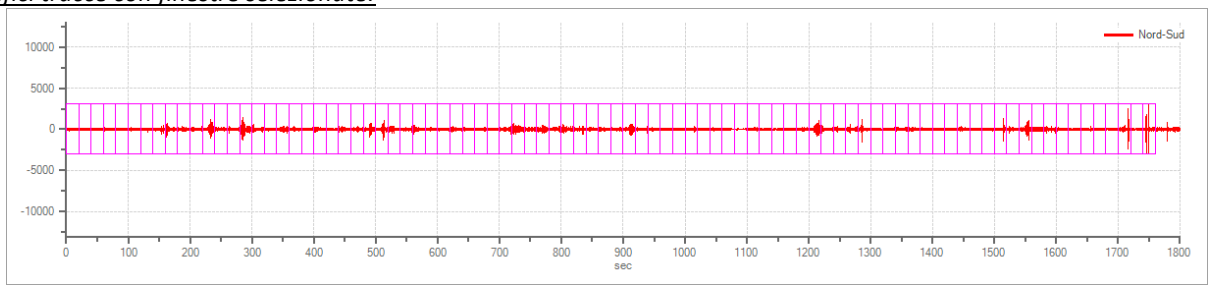
Numero totale finestre selezionate: 88
Numero finestre incluse nel calcolo: 57
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento: 25.00 %

Tabella finestre:

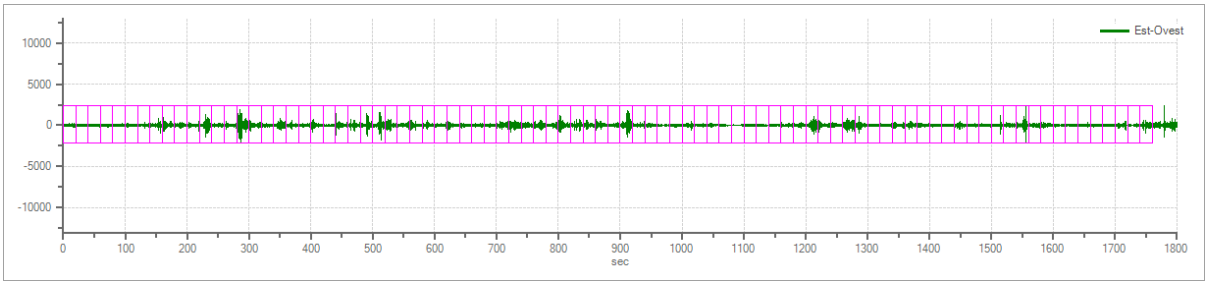
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Esclusa
2	20	40	Esclusa
3	40	60	Esclusa
4	60	80	Esclusa
5	80	100	Esclusa
6	100	120	Esclusa
7	120	140	Esclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Esclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa
38	740	760	Inclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Esclusa

42	820	840	Esclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	960	980	Inclusa
50	980	1000	Inclusa
51	1000	1020	Inclusa
52	1020	1040	Inclusa
53	1040	1060	Inclusa
54	1060	1080	Esclusa
55	1080	1100	Esclusa
56	1100	1120	Esclusa
57	1120	1140	Esclusa
58	1140	1160	Esclusa
59	1160	1180	Esclusa
60	1180	1200	Esclusa
61	1200	1220	Inclusa
62	1220	1240	Inclusa
63	1240	1260	Inclusa
64	1260	1280	Inclusa
65	1280	1300	Inclusa
66	1300	1320	Inclusa
67	1320	1340	Inclusa
68	1340	1360	Esclusa
69	1360	1380	Esclusa
70	1380	1400	Esclusa
71	1400	1420	Esclusa
72	1420	1440	Esclusa
73	1440	1460	Esclusa
74	1460	1480	Esclusa
75	1480	1500	Esclusa
76	1500	1520	Esclusa
77	1520	1540	Esclusa
78	1540	1560	Inclusa
79	1560	1580	Inclusa
80	1580	1600	Inclusa
81	1600	1620	Esclusa
82	1620	1640	Esclusa
83	1640	1660	Inclusa
84	1660	1680	Inclusa
85	1680	1700	Inclusa
86	1700	1720	Inclusa
87	1720	1740	Esclusa
88	1740	1760	Esclusa

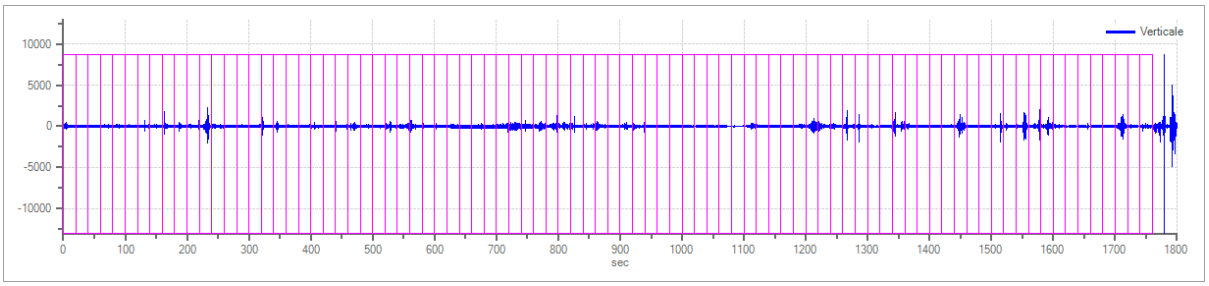
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

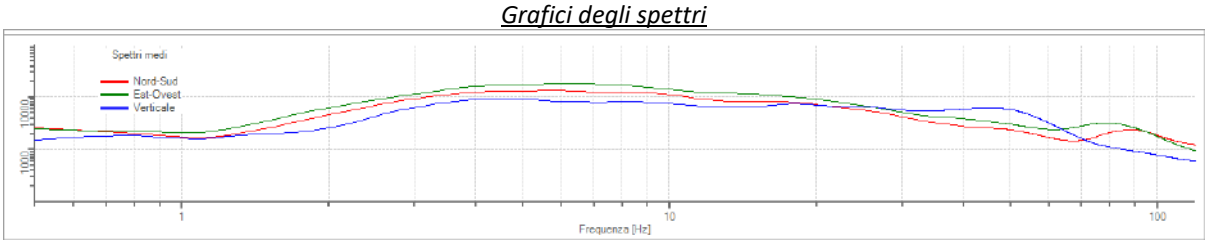


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

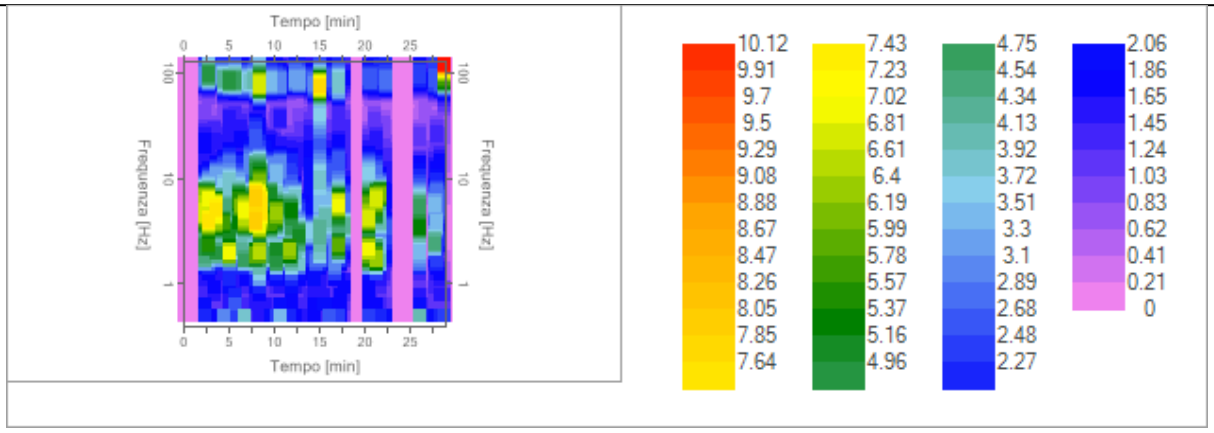


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

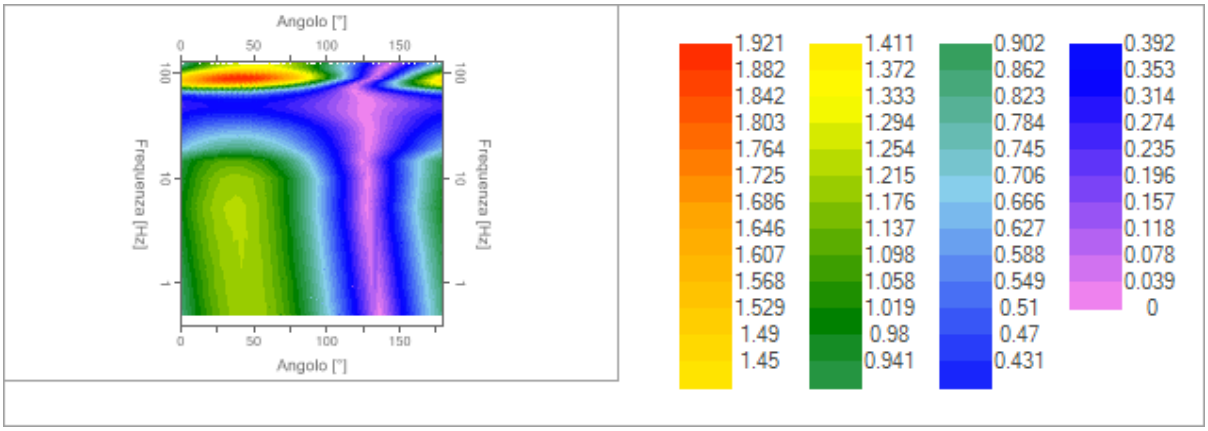
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

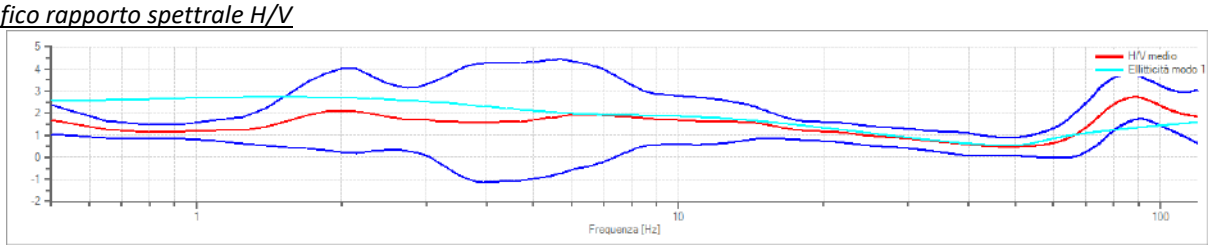
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	120.00	Hz
Frequenza minima:	0.50	Hz
Passo frequenze:	0.15	Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale	
Percentuale di lisciamento:	25.00	%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica	

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 88.85 Hz ±0.37 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

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

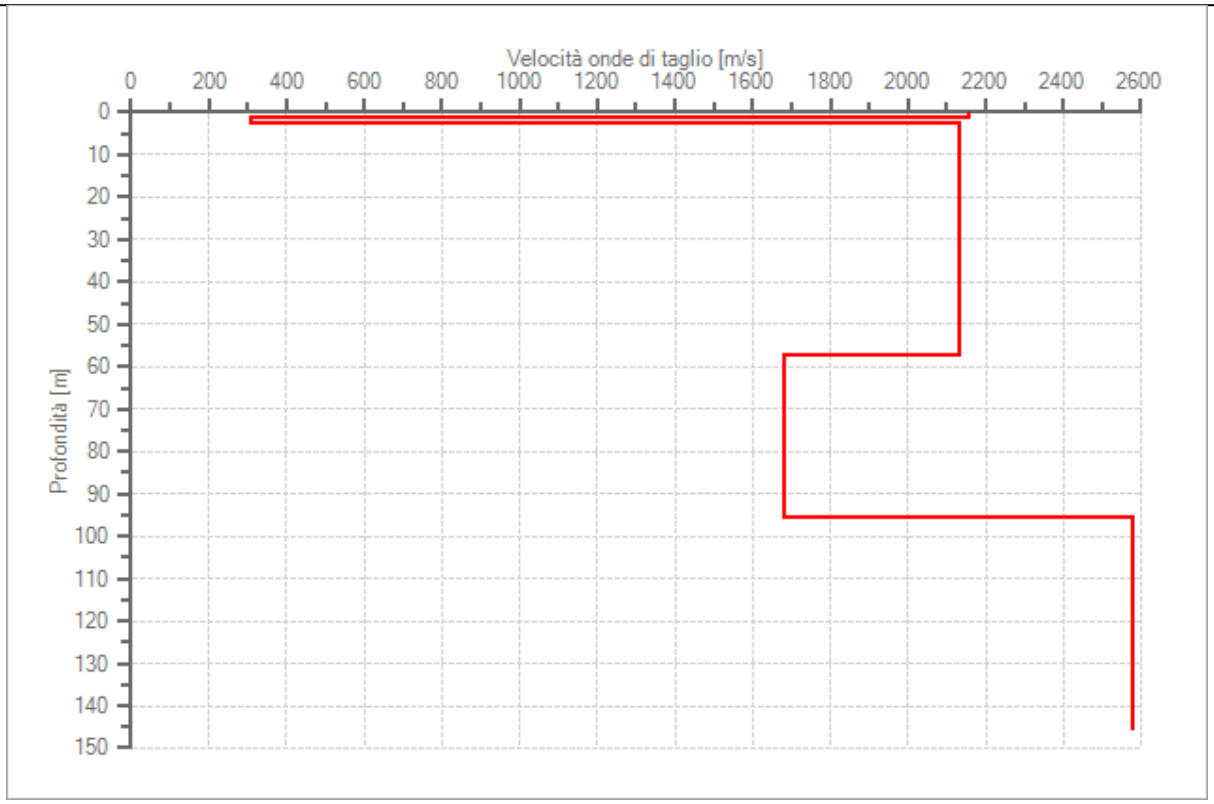
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati:	5	
Frequenza del picco dell'ellitticità:	1.55	Hz
Valore di disadattamento:	0.30	
Valore Vs al p.c.:	1765.48	m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m^3]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.5	25	0.3	2157
2	1.5	1.05	18	0.3	307
3	2.55	55.08	25	0.3	2131
4	57.63	38.25	26	0.25	1681
5	95.88	50	26	0.24	2577



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Categorie di sottosuolo
Decreto del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Categoria A
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

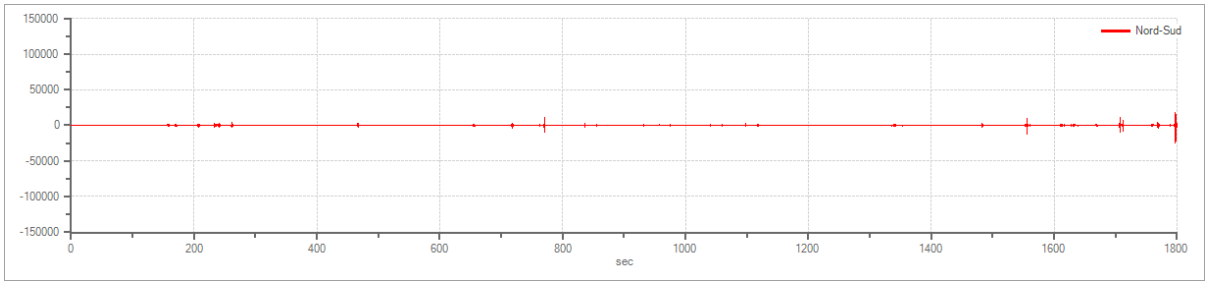
Osservazioni: la curva del rapporto H/V esibisce un andamento tipico dei suoli rigidi senza evidenti picchi del rapporto che testimoniano l'assenza di contrasti di rigidità significativi nei terreni al di sotto del piano fondale. UN picco in alta frequenza è imputabile al contrasto tra la pietra calcarea superficiale del marciapiede lungo la verticale di misura ed il sottostante suolo/terreno di riporto di spessore di ca. 1 m.

Elaborazione HVSR 2

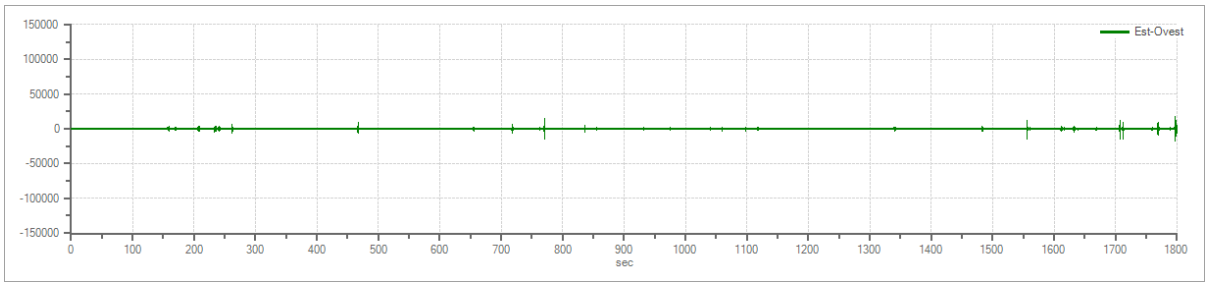
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1800 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 540000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

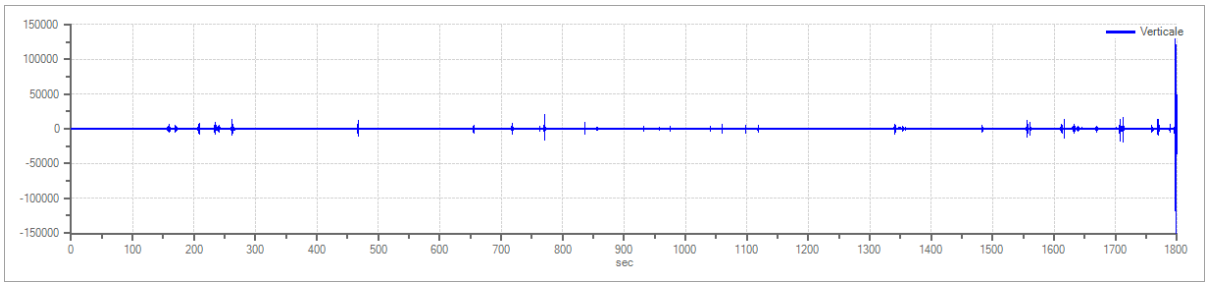
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 89
Numero finestre incluse nel calcolo: 79
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento: 25.00 %

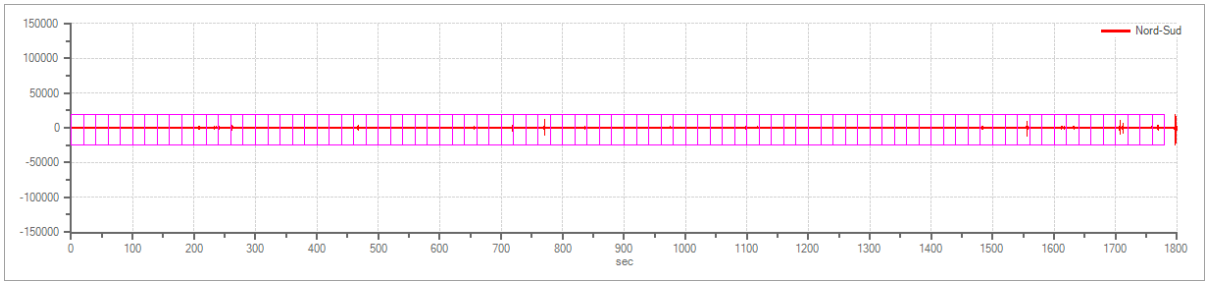
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa

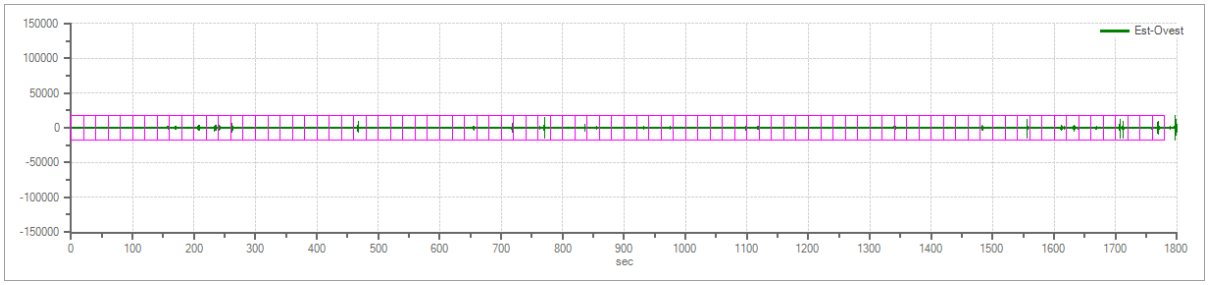
38	740	760	Inclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Inclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	960	980	Inclusa
50	980	1000	Inclusa
51	1000	1020	Inclusa
52	1020	1040	Inclusa
53	1040	1060	Inclusa
54	1060	1080	Inclusa
55	1080	1100	Inclusa
56	1100	1120	Inclusa
57	1120	1140	Inclusa
58	1140	1160	Inclusa
59	1160	1180	Inclusa
60	1180	1200	Esclusa
61	1200	1220	Esclusa
62	1220	1240	Esclusa
63	1240	1260	Inclusa
64	1260	1280	Inclusa
65	1280	1300	Inclusa
66	1300	1320	Inclusa
67	1320	1340	Inclusa
68	1340	1360	Esclusa
69	1360	1380	Esclusa
70	1380	1400	Esclusa
71	1400	1420	Esclusa
72	1420	1440	Inclusa
73	1440	1460	Inclusa
74	1460	1480	Inclusa
75	1480	1500	Inclusa
76	1500	1520	Inclusa
77	1520	1540	Inclusa
78	1540	1560	Inclusa
79	1560	1580	Inclusa
80	1580	1600	Inclusa
81	1600	1620	Inclusa
82	1620	1640	Inclusa
83	1640	1660	Inclusa
84	1660	1680	Inclusa

85	1680	1700	Inclusa
86	1700	1720	Inclusa
87	1720	1740	Esclusa
88	1740	1760	Esclusa
89	1760	1780	Esclusa

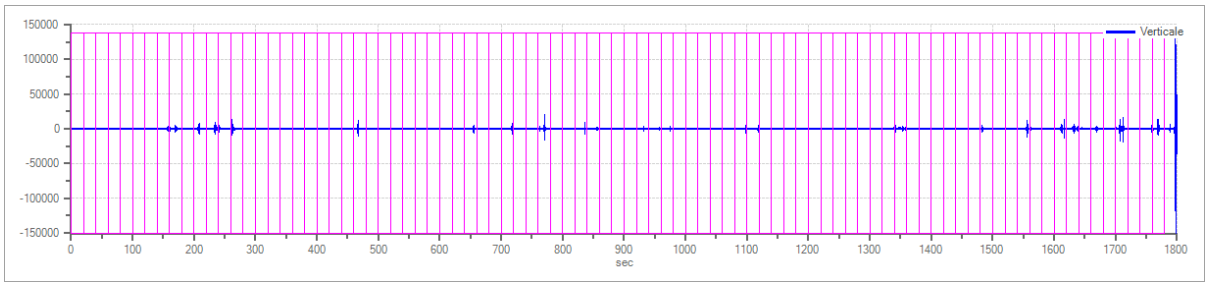
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

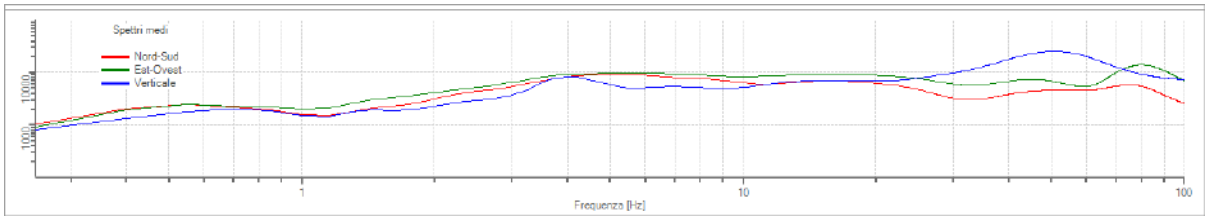


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

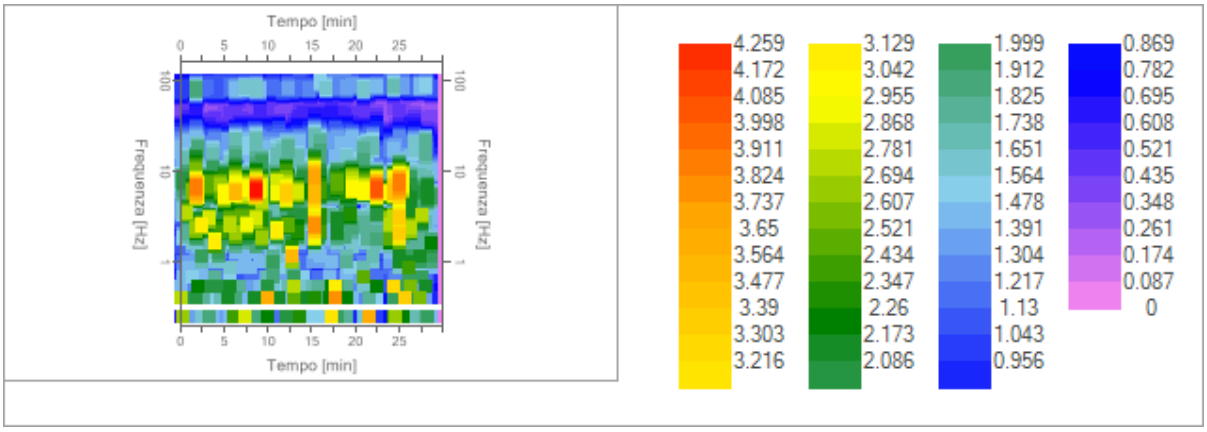


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

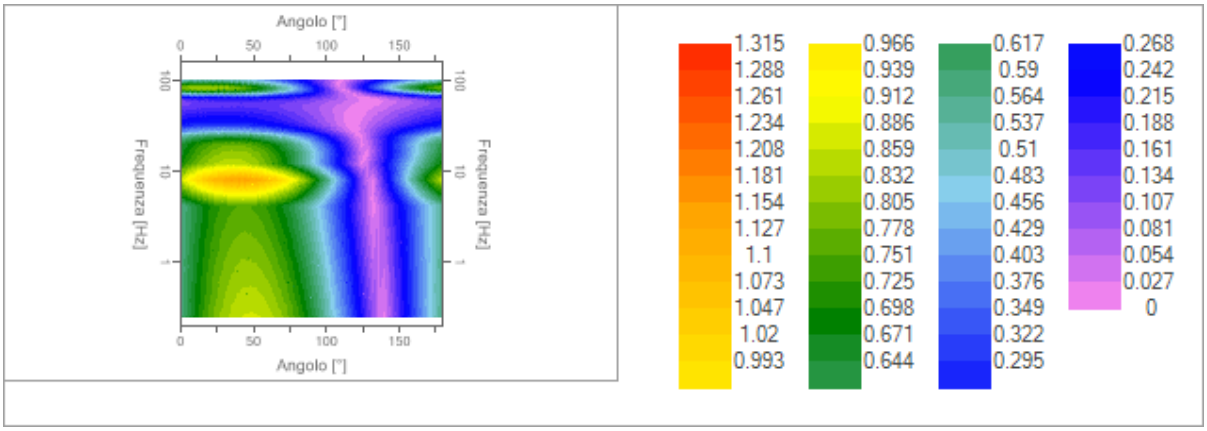
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

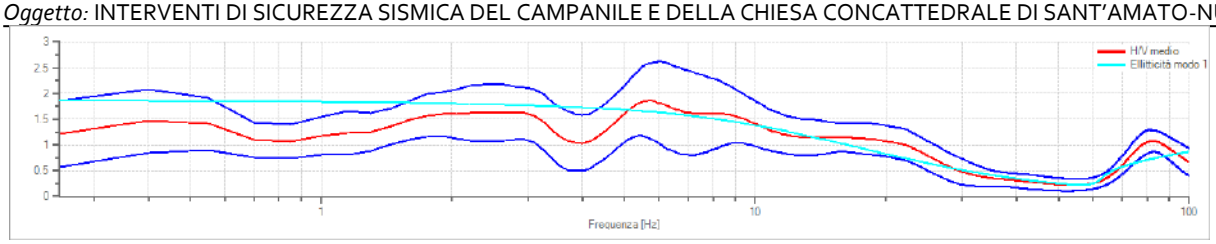
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 100.00 Hz
Frequenza minima: 0.25 Hz
Passo frequenze: 0.15 Hz
Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento: 25.00 %
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 5.65 Hz ±0.39 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

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

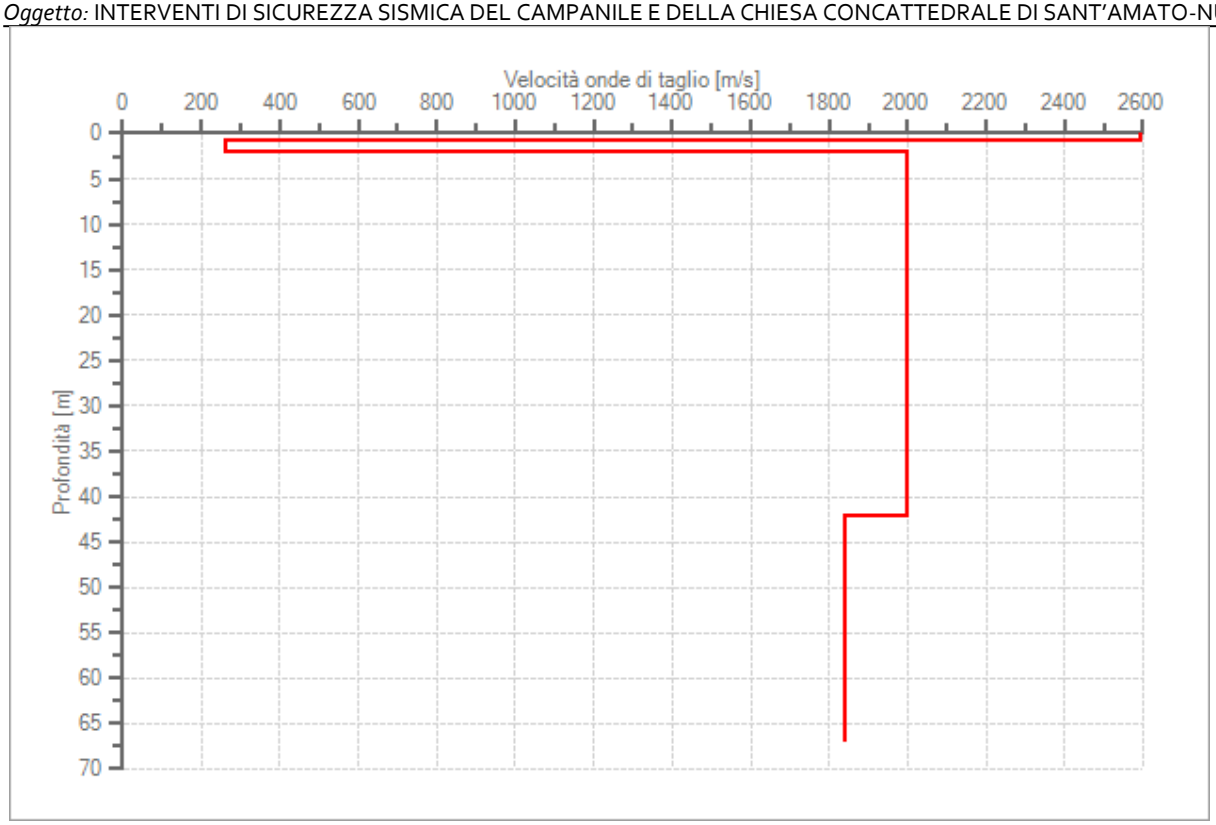
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4
Frequenza del picco dell'ellitticità: 0.25 Hz
Valore di disadattamento:0.18
Valore Vs30: 1552.68 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	**Profondità [m]**	**Spessore [m]**	**Peso per Unità di Vol. [kN/m^3]**	**Coeff. di Poisson**	**Velocità onde di taglio [m/s]**
1	0	0.75	26	0.3	2592
2	0.75	1.33	18	0.4	261
3	2.08	40.05	24	0.25	2000
4	42.13	25	26	0.25	1841



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Categorie di sottosuolo
Decreto del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Categoria A
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

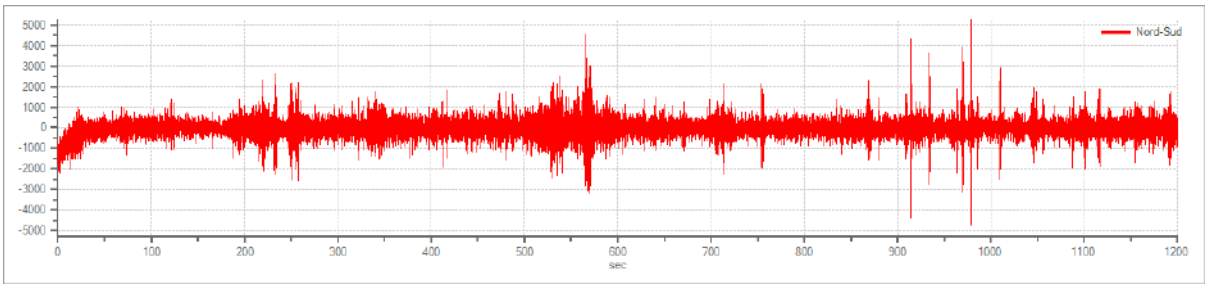
Osservazioni: la curva del rapporto H/V esibisce un andamento tipico dei suoli rigidi senza evidenti picchi del rapporto che testimoniano l'assenza di contrasti di rigidità significativi nei terreni al di sotto del piano fondale. Un picco in alta frequenza è imputabile al contrasto tra la pietra calcarea superficiale del marciapiede lungo la verticale di misura ed il sottostante suolo/terreno di riporto di spessore di ca. 1.3 m. Ciò crea una inversione che risente, con molta probabilità, della presenza della cripta sottostante in prossimità della stazione di misura.

Elaborazione HVSR 3 (antistante facciata principale)

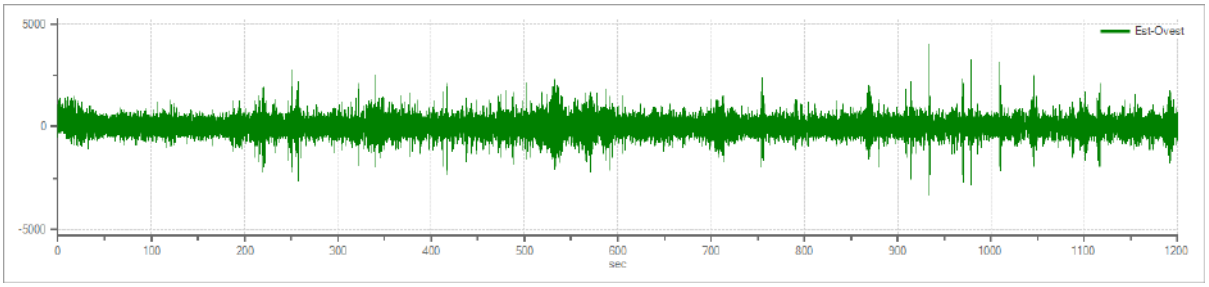
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

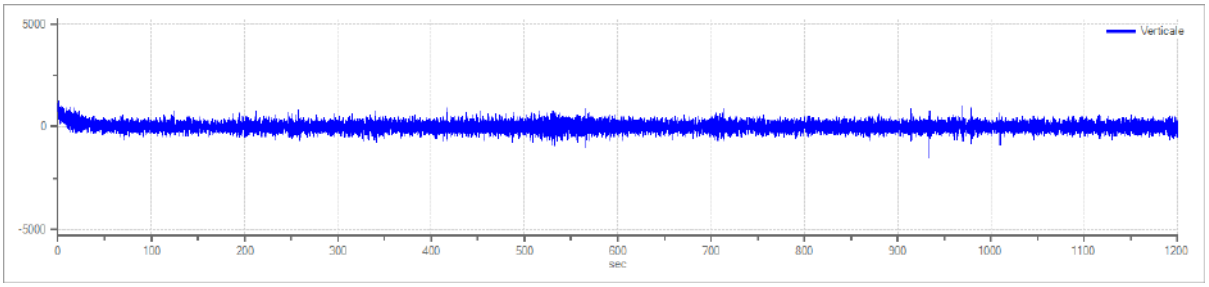
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

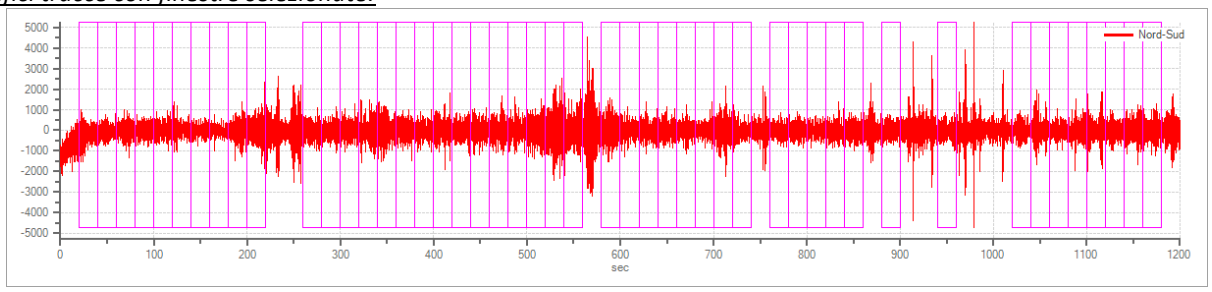
Numero totale finestre selezionate:	48
Numero finestre incluse nel calcolo:	33
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamento:	Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 20.00 %

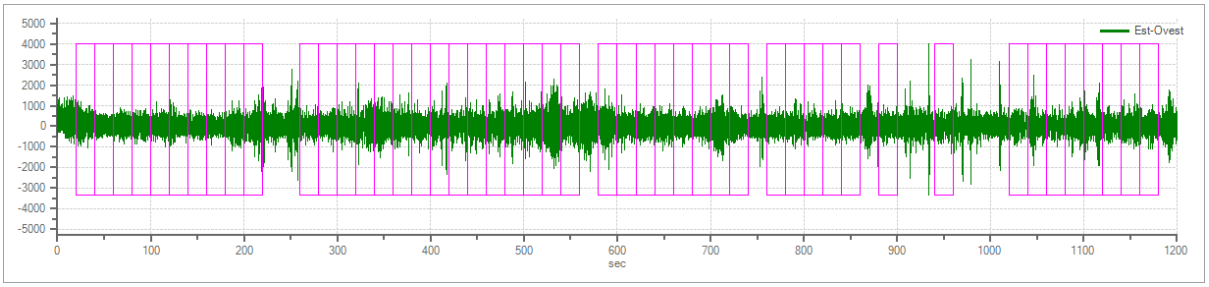
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa
6	120	140	Inclusa
7	140	160	Esclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	200	220	Inclusa
11	260	280	Inclusa
12	280	300	Inclusa
13	300	320	Esclusa
14	320	340	Esclusa
15	340	360	Esclusa
16	360	380	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	540	560	Esclusa
26	580	600	Esclusa
27	600	620	Esclusa
28	620	640	Inclusa
29	640	660	Inclusa
30	660	680	Inclusa
31	680	700	Inclusa
32	700	720	Inclusa
33	720	740	Inclusa
34	760	780	Inclusa
35	780	800	Inclusa
36	800	820	Inclusa
37	820	840	Esclusa
38	840	860	Esclusa
39	880	900	Esclusa
40	940	960	Inclusa
41	1020	1040	Inclusa
42	1040	1060	Esclusa
43	1060	1080	Esclusa
44	1080	1100	Esclusa
45	1100	1120	Esclusa
46	1120	1140	Esclusa
47	1140	1160	Inclusa
48	1160	1180	Inclusa

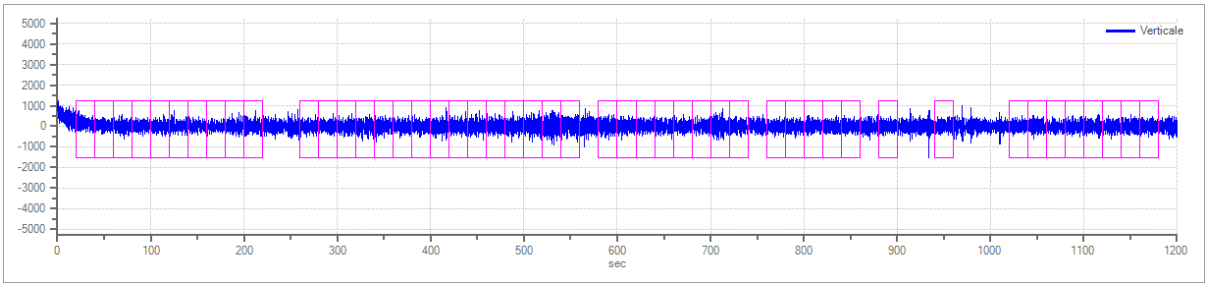
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

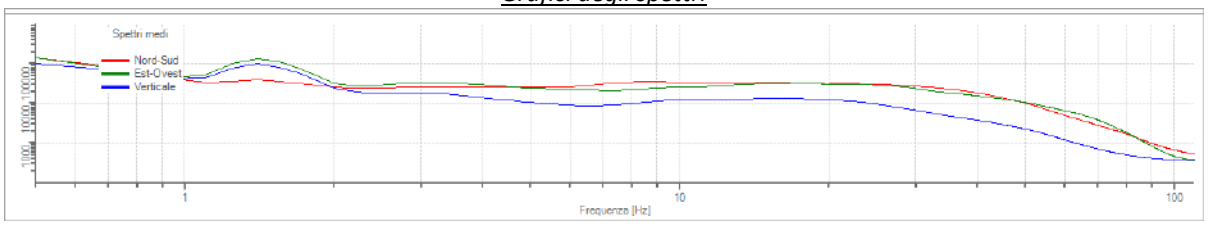


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

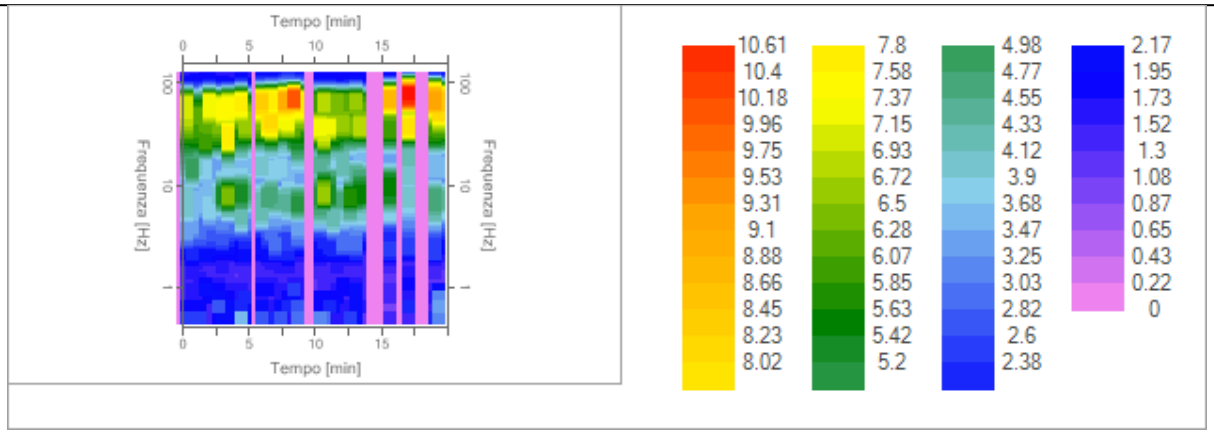


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

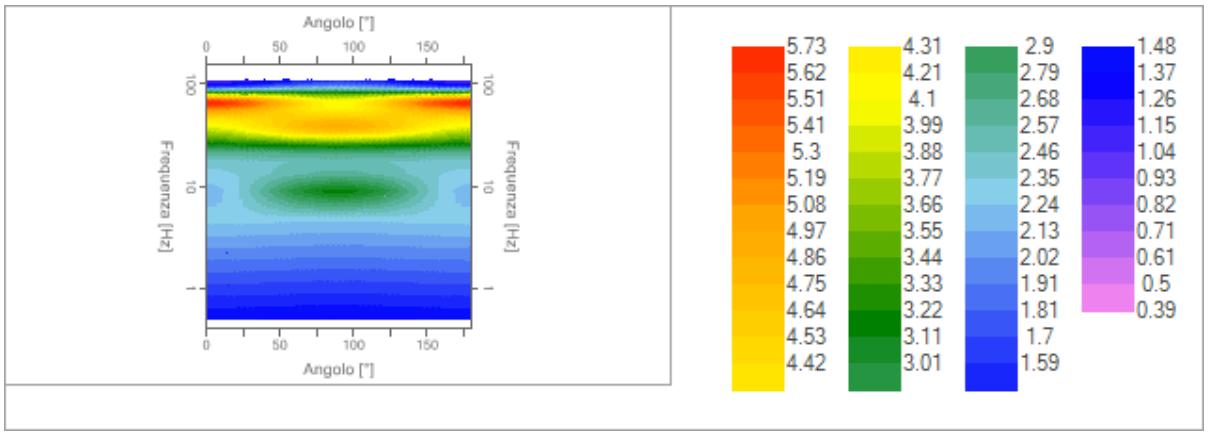
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

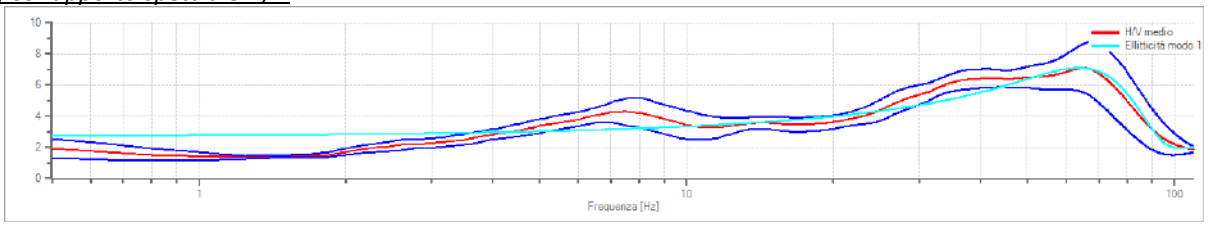
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	110.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	30.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 65.15 Hz ±0.22 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Verifiche SESAME:

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

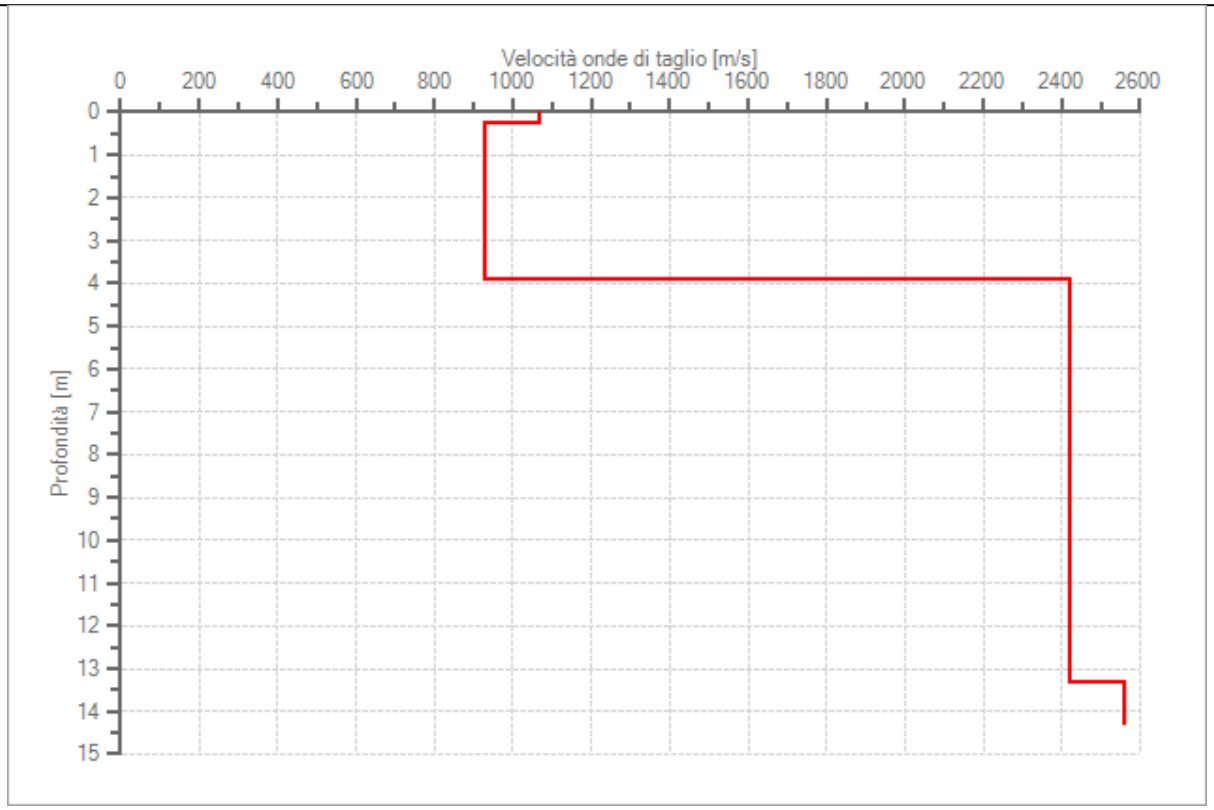
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati:	4	
Frequenza del picco dell'ellitticità:	63.80	Hz
Valore di disadattamento:	0.14	
Valore Vs30:	2058.74	m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m^3]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.25	24	0.3	1070
2	0.25	3.65	26	0.3	930
3	3.9	9.45	27	0.3	2420
4	13.35	1	28	0.3	2558



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Categorie di sottosuolo
Decreto del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Categoria A
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Osservazioni: la curva del rapporto H/V esibisce un andamento tipico dei suoli rigidi senza evidenti picchi del rapporto che testimoniano l'assenza di contrasti di rigidità significativi nei terreni al di sotto del piano fondale. Un picco in alta frequenza è imputabile al contrasto tra la pietra calcarea superficiale del marciapiede lungo la verticale di misura ed il sottostante suolo/terreno di riporto di spessore di ca. 1.3 m. Ciò crea una inversione che risente, con molta probabilità, della presenza della cripta sottostante in prossimità della stazione di misura.

Dal modello sismostratigrafico è agevole risalire alla categoria di sottosuolo; la presenza di un ammasso roccioso affiorante caratterizzato da una velocità media delle Vs sempre maggiore di 800m/sec, considerando il basso valore di disadattamento della curva di elletticità (0.25), permette di riferirsi ad un sottosuolo di tipo A così come sotto riportato.

INDAGINE MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico
Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"
In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidezza.

Analisi del segnale con tecnica MASW
Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione
E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

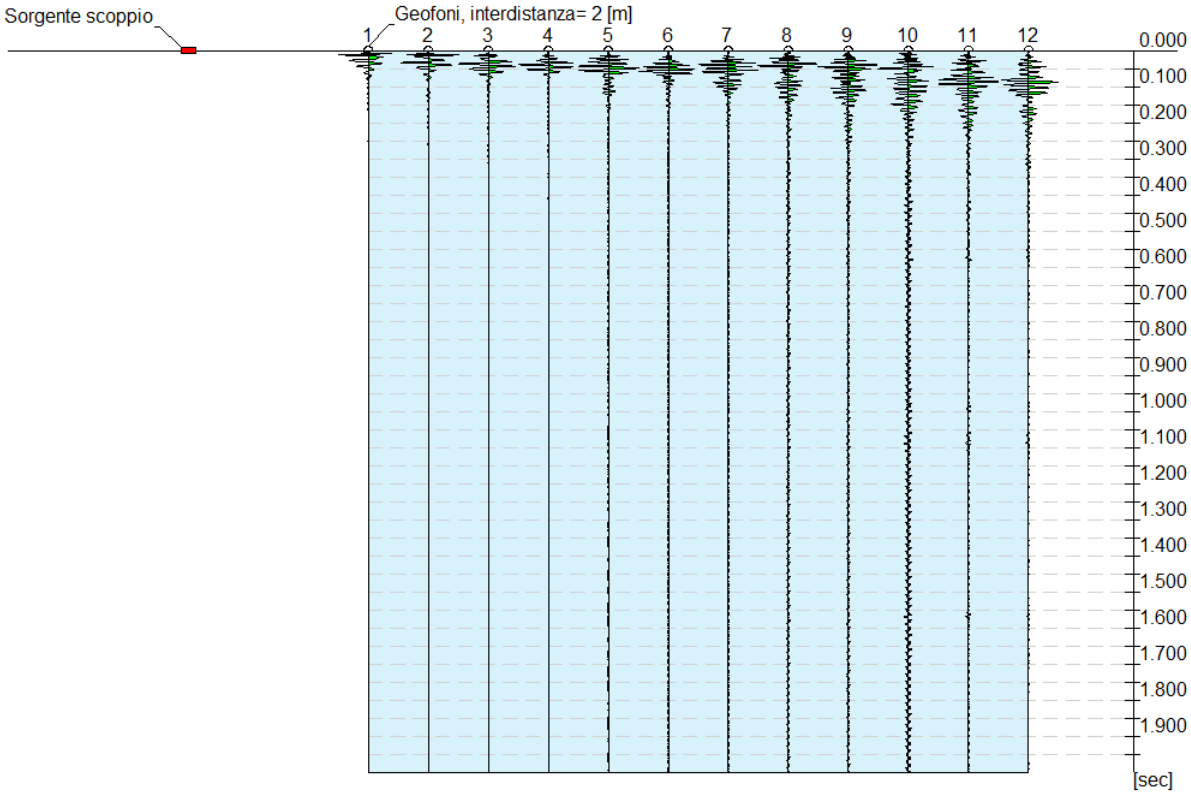
Modi di vibrazione
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

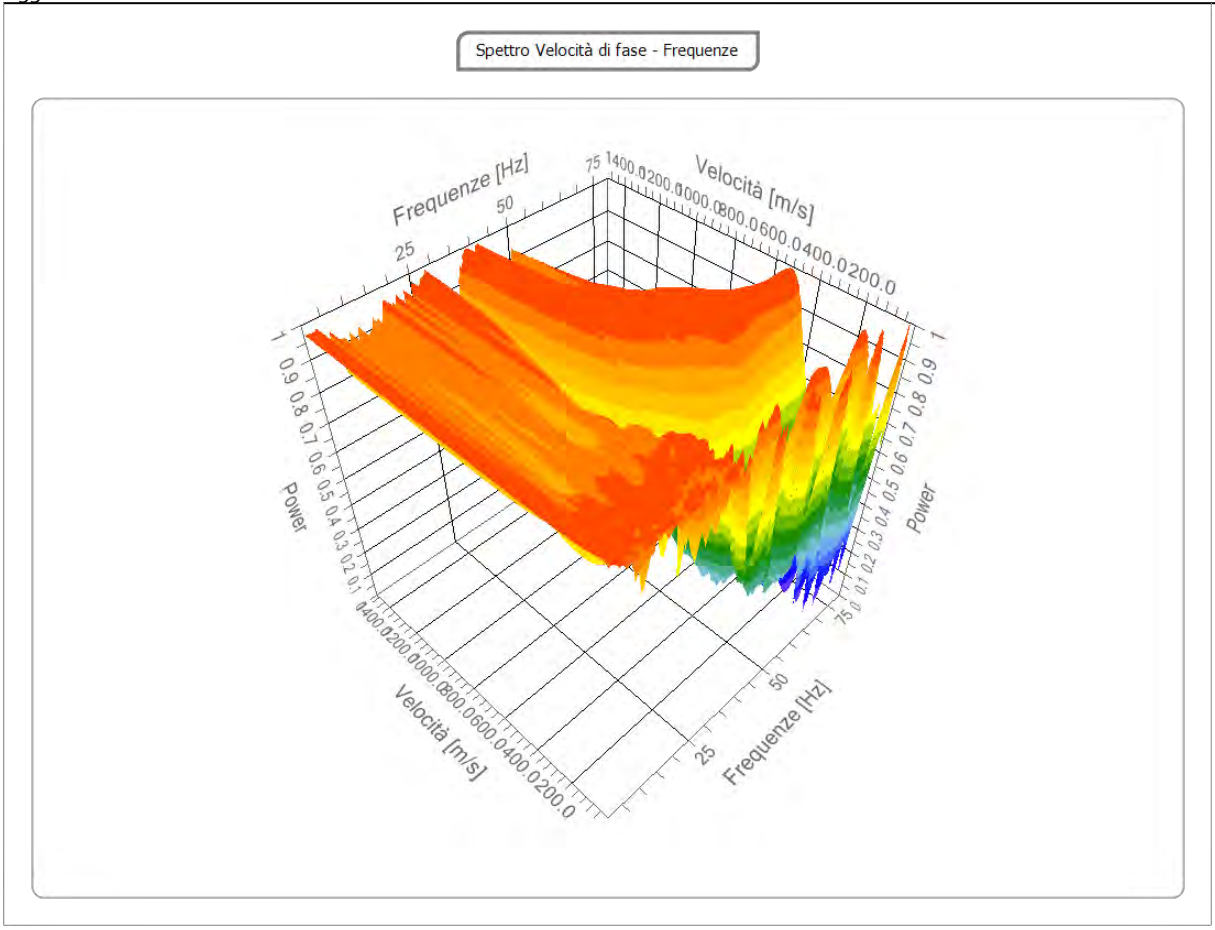
Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



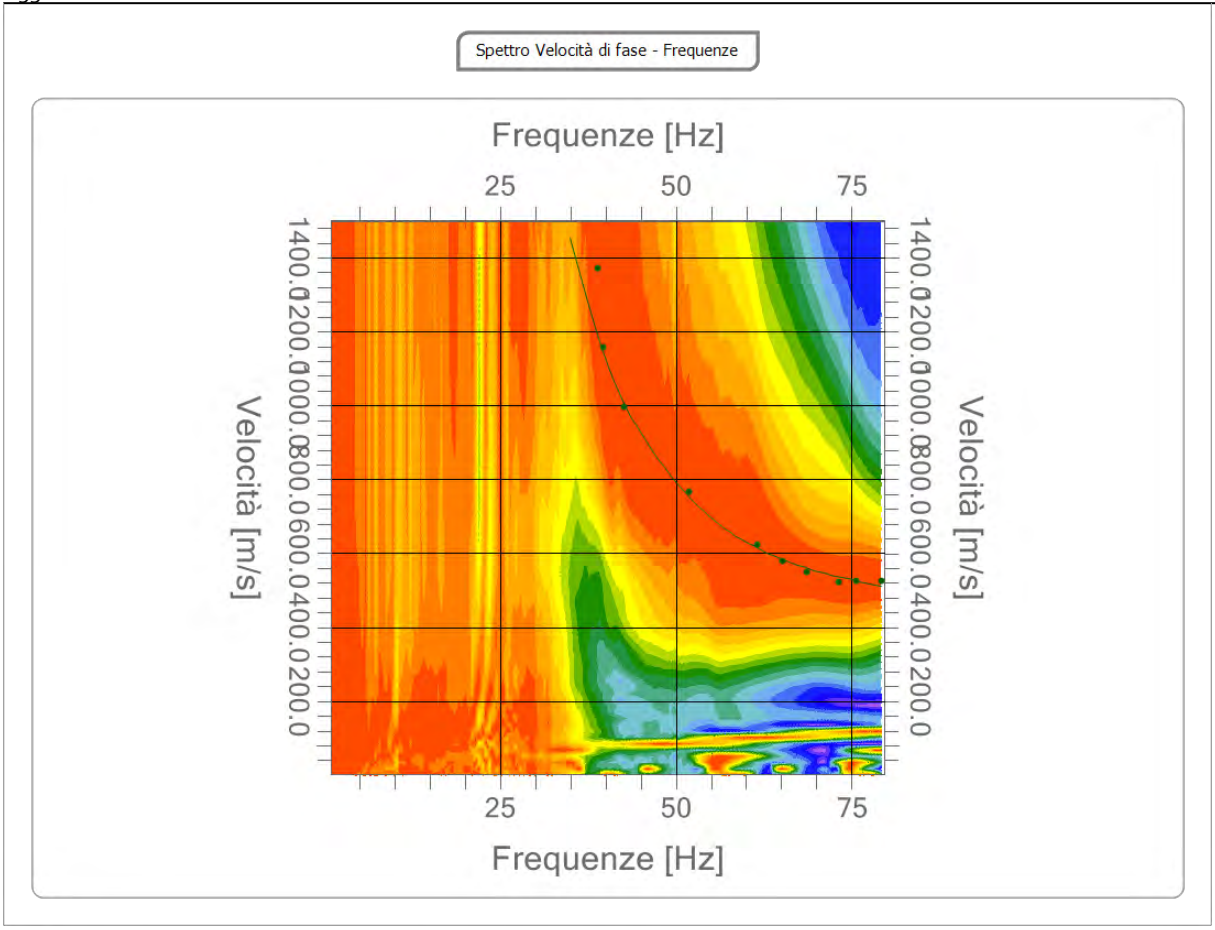
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

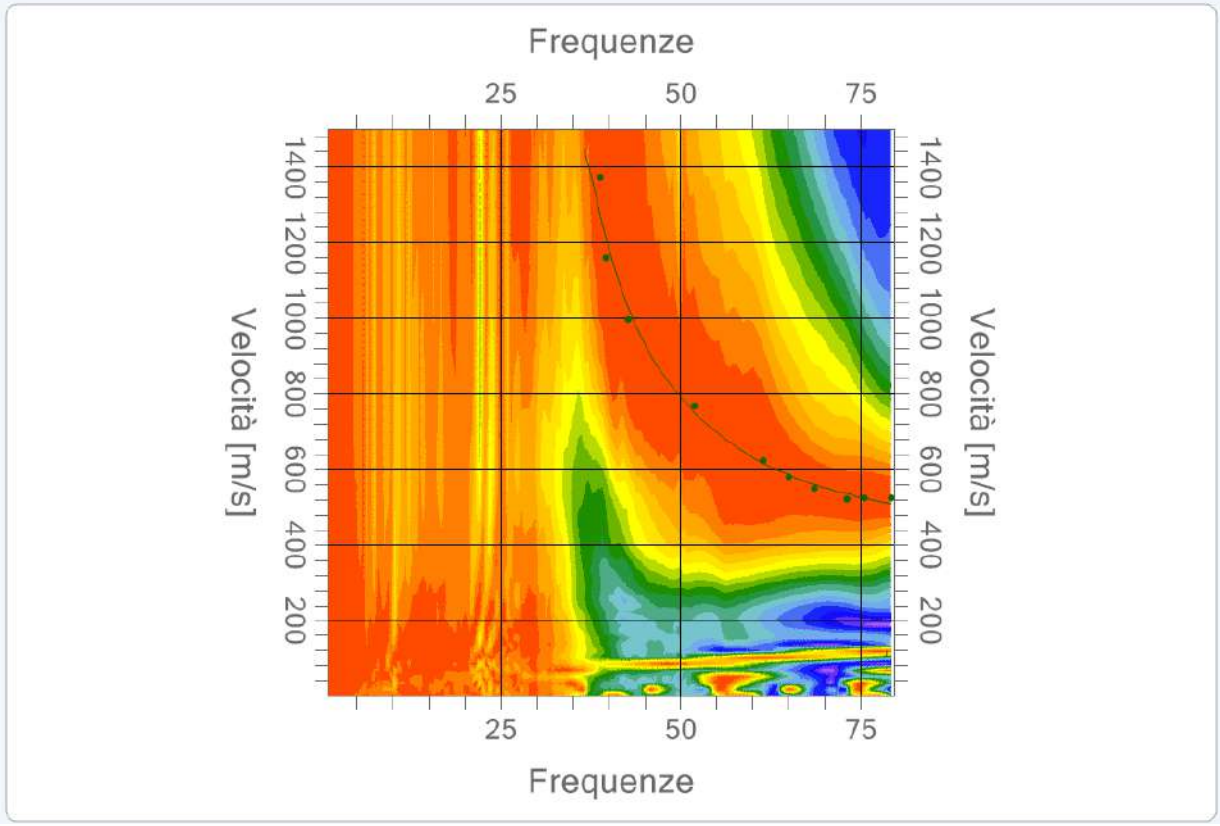
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	38.9	1370.7	0
2	39.7	1158.3	0
3	42.7	995.2	0
4	51.9	767.4	0
5	61.6	622.8	0
6	65.1	579.7	0
7	68.7	548.9	0
8	73.2	521.2	0
9	75.6	524.3	0
10	79.3	524.3	0

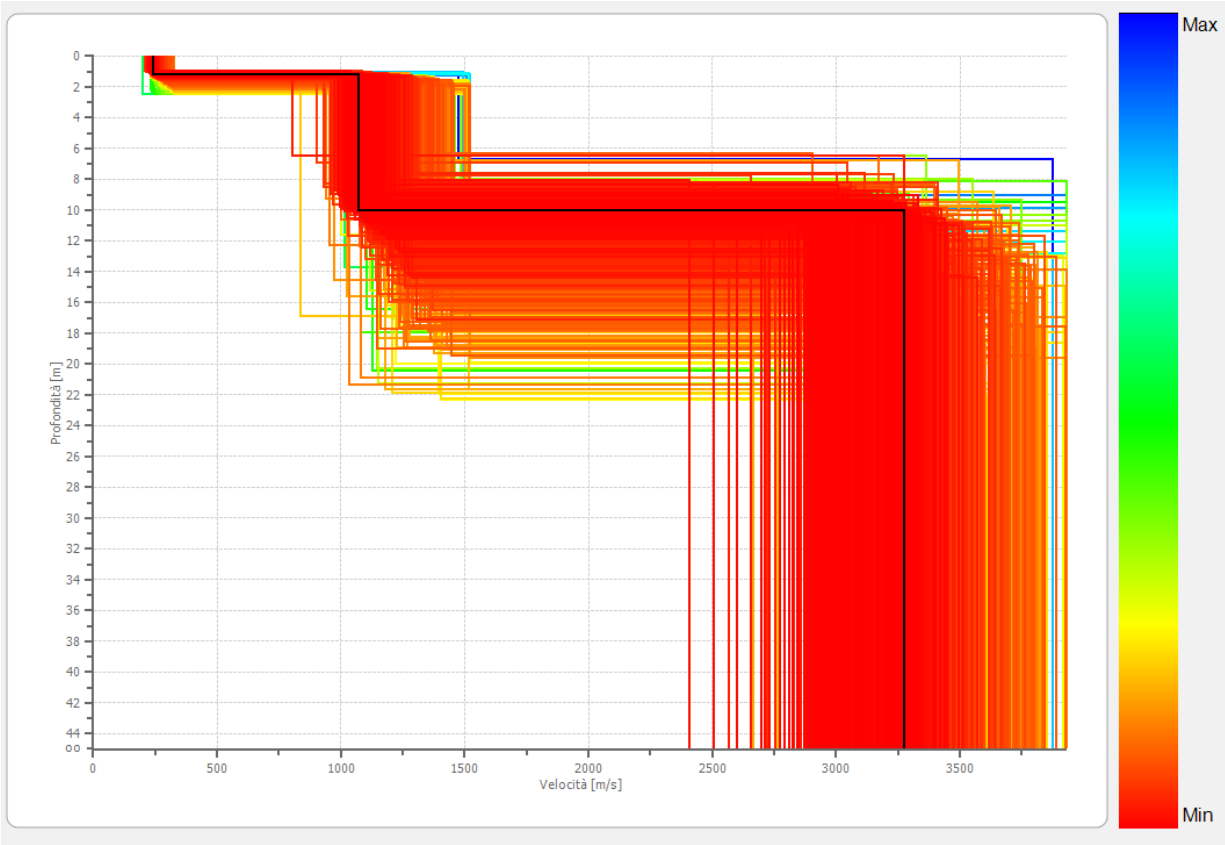


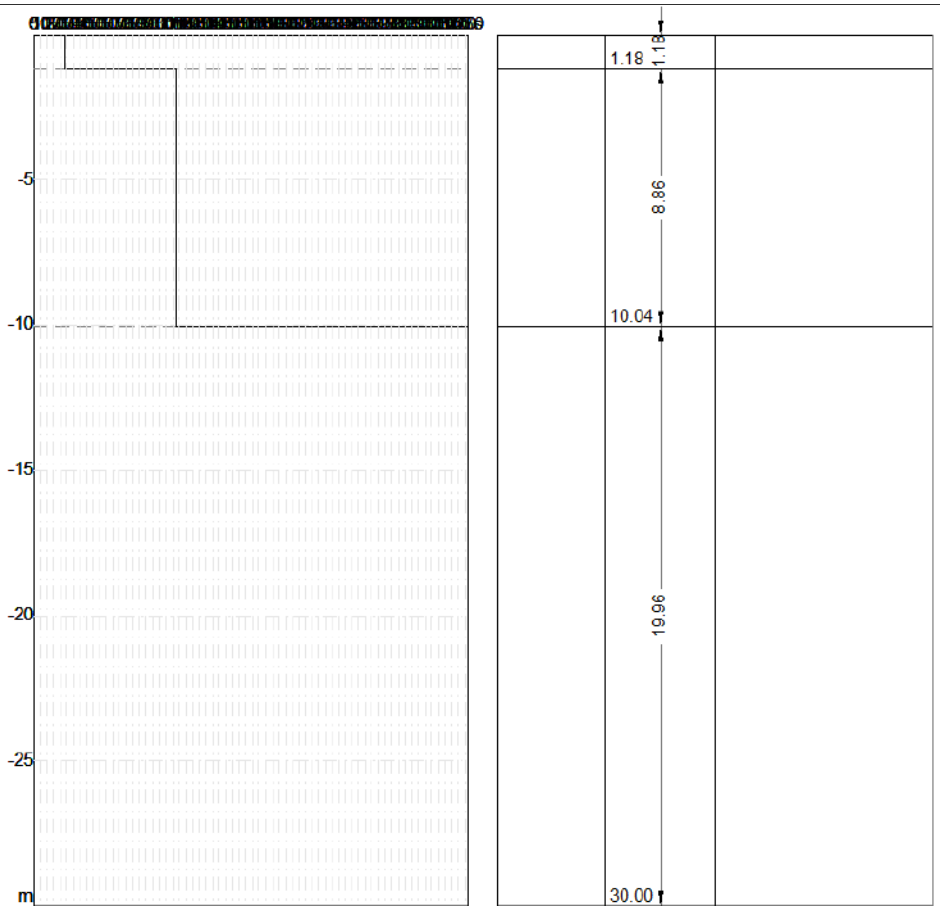
Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.18	1.18	2300.0	0.3	No	449.3	240.2
2		10.04	8.86	2400.0	0.2	No	1746.3	1069.4
3		oo	oo	2600.0	0.2	No	5105.2	3275.9

Percentuale di errore 0.214 %
Fattore di disadattamento della soluzione 0.033


Frequenze
25
50
75
1400 1200 1000 800 600 400 200
Velocità [m/s]
Frequenze


Profondità [m]
Velocità [m/s]
Max
Min



Risultati

Profondità piano di posa [m]	3.00
Vs al p.c. [m/sec]	2206.86
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.18	1.18	240.19	449.35	2200.00	0.30	126.92	444.21	274.99	329.98	N/A	1908.41
2	10.04	8.86	1069.41	1746.34	2400.00	0.20	2744.72	7319.26	3659.63	6587.33	N/A	N/A
3	oo	oo	3275.93	5105.17	2600.00	0.15	27902.53	67763.29	30559.92	64175.82	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;

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

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

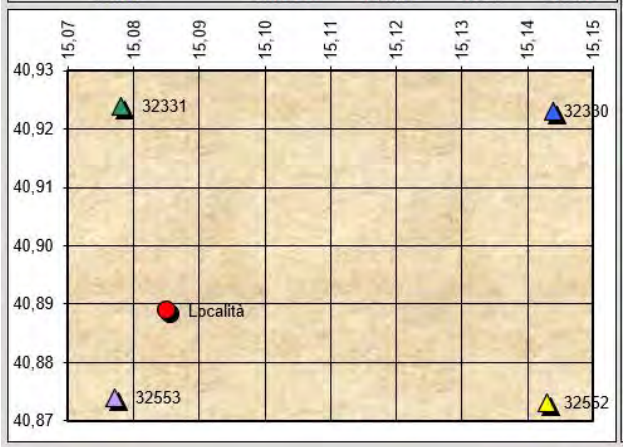
RISULTATI SINTETICI ANALISI SISMICA

- **Classificazione della categoria di sottosuolo (tabella 3.2.II delle NTC):**
  categoria 'A'
- **Classificazione della categoria topografica (tabella 3.2.III delle NTC):**
  categoria 'T2'
- **Altri parametri di input definiti nel paragrafo 3 delle NTC:** i seguenti parametri di input per la determinazione delle forme spettrali sono caratterizzati dai valori elencati:

Coordinate geografiche della località in esame:

- **Latitudine:** ϕ_{ED50} **40,88886°**
- **Longitudine:** λ_{ED50} **15,08505°**

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
32991	15,077	40,874	0,016	1,781
32992	15,143	40,873	0,047	5,184
32769	15,078	40,924	0,036	3,962
32770	15,144	40,923	0,056	6,251



Vita nominale della struttura, VN: 50 anni

Classe d'uso della struttura, C_U: III

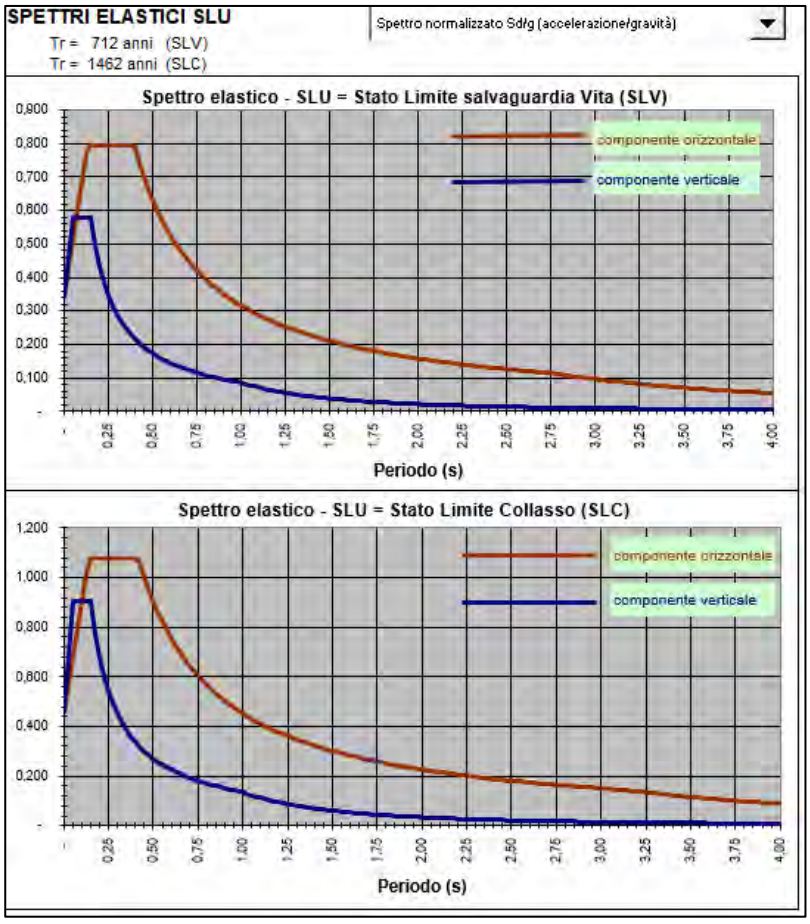
Il risultato, in termini dei parametri utilizzati per la definizione delle forme spettrali, è sintetizzato nella seguente tabella:

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S	Tb	T_C	T_D	F_v
sle	Operatività	81%	*45*	***0,723***	***2,35***	**0,29**	1,20	0,10	0,29	1,89	0,85
sle	**Danno**	63%	*75*	***0,954***	***2,33***	**0,32**	1,20	0,11	0,32	1,98	0,97
slu	**Salv. Vita**	10%	*712*	***2,884***	***2,30***	**0,40**	1,20	0,13	0,40	2,75	1,67
slu	Collasso	5%	*1462*	***3,837***	***2,35***	**0,42**	1,20	0,14	0,42	3,13	1,96

In particolare:

- Vita di riferimento, V_R = 75 anni
- Tempo di ritorno SLV, Tr = 712 anni
- Tempo di ritorno SLD, Tr = 75 anni
- Accelerazione orizzontale massima attesa sul bedrock allo SLV, **ag/g** = **0.293**
- Accelerazione orizzontale massima attesa nel sito allo SLV, **Amax** = ag/g * Ss * ST = 0.293*1.2 = **0.351**
- **$K_h = \beta_s * a_{max} = \beta_s$ *0.2351coefficiente sismico orizzontale)**
  Per β_s cfr. tab 7.11.I NTC 2018
- **$K_v = \pm 0.5\ K_h$ (coefficiente sismico verticale)**

I risultati in termini di forma ed ampiezza dello spettro di risposta sono sintetizzati nelle seguenti figure:



Tanto dovevasi per incarico ricevuto

Cautano, Ottobre 2024

Il Geologo

Costantino VETRONE

O.G.R. Campania n.2711 sez. A

GEO·LOG s.r.l.
vico Correra a S.ta Brigida 27 – Napoli
tel 081/313938

Sondaggio n° 2

COMMITTENTE: Comune
LOCALITA': N U S C O
CANTIERE: Retro VESCOVADO
q.i.: 889 m s.l.m. liv. fald. sup.: Assente data: dal 28 AL 30/4/1982

TAV.

PROFONDITA' (metri) Progress.	Parziali	Colonna Stratigraf.	Descrizione dei terreni	Carotaggio	Osservazioni
0.50	0.50		Terreno Pedogenizzato		Il sondaggio è stato effettuato a carotaggio continuo, da cui si sono prelevati un campione per le analisi di laboratorio: 1) – 3.50 m
1.80	1.30		Breccia poligenica gradata con clastidi 6–10 cm.		
3.50	2.20		Conglomerato con matrice argillosa		
4.00	0.50		Argille rossastre	■	
5.00	1.00		Calcari bianchi con marne		
6.50	1.50		Calcari con livelli di argille Conglomerato calcareo di cui i i ciottoli presentano venature di calcite.		
7.50	1.00		Calcari con venature di calcite		
9.00	1.50		Conglomerato calcareo		
12.00	3.00		Calcareniti con clasti di marne verdi di 1–4 cm.		
20.00	8.00				

GEO·LOG s.r.l.
Vico Corrieri a Sta Brigida 27 – Napoli
tel. 081/313938

Sondaggio n° 4

COMMITTENTE: Comune
LOCALITA': N U S C O
CANTIERE: Piazza del Vescovado
q.i.: 891 m s.l.m. liv. fald. sup.: Assente data: dal 11 al 13/5/1982

TAV.

PROFONDITA' (metri) Progress.	Parziali	Colonna Stratigraf.	Descrizione dei terreni	Carotaggio	Osservazioni
			Paleosuolo argilloso		Il sondaggio e' stato effettuato a carotaggio continuo
1.50	1.50		Conglomerato con ciottoli a spigoli vivi con matrice terrigena argillosa		
1.80	0.30				
3.00	1.20		Calcari e calcareniti gradate con evidenti fratture riempite di calcite		
6.50	2.50		Breccia poligenica compatta con clasti di 4–6 cm		
7.50	1.00		Conglomerati a matrice argillo so-sabbiosa		
8.50	1.00		Calcareniti grossolane e brec ce poligeniche		
20.00	11.50				