



**Comune di San Giorgio del Sannio**

Provincia di Benevento

# **DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PER ADEGUAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA "SANT'AGNESE"**

**2**

Elaborato:  
**Relazione geologica**

Visto:	Il progettista Geol. Eugenio Medugno
Visto:	

# COMUNE DI SAN GIORGIO DEL SANNIO

PROVINCIA DI BENEVENTO

*ELABORATO:*

## RELAZIONE GEOLOGICA

*PROGETTO*

**DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PER  
ADEGUAMENTO SIMICO DELLA SCUOLA  
DELL'INFANZIA E PRIMARIA DI SANT'AGNESE E  
SCUOLA DELL'INFANZIA DI GINESTRA**

*COMMITTENTE:*

**Amministrazione Comunale di San Giorgio del Sannio**

*UBICAZIONE:*

**via delle Rondini e via del Pozzo, San Giorgio del Sannio**

*RIF. CATASTALE:*

**foglio 25 – particella n. 167, foglio 26 – particella n.704**

*TAVOLE:*

- N. 1: Corografia dell'area
- N. 2: Carta ubicazione indagini

*ALLEGATI:*

- N. 1: Carta degli scenari di rischio di frana
- N.2 : Stralcio Carta Geologica
- N. 3: Stratigrafie sondaggi geognostici
- N. 4: Indagine sismica

San Nazaro, 16 Gennaio 2018

Il Geologo  
Dott. Eugenio MEDUGNO

## INDICE

Premessa .....	pag 1
1. Inquadramento geografico.....	» 1
2. Assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico .....	» 3
2.1. Assetto geologico .....	» 3
2.2. Assetto geomorfologico e stabilità dell'area.....	» 4
2.3. Assetto idrogeologico, idrologico e idrografico.....	» 5
3. Indagine in sito.....	» 6
3.1. Indagine geofisica .....	» 6
3.2. Sondaggi geognostici .....	» 7
4. Assetto litostratigrafico locale e modello geologico.....	» 7
5. Caratterizzazione geotecnica .....	» 8
6. Modellazione Sismica.....	» 9
6.1. Caratterizzazione sismica dell'area .....	» 9
6.2. Categoria del suolo di fondazione.....	» 12
6.3. Pericolosità sismica di base.....	» 15
6.4. Condizioni topografiche.....	» 17
Conclusioni.....	» 18

## TAVOLE

N. 1: Corografia dell'area

N. 2: Carta ubicazione indagini

## ALLEGATI

N. 1: Carta degli scenari di rischio

N.2: Stralcio Carta Geologica

N. 3: Stratigrafie sondaggi geognostici

N. 4: Indagine sismica

## PREMESSA

Con determina n. 4 dell'11/01/2018 l'Ufficio Tecnico Comunale - Servizio Lavori Pubblici - del Comune di San Giorgio del Sannio, dovendo predisporre un progetto relativo alla *“demolizione e ricostruzione per adeguamento sismico della scuola dell'infanzia e primaria di Sant'Agnese e scuola dell'infanzia di Ginestra”* nell'ambito degli interventi del PON 2014/2020 Asse II obiettivo 10.7.1. - ha incaricato il dott. Geol. Eugenio Medugno di redigere uno studio geologico delle aree che saranno interessate dagli interventi di cui sopra. Entrambi i siti ricadono all'interno del territorio comunale di San Giorgio del Sannio (BN). Nello specifico la prima delle due aree in esame è ubicata in località Sant'Agnese in via delle Rondini e ricade all'interno del foglio n. 26, particella 704. La seconda, invece, è ubicata in località Ginestra in via del Pozzo e ricade all'interno del foglio n 25, particella 167

La seguente relazione è conforme al D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni e s.m.i. e Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009” che disciplina attualmente l'intera normativa riguardante le modalità di progettazione e verifica delle costruzioni.

Lo scrivente, presa visione dello stato dell'arte tramite analisi degli elaborati cartografici ed unitamente a specifici sopralluoghi, ha potuto avviare una serie di indagini, dirette ed indirette, generali e di dettaglio, aventi lo scopo di definire le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni presenti nell'area in esame; di valutare gli aspetti morfoevolutivi connessi alla stabilità dell'area; di stimare la categoria di sottosuolo mediante specifiche indagini volte alla caratterizzazione geofisica dei terreni di sito.

L'indagine è stata eseguita a norma delle vigenti disposizioni di legge ed estesa ad un'ampia area circostante i siti interessati dagli interventi. I dati che verranno di seguito riportati sono frutto della sovrapposizione, ed integrazione, delle informazioni acquisite sulla litologia, morfologia ed idrogeologia dell'area in esame. Tali informazioni sono state integrate attraverso l'esecuzione di una prova di sismica a rifrazione superficiale con metodologia MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Questa sovrapposizione di dati ha conferito un notevole contributo alla realizzazione del presente elaborato geologico che ha avuto per oggetto:

- la caratterizzazione litostratigrafica dei litotipi presenti;
- la valutazione del grado di stabilità dell'area;
- le considerazioni sulla compatibilità dell'opera nel rispetto delle disposizioni dell'Autorità di Bacino;
- la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione in ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008 e s.m.i. e circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

Al fine di definire gli aspetti enunciati e pervenire, quindi, alle indispensabili acquisizioni delle caratteristiche dei terreni compresi nel volume significativo, si è proceduto alla esecuzione delle seguenti indagini:

- rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologico;
- indagine geofisica di sismica a rifrazione superficiale (MASW).



## 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di San Giorgio del Sannio è collocato nella provincia di Benevento, 10 Km a Sud-Est rispetto allo stesso capoluogo. Tale territorio rientra tra le zone interne costituenti le "Colline del Sannio", poste a Sud e a Sud-Est di Benevento. Si estende sul versante sinistro del fiume Calore e confina: a Nord con il comune di Paduli, a Est con i comuni di Apice e Calvi, a Sud con i comuni di San Nazzaro e San Martino Sannita e ad Ovest con i limiti territoriali di San Nicola Manfredi.

L'area è topograficamente individuabile nella seconda Tavola Sud-Est del Foglio 173 Benevento della Carta Topografica d'Italia, edita dall' I.G.M., e ricopre una superficie di 22,27 Km<sup>2</sup>. La massima quota topografica è di circa 450 metri s.l.m. e si rinviene in località Marzani. Il minimo altimetrico è, invece, di 141 metri s.l.m. ed è individuabile all'estremo settentrionale del territorio comunale, lungo l'alveo del fiume Calore. Il centro urbano è situato mediamente ad una quota di circa di 380 m s. l. m..

Nello specifico il sito di "Sant'Agnese" è ubicato in via delle Rondini, nel comune di San Giorgio del Sannio (coordinate relative al Sistema di Riferimento Europeo ED50: Lat. 41,064857, Long. 14,862770) ad una quota di circa 380 metri s.l.m..



Figura 1: in rosso l'area di intervento in località Sant'Agnese

Il sito di "Ginestra" invece, è ubicato tra via del Pozzo e via G. Marconi, nel comune di San Giorgio del Sannio (coordinate relative al Sistema di Riferimento Europeo ED50: Lat. 41,070432, Long. 14,854805) ad una quota di circa 380 metri s.l.m..



Figura 2: in rosso l'area di intervento in località Ginestra

## 2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 2.1. ASSETTO GEOLOGICO

L'area di indagine ricade interamente nel Foglio 432 "Benevento" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000-Servizio Geologico d'Italia e progetto Carg).

Il territorio comunale di San Giorgio del Sannio è inserito in una parte dell'Appennino meridionale in cui affiorano depositi soprattutto terrigeni di età pleistocenica ed olocenica. Infatti l'unità che affiora maggiormente è costituita dal *subsistema di Castel del Lago* del Pleistocene Medio caratterizzato da depositi fluviali e lacustri antichi; inoltre si riscontrano vaste aree ricoperte da depositi eluvio-colluviali. Tali unità si sono depositate in ambiente fluviale, lacustre e subaereo ad opera dei processi fluviali, di eruzioni piroclastiche e dei processi di degradazione meteorica.

#### *Subsistema di Castello del Lago (Pleistocene medio)*

E' rappresentato in prevalenza da sabbie e ghiaie eterometriche poligeniche mediamente cementate con matrice sabbiosa e da conglomerati bruno – rossicci poligenici ed eterometrici a vario grado di cementazione, mal stratificati, con alternanze di banchi e strati di sabbie e intercalazioni di peliti grigiastre. La matrice del conglomerato è sabbiosa e di colore rossastro. La stratificazione in genere non è evidente; molto raramente si osservano strati da medi a molto spessi fino a megastrati. Generalmente i clasti sono ben arrotondati e a bassa sfericità, da moderatamente a mal classati, con granulometria del granulo (2–4 mm) al ciottolo grossolano (128–256 mm). Dal punto di vista litologico i ciottoli sono costituiti da calcareniti, calcari micritici, calcari marnosi, arenarie e siltiti.

Il subsistema di Castel del Lago ha uno spessore compreso tra pochi metri ed alcune decine di metri e poggia con contatto inconforme in parte sulla Formazione delle Argille



Varicolori, in parte sul membro sabbioso di Apollosa della Formazione della Baronina. L'età è attribuibile al Pleistocene medio. L'omogeneità litologica e la morfologia dell'area pressoché tabulare non consentono di distinguere le facies fluviali da quelle lacustri. Pertanto l'ambiente deposizionale viene considerato fluviale e lacustre anche in accordo con *Pescatore et alii* (1986). La formazione è stata rinvenuta in tutti i sondaggi geognostici ubicati nelle immediate vicinanze dell'area oggetto degli interventi.

#### ***Depositi eluvio-colluviali (Olocene)***

Sono caratterizzati da sedimenti sabbioso-limosi di colore bruno o più raramente scuro. Essi rappresentano il prodotto della alterazione dei depositi piroclastici ed hanno uno spessore medio non inferiore ad 1 m. Lo spessore di tali depositi può raggiungere anche i 3-5 m. Sono presenti inoltre depositi a matrice prevalentemente pelitica con frammenti di varia natura, eterometrici, con spessore variabile, fino ad un massimo di 3-5 m comprendenti anche le piroclastiti (ceneri, piccole pomici, lapilli) rimosse e risedimentate, commiste ad elementi riferibili alle unità sedimentarie sottostanti. I depositi eluvio-colluviali costituiscono una coltre superficiale di spessore variabile, frequentemente pedogenizzata e rimaneggiata per ripetuti interventi antropici, e si rinvencono comunemente come depositi di fondo valle, al piede dei versanti o sulle superfici morfologicamente spianate.

Da un attento rilevamento geologico e dall'esame delle stratigrafie consultate relative ai sondaggi geognostici, le aree strettamente interessate dalle opere oggetto dell'indagine risultano caratterizzate prevalentemente dall'affioramento di litologie eluvio-colluviale. Tali depositi sono caratterizzati dalla presenza di sedimenti sabbioso-limosi pedogenizzati di colore bruno alterate e degradate.

## **2.2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO E STABILITÀ DELL'AREA**

La morfologia del territorio comunale di San Giorgio del Sannio è tipica delle zone collinari caratterizzate da versanti poco acclivi e con vaste aree spianate e sub-pianeggianti derivanti dai processi morfogenitici che in passato le hanno generate. La disomogeneità geomorfologica è riferibile ad una erosione di tipo selettivo che ha diversamente modellato il paesaggio a causa della differente costituzione litologica dei materiali affioranti.

In particolare i due siti in esame rientrano in una vasta area sub-pianeggiante che comprende il centro abitato del Comune di San Giorgio del Sannio e sono entrambe situate alla quota di circa 380 metri s.l.m..

Lo studio geomorfologico, oltre che alle aree direttamente interessate dalle opere in progetto, è stato esteso, in modo particolarmente accurato, ad una ampia area circostante i siti in esame. Mediante l'analisi di dettaglio delle condizioni di equilibrio dell'area e dell'attività erosiva esercitata dai corsi d'acqua principali, nonché dai solchi di

corrivazione presenti, è stato possibile definire se ed entro quali limiti il processo morfoevolutivo in atto interviene sulle condizioni attuali di stabilità dell'area stessa.

Nello specifico le aree in esame presentano pendenze medie molto basse e un profilo morfologico abbastanza regolare anche se non mancano variazioni di acclività che diventano frequenti e brusche in prossimità delle incisioni. La morfologia dell'area è legata principalmente all'assetto morfostrutturale su cui hanno agito fattori modellanti esogeni, prevalentemente legati all'azione erosiva delle acque, sia di tipo lineare che areale. Dal punto di vista morfoevolutivo i siti in esame presentano attualmente una buona stabilità d'insieme, testimoniata anche dall'assenza di segni di fenomeni di dissesto superficiali e tanto meno profondi né di particolari aspetti morfoevolutivi tali da poter indicare possibili evoluzioni morfogenetiche negative in funzione dei terreni precedentemente descritti. A ciò si aggiunga la condizione statica, generalmente soddisfacente, di gran parte delle strutture ed infrastrutture presenti nelle adiacenze delle zone oggetto degli interventi. Tale circostanza trova riscontro nella "Carta degli Scenari di Rischio di Frana (PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO) redatta dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno, (cfr. ALLEGATO N. 1). Nello specifico, come si evince dallo stralcio allegato, l'area di intervento non risulta interessata da dissesti attivi né tanto meno quiescenti e non presenta alcun vincolo idrogeologico

### 2.3. ASSETTO IDROGEOLOGICO, IDROLOGICO E IDROGRAFICO

Alla scala di indagine ed alla luce delle evidenze di carattere geologico è possibile distinguere due complessi idrogeologici:

- 1) *eluvio-colluviale*;
- 2) *sabbioso-limoso-ghiaioso*.

Il *complesso eluvio-colluviale* ricopre, con spessori variabili, la maggior parte del territorio in esame. Comprende litotipi, irregolarmente stratificati, costituiti da alternanze di lapilli, pomici e scorie in matrice cineritica. Difficile è valutarne le caratteristiche idrogeologiche. La permeabilità è nel complesso variabile per l'elevata eterogeneità che lo caratterizza. Nel dettaglio si può affermare che il grado di permeabilità risulta notevolmente basso nelle cineriti, a causa dei fenomeni di argillificazione delle stesse, ed assume valori medio-alti negli orizzonti, tasche e lenti di pomici e lapilli. Nella sua globalità il complesso mostra una permeabilità primaria, per porosità, da scarsa a media.

Il *complesso sabbioso-limoso-ghiaioso* è caratterizzato da aggregati di sabbie, limi e ciottoli, nelle più disparate proporzioni ed a cementazione e/o compattazione variabile da luogo a luogo, si deduce, quindi, che la totalità dei termini è caratterizzata da una permeabilità legata principalmente alla granulometria e, localmente, alla fessurazione.



Le caratteristiche di permeabilità dei terreni e la conformazione topografica dell'area, quindi, consentono discreti quantitativi di acqua di infiltrazione, giustificando la presenza di falde idriche sotterranee. Infatti, le sabbie e le siltiti, ma soprattutto i livelli conglomeratici, presentano una permeabilità di tipo matriciale elevata e le aree in cui essi affiorano rappresentano zone di drenaggio preferenziale, localmente interrotte da intercalazioni limose-argillose meno permeabili che possono dar luogo, in prossimità dei fossi incisi, ad emergenze idriche anche significative. Tale complesso idrogeologico è caratterizzato da un grado di permeabilità medio per porosità.

Ai fini della ricostruzione della circolazione idrica sotterranea si è tenuto conto delle risultanze di lavori esistenti e studi riguardanti l'area, delle stratigrafie relative ai sondaggi geognostici eseguiti per altre indagini e del rilevamento idrogeologico, consistito, principalmente, nella misurazione dei livelli di soggiacenza della falda all'interno di pozzi ubicati nelle vicinanze delle aree in esame. Dalle misure piezometriche eseguite è stato rilevato un livello idrico a profondità comprese tra i 12 e i 13 metri dal p.c.. Si sottolinea che il livello statico della falda potrà subire oscillazioni nei periodi di massimo apporto idrico e a seguito di periodi caratterizzati da eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati.

La pluviometria dell'area è stata ricostruita utilizzando i dati di piovosità dedotti dagli annali idrologici dell'Istituto Idrografico e Mareografico di Napoli. Le stazioni pluviometriche maggiormente significative dell'area sono rappresentata dal pluviometro di San Nazzaro (477 m s.l.m.), Apice (250 m s.l.m.) e Benevento (170 m s.l.m.). L'analisi dei dati pluviometrici, condotta su un periodo statisticamente significativo, ha permesso di determinare un valore di piovosità media annua di circa 900 - 1000 mm.

### **3. INDAGINI IN SITO**

Ai fini della caratterizzazione sismica, in corrispondenza dei due siti di intervento, sono state eseguite n. 2 indagine sismiche a rifrazione superficiale MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Dal punto di vista stratigrafico sono state consultate le indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze con particolare riferimento al sondaggio geognostico S102 relativo al PUC del Comune di San Giorgio del Sannio, per il sito di Ginestra e al sondaggio geognostico S47 relativo al PUC del Comune di San Giorgio del Sannio, per il sito di Sant'Agnese (cfr. TAVOLA N.2 E ALLEGATO N.3), entrambi effettuati nelle vicinanze delle aree in esame.

#### **3.1. INDAGINE GEOFISICA**

Tali indagini sono state finalizzate alla valutazione delle caratteristiche sismiche del sottosuolo e sono consistite in n. 2 profili sismici a rifrazione superficiale di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) della lunghezza di 24,00 metri. Tale

metodologia, basata sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh, consente di ricavare il valore della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in maniera indiretta. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (da 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con distanza intergeofonica di 1,00 m. La lunghezza complessiva dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 1D dei terreni di sedime fino alla profondità di circa 35 m dal p.c.. I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con appositi programmi (Geopsy-Dinver per le elaborazioni relative ai dati acquisiti con tecnica MASW) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo PASI 24 bit 24 canali, con acquisizione computerizzata dei dati, massa battente di 8 kg quale sorgente generatrice di onde sismiche e geofoni verticali con frequenza di 4.5 Hz.

L'indagine geofisica di sito è stata indirizzata esclusivamente alla determinazione del parametro  $V_{s30}$  ed ha permesso una stima della variazione di velocità delle onde di taglio " $V_s$ " lungo la verticale fino a profondità superiori ai 30 metri (i principi teorici di tale metodologia sono riportati nel report annesso ai risultati dell'indagine - ALLEGATO N. 4).

### 3.2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per quanto concerne i sondaggi geognostici S102 e S47 relativi al PUC del Comune di San Giorgio del Sannio e realizzati nelle vicinanze delle aree oggetto degli interventi, sono stati spinti, rispettivamente, fino alla profondità massima di circa -28,00 m dal piano campagna e -20,00 dal p.c. (cfr. ALLEGATO N.3). Durante le fasi di perforazione sono stati prelevati diversi campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno a diverse profondità. Per la descrizione dei termini stratigrafici si rimanda ai prospetti allegati.

## 4. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE E MODELLO GEOLOGICO

L'esame litostratigrafico dei sondaggi geognostici disponibili unitamente alle indagini sismiche, appositamente eseguite, hanno permesso di ricostruire l'assetto stratigrafico dell'area investigata. In linea generale le stratigrafie relative ai sondaggi geognostici evidenziano la presenza di litotipi a prevalente componente limoso sabbiosa ascrivibili alla formazione fluvio-lacustre e sottoposta ai depositi eluvio-colluviali di origine piroclastica.

### Sito di Sant'Agnese

Per la definizione dell'assetto litostratigrafico relativo al sito di Sant'Agnese è stato fatto riferimento alla stratigrafia relativa al sondaggio geognostico n. S47 eseguito nelle vicinanze dell'area in esame e realizzato per il Piano di Zona di S.Agnese. Dall'esame litostratigrafico del sondaggio geognostico è stata ricavata la seguente serie litologica e stratigrafica.



Al di sotto dei depositi piroclastici e cineritici alterati e degradati, con spessori variabili e compresi tra i circa 3,50 m e i circa 4,00 m, è presente la formazione fluvio-lacustre caratterizzata da limo sabbioso di colore giallo ocra con intercalazioni di livelli siltosi grigiastri, di sabbie e ghiaie e siltiti sabbiose con livelli argillosi verdastri fino ad una profondità di circa 15,00 m..

In successione, tali depositi fluvio-lacustri sono costituiti da sabbia e ghiaia e sabbia argillosa di colore giallo e si rinvencono, presumibilmente, come evidenziato nel sondaggio S47, fino ad una profondità di circa 20 m, massima profondità investigata dal sondaggio geognostico.

### Sito di Ginestra

Per la definizione dell'assetto litostratigrafico relativo al sito di Ginestra è stato fatto riferimento alla stratigrafia relativa al sondaggio geognostico n. S102 eseguito nelle vicinanze dell'area in esame e realizzato per il Piano di Recupero di Ginestra. Dall'esame litostratigrafico del sondaggio geognostico è stata ricavata la seguente serie litologica e stratigrafica.

Al di sotto dei depositi piroclastici e cineritici e con livelli di pomici e lapilli alterati e degradati, con spessori variabili e compresi tra i circa 4,00 m e i circa 4,50 m, è presente la formazione fluvio-lacustre caratterizzata da sabbia siltosa, sabbia e ghiaia e sabbia argillosa di colore giallo con intercalazioni di livelli argillosi verdastri fino ad una profondità di circa 13,00 m.. In successione, tali depositi fluvio-lacustri sono costituiti da sabbia leggermente argillosa di colore giallo fino ad una profondità di circa 28 m dal p.c., massima profondità investigata dal sondaggio geognostico.

## **5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

Per la caratterizzazione fisico-meccanica e la definizione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere in oggetto, è stato fatto riferimento a indagini e studi eseguiti in zone limitrofe e dalla bibliografia esistente. Pertanto, si precisa che i dati di seguito forniti sono puramente indicativi e desunti dalla bibliografia e da indagini eseguite nelle vicinanze alle aree in esame. Per tale motivo si sottolinea che prima di iniziare i lavori di costruzione degli edifici scolastici dovrà essere eseguita una accurata campagna di indagini geognostiche e geotecniche in corrispondenza dei siti in oggetto. Nello specifico dovranno essere eseguiti, per ognuno dei siti oggetto degli interventi, almeno n. 1 sondaggio geognostico a rotazione e a carotaggio continuo, almeno n. 2 prelievi di campioni indisturbati di terreno da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio e n. 2 prove spt. Inoltre attraverso l'esecuzione dei sondaggi geognostici sarà possibile definire con maggior dettaglio il modello geologico del sottosuolo e l'assetto stratigrafico delle due aree in esame.

Sarà cura del tecnico strutturista definire i parametri geotecnici caratteristici del terreno da utilizzare per il calcolo strutturale.



**Sito di Sant'Agnese**

Piroclastiti cineritiche (da 0.00 a circa 4.00 metri dal p.c.)

$\gamma_n$  : 16,00 (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$  : 0,00 (kN /m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  : 18°

Limo con sabbia con intercalazioni di livelli limoso-argillosi grigiastri e verdastri (da circa 4.00 a 15.00 metri dal p.c.)

$\gamma_n$  : 17,00 (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$  : 13,00 (kN /m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  : 20°

**Sito di Ginestra**

Piroclastiti cineritiche con livelli di pomici e lapilli (da 0.00 a circa 4.00 metri dal p.c.)

$\gamma_n$  : 16,00 (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$  : 0,00 (kN /m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  : 17°

Limo con sabbia con intercalazioni di livelli limoso-sabbiosi (da circa 4.00 a 12.00 metri dal p.c.)

$\gamma_n$  : 17,00 (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$  : 9,00 (kN /m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  : 19°

Sabbia con limo con intercalazioni di livelli limoso-sabbioso (da 12.00 a 20.00 metri dal p.c.)

$\gamma_n$  : 18,00 (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$  : 5,00 (kN /m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  : 22°

**6. MODELLAZIONE SISMICA**

Per la valutazione del modello sismostratigrafico, la determinazione del parametro  $V_{s30}$ , la definizione della categoria del suolo di fondazione e dei principali parametri dinamici dei terreni presenti nell'area in esame ci si è basati su considerazioni teoriche e sui risultati di n. 2 profili sismici a rifrazione con metodologia MASW appositamente eseguite.

**6.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA**

In relazione alla sismicità il territorio comunale di San Giorgio del Sannio rientra nell'elenco delle località della Campania dichiarate sismiche di I Categoria, definendo l'area ad alto rischio sismico, come previsto dall'aggiornamento della Classificazione

Sismica dei Comuni della Campania, Delibera di Giunta Regionale N° 5447 del 07/11/2002.

Tutte le conoscenze scientifiche al momento disponibili sono riassunte nella “Mappa di Pericolosità Sismica” del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2005, n. 3519, All. 1b) dalla quale si rileva che l'area in esame è ad alta pericolosità.

Il Comune di San Giorgio del Sannio, infatti, è compreso in quella fascia di Appennino meridionale interessata nel passato da grandi processi deformativi la cui evoluzione ha portato, a partire dal Pliocene, alla nascita dei principali lineamenti strutturali. Quest'ultimi sono rappresentati prevalentemente da sistemi di faglie distensive orientati in direzione appenninica (NW-SE). L'Appennino Campano rappresenta, infatti, una delle zone a più alta sismicità della penisola italiana, chiara evidenza che i processi tettonici che hanno modellato la catena sono tutt'ora in atto. I dati relativi alla sismicità storica evidenziano che questo transetto di Appennino campano compreso tra l'area del Matese, il Sannio e l'Irpinia sia una delle regioni a potenziale sismogenetico più elevato d'Italia (cfr. Tabella 3).

Data	Intensità (MCS)	Aree interessate dal sisma
5 maggio 1456	XI	Italia Centro – Meridionale
19 agosto 1561	IX – X	Vallo di Diano (province di Salerno e Potenza)
5 giugno 1688	XI	Campania – Molise (province di Benevento, Caserta, Avellino, Campobasso, Isernia)
8 settembre 1694	X - XI	Irpinia-Basilicata (province di Avellino e Potenza)
14 marzo 1702	X	Sannio – Irpinia (province di Benevento ed Avellino)
29 novembre 1732	X –XI	Irpinia
9 aprile 1853	X	Irpinia e le alte valli dei fiumi Sele ed Ofanto
28 luglio 1883	X	Casamiciola – Isola d'Ischia
23 luglio 1930	X	Irpinia
23 novembre 1980	X	Irpinia-Basilicata

Tabella 3 - Elenco dei maggiori terremoti che hanno interessato il territorio regionale nell'ultimo millennio (Boschi et al., 1997).

Tale area, infatti, è caratterizzata da terremoti di forte intensità, e nella quale si registrano terremoti distruttivi con magnitudo pari o superiore a 7 intervallati con sequenze sismiche di bassa energia con carattere di sciame. In effetti si nota che la maggior parte dei terremoti distruttivi che hanno interessato l'area irpino-sannita sono tutti localizzati in una fascia piuttosto ristretta, ampia circa 30-50 Km, che si estende in corrispondenza dell'asse della catena tra Molise e Basilicata secondo la direzione appenninica NW-SE, in coerenza con i lineamenti tettonici più significativi. Pertanto è lecito ritenere che le strutture sismogenetiche dei terremoti caratterizzati da più elevata energia abbiano andamento secondo l'asse longitudinale della catena.

Numerosi studi sismologici eseguiti negli ultimi anni nell'area irpino-sannita e molisano-sannita evidenziano, in linea di massima, che i meccanismi focali dei maggiori eventi sismici verificatesi sono da attribuire ad un sistema di faglie con meccanismi di rottura del tipo diretto, allineate lungo l'asse della catena, tutte sorgenti di terremoti di elevata magnitudo, interrotte e fratturate da strutture sismogenetiche secondarie di svincolo al movimento di traslazione della catena verso est. Tali lineamenti secondari, localizzati ai margini delle strutture principali con direzione ortogonale alla catena sono caratterizzate da meccanismi di rottura prevalentemente trascorrenti e sono sorgenti di terremoti di magnitudo più modesta. Essi, tuttavia, possono essere attivati dai terremoti che si sviluppano lungo l'asse della catena o possono avere funzione di "catalizzatori" di energia sismica.

In Particolare il territorio comunale di San Giorgio del Sannio presenta un'esposizione al rischio sismico elevato dovuto alla sua posizione rispetto alla catena appenninica. Quest'ultima si trova in una fase di prevalente sollevamento ed è caratterizzata dalla presenza di strutture sismogenetiche lungo le quali si concentrano i principali eventi sismici compresi quelli recenti e di bassa intensità, registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia negli ultimi anni.

#### Storia sismica di San Giorgio del Sannio

[41.061, 14.854]

Numero di eventi: 14

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
8-9	<a href="#">1688.06.05 15:30</a>	Sannio	216	11	6.98 ±0.12
8-9	<a href="#">1732.11.29 07:40</a>	Irpina	183	10-11	6.64 ±0.11
6-7	<a href="#">1905.03.14 19:16</a>	BENEVENTANO	94	6-7	4.90 ±0.16
7	<a href="#">1930.07.23 00:08</a>	Irpina	547	10	6.62 ±0.09
7	<a href="#">1962.08.21 18:19</a>	Irpina	262	9	6.13 ±0.10
4	<a href="#">1977.07.24 09:55</a>	Grottaminarda	84	5-6	4.43 ±0.13
5	<a href="#">1978.02.06 05:10</a>	Apice	90	5	4.39 ±0.18
7	<a href="#">1980.11.23 18:34</a>	Irpina-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
3-4	<a href="#">1991.05.26 12:26</a>	Potentino	597	7	5.11 ±0.09
3	<a href="#">1996.04.03 13:01</a>	Irpina	557	6	4.93 ±0.09
NF	<a href="#">1997.03.19 23:10</a>	Matese	284	6	4.55 ±0.09
NF	<a href="#">1997.10.14 15:23</a>	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ±0.09
4-5	<a href="#">2002.11.01 15:09</a>	Subapp. Dauno	645		5.72 ±0.09
2	<a href="#">2003.05.21 19:55</a>	Irpina	276	5-6	4.40 ±0.11



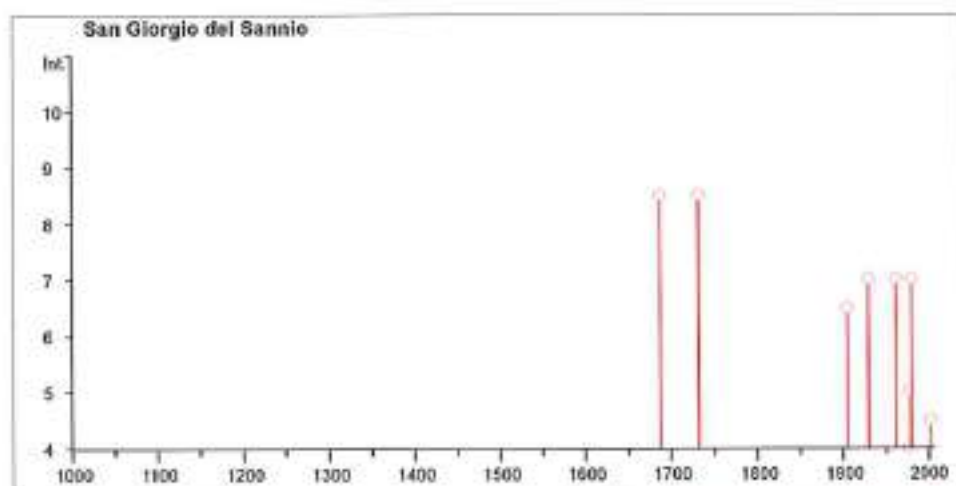


Figura 1: storia sismica di San Giorgio del Sannio dal sito [http://emidius.mi.ingv.it/DBMI1/query\\_place/](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI1/query_place/).

La valutazione della dinamica recente è necessariamente connessa in modo stretto con la sismicità storica, in quanto consente di conoscere il livello di pericolosità di un'area: una maggiore attività sismica indica, evidentemente, una maggiore dinamica e quindi una pericolosità più elevata. Per tale motivo per avere una stima della pericolosità sismica del territorio comunale è stato effettuato uno studio storico-statistico dei terremoti registrati nel comune di San Giorgio del Sannio finalizzato ad individuare le aree epicentrali più significative e prossime all'area in esame.

Dall'analisi della sismicità storica, con particolare riferimento ai dati relativi agli ultimi eventi, caratterizzati da un più elevato grado di attendibilità, nonché quelli registrati in epoca "*strumentale*" (1930, 1962 e 1980) è stato possibile individuare i terremoti ritenuti più significativi verificatisi nel passato e i cui effetti sono stati avvertiti nell'area in esame. Da detto studio si evince che il territorio comunale di San Giorgio del Sannio è ubicato nella zona di influenza delle principali zone sismogenetiche situate lungo la direttrice appenninica sulla quale si sono sviluppati alcune dei terremoti precedentemente riportati. Pertanto, gli effetti dei sismi possono interessare il territorio comunale con una violenza che può essere localmente amplificata in funzione dell'assetto geologico e geomorfologico locale e in funzione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

## 6.2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Lo sviluppo del nuovo quadro normativo (D.M.14/01/2008) esige, per quanto concerne la valutazione delle azioni sismiche di progetto, specifiche indagini volte alla caratterizzazione geofisica dei terreni di sito. In definitiva, la normativa prevede che le azioni sismiche siano fornite in chiave spettrale, ciò vale a dire una approfondita conoscenza e caratterizzazione geo-dinamica delle sequenze sismostratigrafiche.

Il D.M.LL.PP. 14/01/2008 introduce due tipologie di approccio per la determinazione spettrale delle azioni sismiche:

- **Approccio analitico** (artt. 3.2.2, 3) volto alla determinazione della risposta sismica locale considerando i parametri spettrali del terremoto di riferimento al substrato rigido così come definiti nell'allegato in calce al D.M. 14/01/2008.

- **Approccio semplificato** (artt. 3.2.2, 3) che prevede la determinazione di spettri di risposta sintetici scaturiti da assegnate categorie di sottosuolo sismico che fanno riferimento a specifici intervalli del parametro  $V_{s30}$  ( $V_{s30} = 30/\sum(h_i/V_i)$ ). Anche in tal caso, i parametri spettrali del terremoto di progetto sono riportati, per la specifica area, nell'allegato in calce al DM 14/01/2008.

Nello specifico nei due siti di indagine sono state eseguite due indagini di sismica a rifrazione superficiale con metodologia MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) (cfr. ALLEGATO N. 4). Tali indagini, basate sulle proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, hanno permesso una stima della variazione di velocità delle onde di taglio "Vs" lungo la verticale fino a profondità superiori ai 30 metri (i principi teorici di tale metodologia sono riportati nel report annesso ai risultati dell'indagine).

L'individuazione delle azioni sismiche secondo l'approccio analitico può essere richiesta dalla committenza, di propria iniziativa e/o a seguito di una esplicita richiesta del tecnico strutturista.

#### Sito di Sant'Agnese

L'indagine eseguita ha permesso di individuare tre sismostrati con velocità delle onde di taglio crescenti con la profondità. I risultati indicano che nella prima parte di sottosuolo indagato fino alla profondità di circa 1,10 metri dal piano campagna si ha un sismostrato con velocità delle onde Vs pari a 76 m/s. Dalla profondità di circa 1,10 m dal p.c. e per uno spessore di circa 5,10 m, la velocità delle onde S cresce fino a raggiungere valori di circa 199 m/s. Nel sismostrato n. 3 le velocità delle onde di taglio continuano ad aumentare e si attestano su valori di circa 297 m/s.

Nel merito, l'indagine di sismica a rifrazione superficiale (MASW) ha permesso di definire la seguente sequenza sismostratigrafica:

#### **MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO E PARAMETRI DINAMICI**

Strato	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson $\nu$	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità K (kPa)
1	1,10	241	76	1500	0,44	8664	25035	75570
2	5,10	484	199	1600	0,40	63362	177194	290327
3	23,80	561	297	1700	0,31	149955	391470	335085

Al profilo di Vs riscontrato è associato un valore di  $V_{s30}$ , riferito al piano campagna, di 250 m/s a cui corrisponde un sottosuolo di categoria C.

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale*



*miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero  $15 < NSPT, 30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fine)".*

Sarà cura del tecnico strutturista, stabilita la tipologia e la reale profondità del piano di posa delle fondazioni, definire la categoria di sottosuolo e le relative velocità.

### Sito di Ginestra

L'indagine eseguita ha permesso di individuare quattro sismostrati con velocità delle onde di taglio crescenti con la profondità. I risultati indicano che nella prima parte di sottosuolo indagato fino alla profondità di circa 5,90 metri dal piano campagna si ha un sismostrato con velocità delle onde Vs pari a 232 m/s. Dalla profondità di circa 5,90 m dal p.c. e per uno spessore di circa 1,20 m, la velocità delle onde S cresce fino a raggiungere valori di circa 293 m/s. Nel sismostrato n. 3 le velocità delle onde di taglio continuano ad aumentare e si attestano su valori di circa 329 m/s. Infine, nel sismostrato n. 4 la velocità delle onde di taglio raggiungono valori di circa 573 m/s.

Nel merito, l'indagine di sismica a rifrazione superficiale (MASW) ha permesso di definire la seguente sequenza sismostratigrafica:

Strato	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson $\nu$	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità K (kPa)
1	5,90	582	232	1500	0,41	80736	226955	400438
2	1,20	621	293	1600	0,36	137358	372741	433881
3	15,00	672	329	1700	0,34	184010	494019	522347
4	7,90	1091	573	1900	0,31	623825	1633852	1429767

Al profilo di Vs riscontrato è associato un valore di Vs30, riferito al piano campagna, di 337 m/s a cui corrisponde un sottosuolo di categoria C.

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero  $15 < NSPT, 30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fine)".*

Sarà cura del tecnico strutturista, stabilita la tipologia e la reale profondità del piano di posa delle fondazioni, definire la categoria di sottosuolo e le relative velocità.



### 6.3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'azione sismica sui manufatti è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta elastica che va riferita e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. Le azioni sismiche di progetto si definiscono in base alla pericolosità sismica del sito di costruzione e si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $ag$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei tre parametri:

- $ag$  - accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  - 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.

In allegato alla norma sono dati i valori dei tre parametri sopra citati. Questi valori sono stati calcolati (<http://essel.mi.ingv.it>) su di una griglia con passo 0.05 gradi, per un totale di 16.852 punti (NODI) ordinati da ovest a est e da nord a sud lungo tutta la penisola. Per ciascun punto o nodo, all'interno del reticolo di riferimento, vengono forniti i valori standard di  $ag$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  al 50mo percentile (Mappa di Pericolosità realizzata dall'INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

In effetti, con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/sec), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Pertanto, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (Tab. 1 All. B del D.M. 14/01/08).

La pericolosità sismica del sito è identificata con la probabilità (probabilità di superamento) che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento), si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato, determinato in base ai dati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Le caratteristiche del moto sismico sono date, come riportato precedentemente, dall'accelerazione massima al sito ( $ag$ ) e dal corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione ( $F_0$  e  $T_c$ ), definiti di seguito.

Riferendosi alle prestazioni del manufatto nel suo complesso vengono individuati gli stati limite, sia d'esercizio (stato limite di operatività e di danno), sia ultimi (stato limite di salvaguardia della vita e di prevenzione del collasso) nei confronti delle azioni sismiche.

Per quanto concerne la classe d'uso dell'opera

**Sito di Sant'Agnese**

Via	dele Randi	n°	
Comune	San Giorgio del Sannio	Cap.	80018
Provincia	Benevento		Cerca
Latitudine	WGS84 (*)		
Longitudine	Cerca		
Isola	- SINDONE - *		


41.052087, 14.862170

\* Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)\* Il software converte i dati del sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare il risultato è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.  
(2)\* Il file creato con "Salva File" può essere importato automaticamente negli applicativi Geosoft.

(1)* Coordinate WGS84 (*)		Latitudine 41,052087		Longitudine 14,862170	
(1)* Coordinate ED50 (*)		latitudine 41,051887		Longitudine 14,862170	
Classe dell'edificio					
N. Funzioni pubbliche o strategiche importanti					
<b>Cu = 2</b>					
Vita normale (Opere preventive <= 10, Opere ordinarie <= 50, Grandi opere >= 100)					
Intensificazione					
Media ponderata *					
Calcola					

Stato Lineale	Ts [mm]	A <sub>0</sub> [H]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0,081	2,310	0,303
Danno (SLD)	101	0,119	2,320	0,323
Sicurezza vita (SLV)	989	0,306	2,345	0,387
Prevalenza collasso (SLC)	1950	0,674	2,427	0,617
Periodo di riferimento per l'azione sismica	800			

CALCOLO COEFFICIENTI SISTEMI				
Punti di sostegno		Parallela		
- Stabilità dei pendii e fondazioni				
Punti di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti				
H [m]				
se [m]				
Categoria sismica	0 *			
Categoria topografica	T1 *			
	SLO	SLD	SLV	SLC
A <sub>0</sub> *	1,50	1,50	1,21	1,07
C <sub>0</sub> *	1,56	1,52	1,44	1,40
S <sub>0</sub> *	1,00	1,00	1,00	1,00
Azione massima attesa al sito [m/s²]				
	0,00			
	SLO	SLD	SLV	SLC
Sh	0,037	0,043	0,116	0,464
lv	0,064	0,021	0,058	0,232
A <sub>max</sub> [m/s²]	1,380	1,740	4,045	4,552
Rata	0,200	0,200	0,200	1,000
Calcola				

\* I valori di S<sub>0</sub>, C<sub>0</sub> ed S<sub>0</sub> possono essere variati

Sito di Ginestra

Via	del Pozzo	n°	
Categoria	San Giorgio e S. Stefano	Cap	82018
Provincia	Benevento	Gen	
WGS84 (*)			
Latitudine			
Longitudine			
Isola	-- Seleziona --		


Visualizza video della mappa di appartenenza

(\*) Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile reperire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.  
(\*\*) Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoSim.

(U)* Coordinate WGS84 (*)	Longitudine 14.953883
(U)* Coordinate ED50 (*)	Longitudine 14.954883
Classe dell'edificio	
M. Funzioni pubbliche e strategiche importanti	
L. 1	
Stato esistente	50
Opere provvisoria <=10, Opere ordinarie <=20, Grandi opere >=300	
Intervallazione	Media ponderata
Calcolo	

Stato Esistente	Tr [anni]	P <sub>0</sub> [m]	F <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> [d]
Opportunità (SLO)	60	0,091	2,387	0,303
Danno (SLO)	101	0,119	2,325	0,323
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,205	2,347	0,387
Prevenzione collasso (SLC)	1960	0,433	2,429	0,416
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI				
Muri di sostegno				
Stabilità dei pendii e fondazioni				
Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti				
H (m)	1			
u <sub>0</sub> (m)	0,1			
Categoria sismologica	C			
Categoria topografica	T1			
S <sub>0</sub> *	SLO	SLO	SLV	SLC
Amplificazione sismologica	1,50	1,50	1,23	1,07
C <sub>0</sub> *	1,55	1,52	1,44	1,40
Coef. funz. categoria	1,08	1,04	1,08	1,08
Amplificazione topografica				
Az. max massima attesa al sito [m/s²]				
Coefficienti	SLO	SLO	SLV	SLC
k <sub>0</sub>	0,027	0,043	0,115	0,463
k <sub>1</sub>	0,014	0,021	0,050	0,270
Area [m/s²]	1,339	1,747	4,036	4,541
Stato	0,200	0,240	0,200	1,000
Calcolo				

\* I valori di S<sub>0</sub>, C<sub>0</sub> ed St possono essere variati.

**6.4. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

La configurazione morfologica e l'assetto topografico delle aree in esame, caratterizzate da pendenze molto basse, permettono di classificare entrambi i siti di indagine in CATEGORIA TOPOGRAFICA T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  (cfr. Tab. 3.2.IV delle NTC 2008).

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



## CONCLUSIONI

Dalle risultanze delle indagini geologiche, geomorfologiche, litologiche e sismiche dei due siti sui quali sono previste le opere in progetto è possibile dare le seguenti conclusioni:

- 1) Dal punto di vista geologico entrambe le aree in esame sono caratterizzate dall'affioramento di depositi eluvio-colluviali costituiti da cineriti e piroclastiti sovrastanti i depositi Pleistocenici fluvio-lacustri riferibili al subsistema di Castel del Lago e costituiti da sabbie limose e argillose con intercalazioni di ciottoli in matrice sabbiosa;
- 2) Le aree in esame risultano morfologicamente stabili, come riscontrato dal rilevamento effettuato e dal confronto della "Carta degli Scenari di Rischio" (Autorità di Bacino, cfr. ALLEGATO N. 1);
- 3) Dal punto di vista idrogeologico, dalle risultanze delle indagini eseguite è stata riscontrata l'esistenza di una falda idrica alla profondità di circa 12-13 m dal piano campagna. Si precisa che tale livello piezometrico può subire sensibili variazioni a seguito di periodi particolarmente piovosi e/o a seguito delle variazioni del regime idraulico dell'acquifero;
- 4) In conformità al DM 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009", è stata individuata, attraverso indagini in situ di sismica a rifrazione superficiale con metodologia MASW, una categoria di sottosuolo riferita all'attuale piano campagna di tipo C per entrambi i siti di indagine;
- 5) Per quanto concerne l'assetto topografico delle aree è possibile classificare i siti di indagine in CATEGORIA TOPOGRAFICA T1.
- 6) Si precisa che dall'analisi delle stratigrafie relative ai sondaggi geognostici disponibili entrambi i siti interessati dalle opere presentano, in superficie, spessori variabili e compresi tra i 3,50 e i 4,00 m (sito di Sant'Agnese) e i 4,00 e i 4,50 m (sito di Ginestra) di depositi eluvio-colluviali alterati e degradati costituiti da cineriti e piroclastiti incoerente. Tali spessori, a causa delle scadenti caratteristiche fisico-meccaniche e geotecniche, andranno completamente rimossi in modo tale da poggiare il piano di fondazione sui sottostanti depositi fluvio-lacustri i quali, rappresentano il livello di terreno relativamente più idoneo per la realizzazione delle fondazioni.
- 7) Al fine di definire in modo dettagliato le caratteristiche stratigrafiche, fisico-meccaniche e geotecniche dei terreni nei siti in esame si sottolinea che prima dell'inizio dei lavori in oggetto dovrà essere eseguita una accurata campagna di indagini geognostiche e geotecniche. Nello specifico dovranno essere eseguiti, per ognuno dei siti oggetto degli interventi, almeno n. 1 sondaggio geognostico a rotazione e a carotaggio continuo, almeno n. 2 prelievi di campioni indisturbati di terreno da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio e n. 2 prove spt. Di

conseguenza prima della fase esecutiva dei lavori sarà necessario rieseguire i calcoli agli stati limite del terreno in funzione alle reali tipologie fondali adottate, alla reale profondità del piano di posa della fondazione, alla effettiva stratigrafia riscontrata e ai reali parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione.

- 8) Particolare attenzione dovrà essere prestata agli apporti idrici di origine meteorica. Per evitare il verificarsi di eventuali cedimenti sarà opportuno eliminare possibili fenomeni di infiltrazione sia delle acque bianche sia di quelle nere che potrebbero far decadere le proprietà meccaniche dei litotipi interessati dalle fondazioni dai manufatti. Per tale motivo andranno previste opere di drenaggio lungo tutto il perimetro delle strutture.
- 9) Visto e considerato che nell'area in esame sono presenti depositi incoerenti si consiglia di installare opere di sostegno provvisorie e/o permanenti di contenimento per consentire gli scavi di sbancamento per la posa in opera della fondazione.
- 10) Si consiglia, inoltre, ai sensi del D.lgs. n. 81 del 9 Aprile 2008 (Testo Unico sulla Sicurezza) e s.m.i. di adottare particolari accorgimenti atti a garantire la sicurezza delle maestranze durante le fasi di scavo.

Le opere in progetto dovranno essere realizzate in ottemperanza delle norme sismiche e geologiche vigenti, D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni e circolare n. 617 del 2 febbraio 2009". I lavori di scavo dovranno avvenire, previa comunicazione, sotto la presenza del geologo incaricato. Si raccomanda, quindi, di avvisare lo scrivente dell'inizio dei lavori e di ogni altro imprevisto che potrebbe compromettere la perfetta esecuzione dell'opera.

Pertanto l'intervento risulta compatibile con le condizioni geologiche dell'area.

Tanto doveva lo scrivente per incarico ricevuto.

San Nazzaro, 16 Gennaio 2018

Il Geologo  
Dott. Eugenio MEDUGNO



TAVOLA N. 1  
COROGRAFIA DELL'AREA

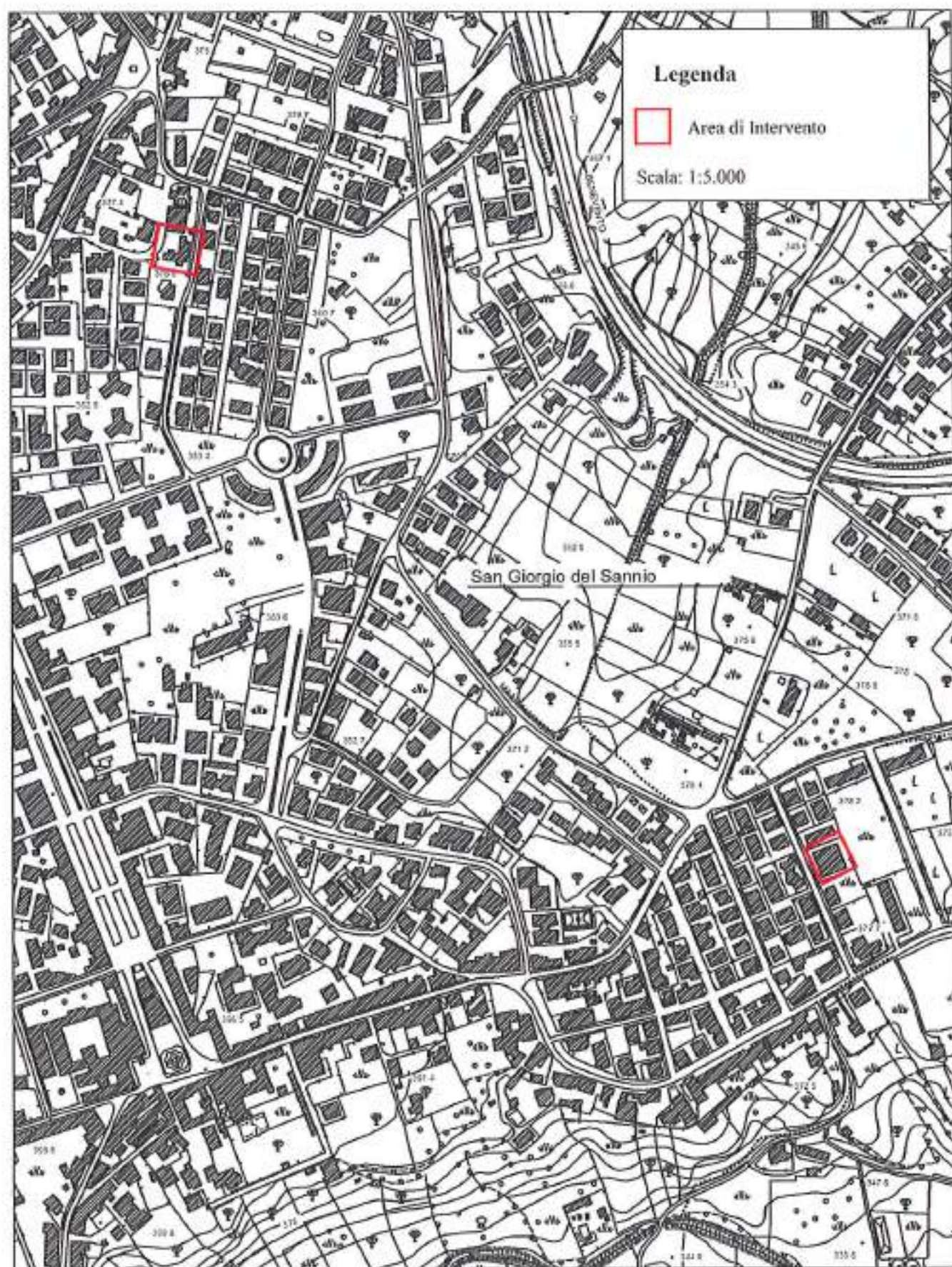
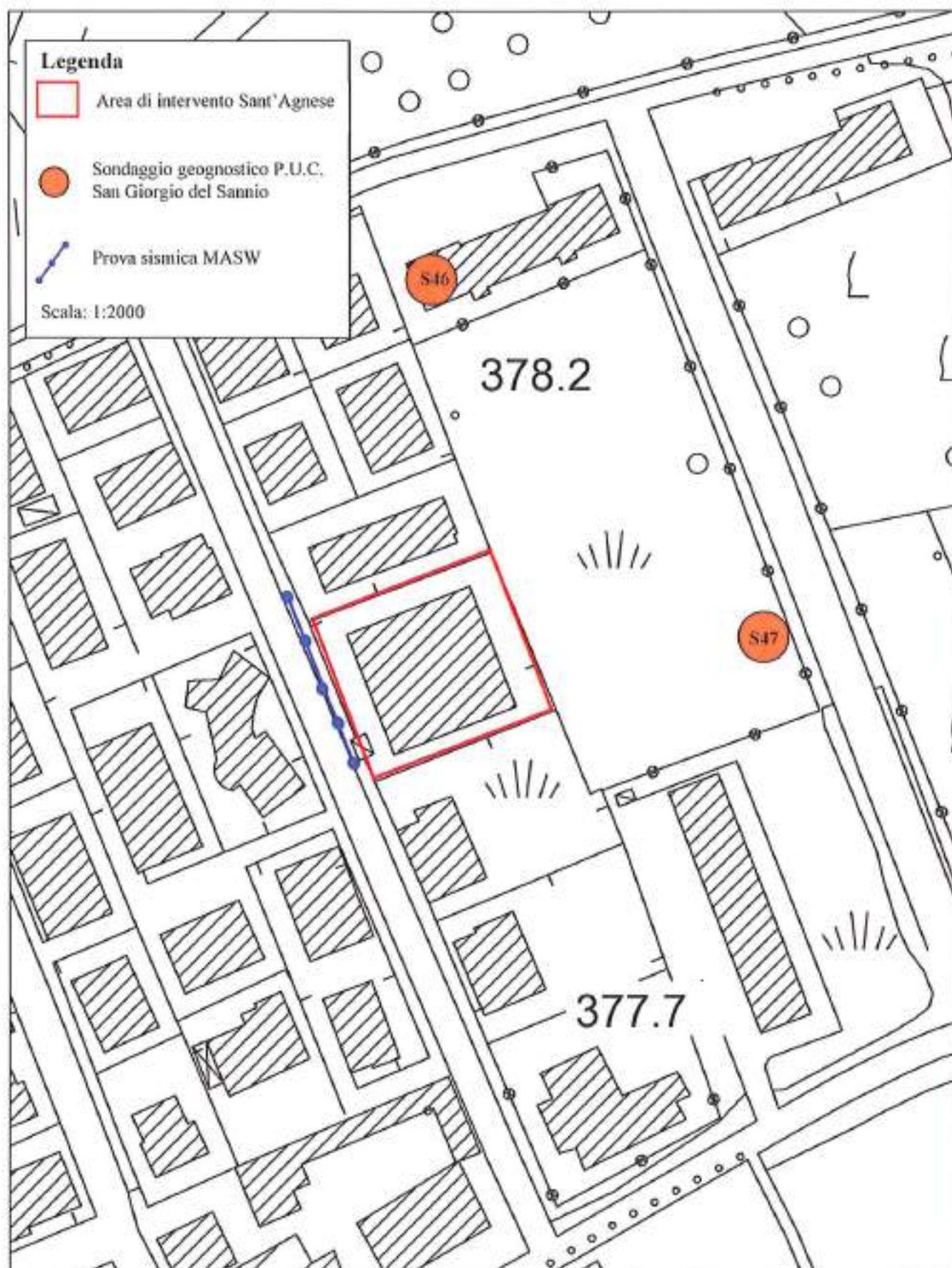




TAVOLA N. 2  
CARTA UBICAZIONE INDAGINI



**TAVOLA N. 2**  
**CARTA UBICAZIONE INDAGINI**





## ALLEGATO N. 1

Compatibilità dell'opera nel rispetto delle disposizioni dell'Autorità di Bacino

### *Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico*

*Rischio di frana*

L. n° 212 del 18 maggio 1989  
L. n° 212 del 7 agosto 1989  
L. n° 412 del 1 dicembre 1981

L. n° 212 del 12 luglio 1979  
L. n° 182 del 11 dicembre 1981

*Carta degli scenari di rischio*

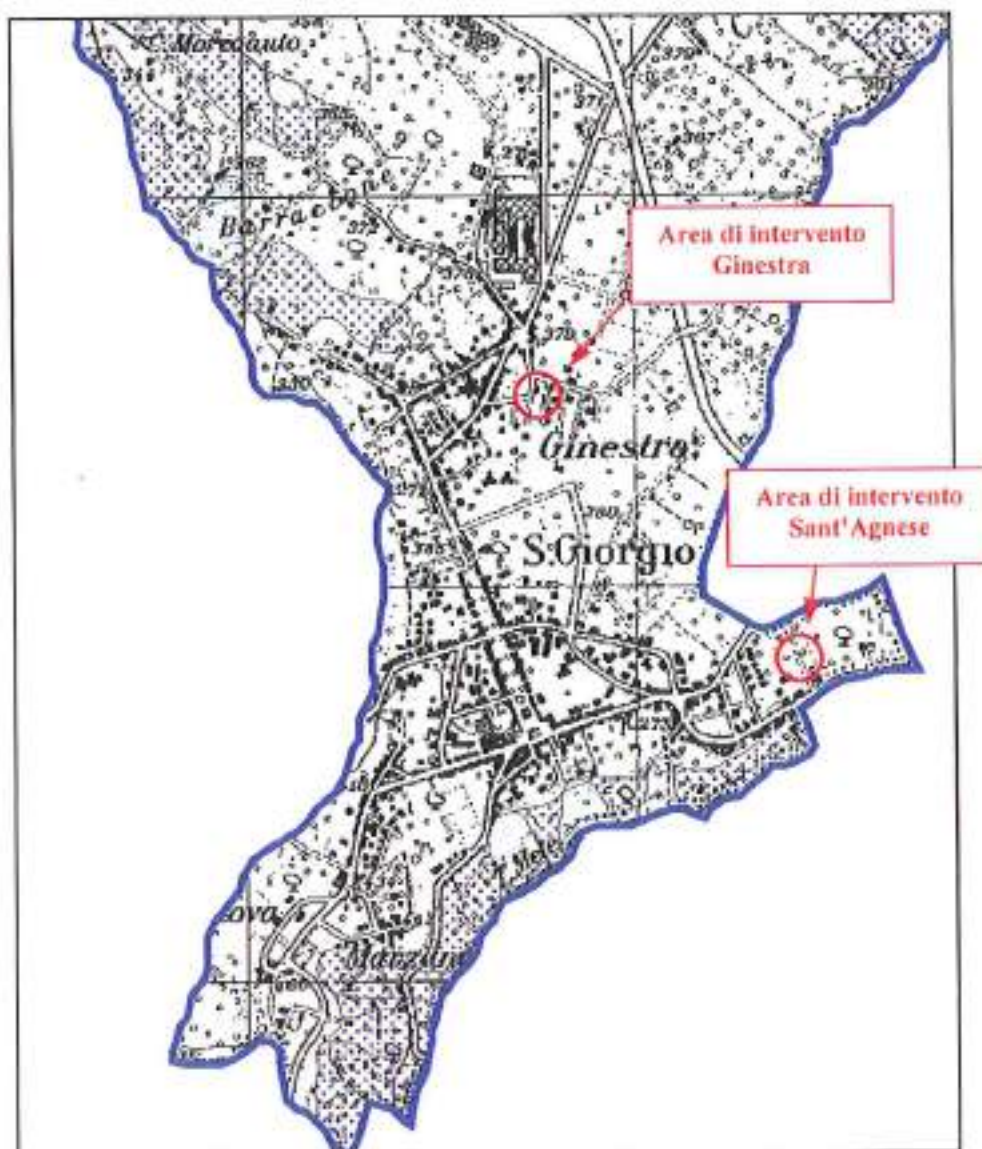
*Comune di*

*San Giorgio del Sannio*

*Regione Campania*

*Provincia di Benevento*

*Scala 1: 25.000*





## Legenda



### AREA A RISCHIO MEDIO - R2

*Nella quale per il livello di rischio presente sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.*



### AREA DI MEDIA ATTENZIONE - A2

*Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana quiescente, a massima intensità attesa media.*



*Area di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco, per la quale si rimanda al D.M. LL.PP. 11/3/88 - C1*

N.B.: Nelle aree a contorno delle frane, quando non è indicato l'ambito morfologico significativo di riferimento, l'area di possibile ampliamento deve essere estesa fino alla spartiacqua principale che secondo gli spartiti nella carta geomorfologica.

### Limiti amministrativi :



Limite Comunale (ISTAT 1991)

Aprile 2006

S.T.O. - Settore Geologico Geotecnico - VC

## ALLEGATO N. 2

Stralcio Carta Geologica Foglio 432 "Benevento" (Progetto CARG).



### Legenda

○ Area di intervento



**Depositi clivio-colluviali.** Sedimenti detritici costituiti da clasti eterometrici con matrice prevalentemente pellica; depositi sabbioso-finosi bruni podgerizzati, derivanti dall'alterazione dei Prodetti proclastici scisti, talora con lenti detritiche (bg). **OLOCENE**

### SISTEMA DEL F. CALORE (SFL)



#### SUBSISTEMA DEL F. UFFITA

**SFL<sub>4</sub>** Ghiaie e ghiaie sabbiose eterometriche, poligeniche, con intercalazioni lenticolari di sabbie e limi con ciottoli e ciottoli (SFL<sub>4</sub>). Spessore: da alcuni metri a qualche decina di metri. **PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE**



#### SUBSISTEMA DI BENEVENTO

**SFL<sub>3</sub>** Ghiaie e ghiaie sabbiose eterometriche, poligeniche. Depositi fluviali e lacustri antichi (SFL<sub>3</sub>). Spessore: da alcuni metri a qualche decina di metri. **PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE**



#### SUBSISTEMA DI CAPODIMONTE

**SFL<sub>2</sub>** Ghiaie, conglomerati, ghiaie sabbiose eterometriche, poligeniche, molto addensate, con intercalazioni lenticolari di sabbie e limi. Aluvioni antichi terrazzati, in più ordini, fino a 70-80m sull'alveo alluvio. Spessore: da alcuni metri a qualche decina di metri (SFL<sub>2</sub>). **PLEISTOCENE MEDIO**



#### SUBSISTEMA DI CASTELLO DEL LAGO

**SFL<sub>1</sub>** Ghiaie eterometriche poligeniche con lenti di sabbie e limi. Depositi fluviali e lacustri antichi (SFL<sub>1</sub>). Spessore: circa 10-100 m. **PLEISTOCENE MEDIO**

Pleistocene - Olocene



#### membro sabbioso-conglomeratico di S. Leucio del Sarnio

Sabbie giallastre e conglomerati poligenici eterometrici in strati spessi e molto spessi (BNA<sub>1</sub>). Passano lateralmente al membro pellico-arenaceo (BNA<sub>2</sub>) e nella porzione superiore al membro sabbioso (BNA<sub>3</sub>). Strutture sedimentarie: lamine piane ed inclinate a basso angolo nelle sabbie; emibridature nei colli dei conglomerati. Spessore variabile tra circa 100 e 250 m. Ambiente deposizionale: belfigio.

#### membro sabbioso di Apollonia

Sabbie e arenarie giallastre in strati da medi a molto spessi, anche lenticolari, talora con colli e intercalazioni di peli in strati sottili e medi (BNA<sub>2</sub>). Passano lateralmente e paulamente al membro sabbioso conglomeratico (BNA<sub>1</sub>) e nella porzione superiore al membro pellico-arenaceo (BNA<sub>3</sub>). Strutture sedimentarie: litorizzazione intensa, lamine piane ed inclinate a basso angolo, lamine incrociate (non espunte da onde). Datazione isotopica <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr su gusci di bivalvi: 2,6 Ma (Piocone Inferiore - medio). Spessore: compreso tra 100 e 250 m. Ambiente deposizionale: belfigio e spiaggia sommersa. Foraminiferi e Nanofossili non significativi.

#### membro pellico-arenaceo del F. Miseno

Peli grigiastre in strati da medi a spessi, talora anche molto spessi, con intercalazioni di arenarie giallastre in strati medio-sottili (BNA<sub>3</sub>). Localmente si intercalano torbiditi arenaceo-pellici (facies C<sub>1</sub> e D<sub>1</sub>) in strati medio-spessi. Passano superiormente al membro sabbioso-conglomeratico (BNA<sub>1</sub>) e lateralmente al membro sabbioso (BNA<sub>2</sub>). Lo spessore è compreso tra circa 100 e 250 m. Foraminiferi: Nanofossili bionici MN10a. Età: Piocone inferiore-medio. Datazione isotopica <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr su gusci di bivalvi: 2,6 Ma (Piocone medio). Bionti: a *Gabonella* punteggiata e probabile bionti a gr. *Gobosolenia* *crassaformis*. Ambiente deposizionale: nartico di transizione-platforma.



**ALLEGATO N. 3**

***STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI***

## Comune di San Giorgio del Sannio (BN) - VARIANTE PIANO REGOLATORE GENERALE

igt

IDROGEOTECNICA s.g.s.  
STUDIO GEOLOGICO SANNITA  
Via Aldo Moro  
S. GIORGIO DEL SANNIO (BN)  
Tel. 0324-40260

Committente: Amministrazione Comunale  
di S. Giorgio del Sannio  
Sondaggio n. 3 profund. 20,00 mt. p.c.

S. 3

Località: Via Olmo Lungo S. Giorgio del S.  
Piano di Zona "S. Agnese"

Data: 6/10/88

F  
A  
L  
D  
A

# STRATIGRAFIA

Preleva  
Campioni a mt.

## LITOTIPI

Prova in  
situ e  
Osservaz.

Rimanegg.

Indist.

Colonna

Descrizione delle Formazioni

C1

1

Terreno vegetale e piroclastiti  
cineritiche

Sciolti

2

C2

Tufiti

Duro-

C3

3

Pirocl. argillificate (Sciolte)  
Comissioni (Pir. sabbiose)

plastiche

4

C4

Sabbia gialla fine con livel-  
li silteosi grigiastri

S.P.T.

C5

5

Sabbia e ghiaia (rari  
ciottoli)

Poco densa

6

C6

Sabbia argillosa gialla

Densa

7

C7

8

C8

Siltiti sabbiose con venature  
carboniose e livelli argillo-  
si verdastri

(C6)V.T.

Duro-

plastica

9

10

11

12

13

14

C9

15

Sabbia e ghiaia (ciottoli  
abbondanti)

(C8)V.T.

(C8)P.P.

Duro-

plastiche

C10

16

Sabbia argillosa gialla

Compatta

17

18

Sabbia e ghiaia

Compatta

19

20

Compatta





## Comune di San Giorgio del Sannio (BN) - VARIANTE PIANO REGOLATORE GENERALE

IDROGEOTECNICA s.g.s. STUDIO GEOLOGICO SANNITA Via Aldo Moro S. GIORGIO DEL SANNIO (BN) Tel. 0224-40260			S 3	
Comittente: Amministrazione Comunale S. Giorgio del Sannio Sondaggio n. 3 profond. 30,00 mt. p.c.			Località: Scuola Elementare Via Pontariello Piano di Recupero "Ginestra"	
Date: 15/9/88				
FALDA	STRATIGRAFIA		LITOTIPI	Prove in situ e Osservaz.
	Profondità Campi a mt.			
	Rinasc.	Indiat.	Colonna	Descrizione delle Formazioni
	1			Massicciata stradale
	2			Piroclastiti cineritiche con livelli di pomci e lapilli
	3			Sciolto
	4			Unido
	5			Sabbia siltosa giallo-rossastra compatta
	6	C1		S.P.T.
	7	C2		Sabbia e ghiaia con ciottoli arenitici
	8			(C2R)V.T. (C2R)P.P. Dense-pla stico
	9			Sabbia argillosa giallastra con pigmenti a granuli carbo- niosi e con livelletti argil- losi verdastri
	10	C3		(C3I)V.T. (C3I)P.P. Plastico
	11			
	12	C4		Sabbia gialla fine
	13			Dense
	14	C5		Medio- denso
	15			Sabbia gialla grossolana leggermente argillosa
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22	C6		Sabbia grossolana argillosa gialla
	23			Dense
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			

**ALLEGATO N. 4**

***INDAGINI SISMICA***



Comune di SAN GIORGIO DEL SANNIO  
Provincia di BENEVENTO

**INDAGINE SISMICA**

**TIPO MASW**

**ESEGUITA PER I LAVORI DI:**

DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PER ADEGUAMENTO SIMICO DELLA  
SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA DI SANT'AGNESE E SCUOLA  
DELL'INFANZIA DI GINESTRA

**UBICAZIONE:** Località Sant'Agnese, via delle Rondini, Foglio n. 26 particella  
n. 704

**COMMITTENTE:** Amministrazione Comunale di San Giorgio del Sannio



16 Gennaio 2018

*Il responsabile dell'indagine*  
Dott. Geol. Eugenio MEDUGNO

## INDICE

Premessa.....	1
Acquisizione ed elaborazione dei dati .....	1
Conclusioni.....	6

## Allegati

1. Tracce sismiche
2. Report fotografico

## Premessa

La presente relazione viene redatta per conto dell'Amministrazione Comunale di San Giorgio del Sannio per la caratterizzazione sismica di un'area sita nel Comune di San Giorgio del Sannio (BN), alla località Sant'Agnese in via delle Rondini, dove sono previsti i lavori di *"demolizione e ricostruzione per adeguamento sismico della scuola dell'infanzia e primaria di Sant'Agnese e scuola dell'infanzia di Ginestra"*.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro Vs30 attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di una prova di sismica di tipo MASW mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

## Acquisizione ed elaborazione dei dati

La geometria (Figura 1) e la modalità di acquisizione dei dati (Tabella 1) sono riportate di seguito:

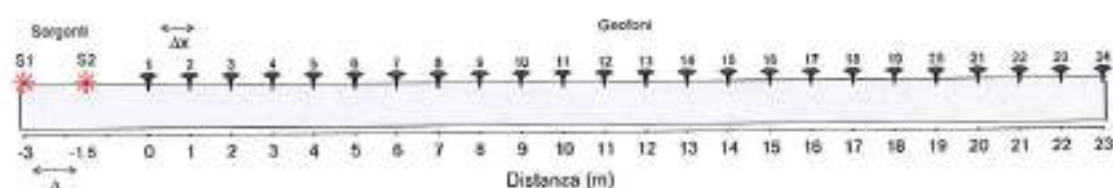


Figura 1: schema della geometria di acquisizione.

Tabella 1: caratteristiche di acquisizione dei dati

Numero geofoni	24
Tipo di geofono	Verticale
Frequenza propria dei geofoni (Hz)	4,5
Distanza intergeofonica $\Delta x$ (m)	1,0
Lunghezza stendimento sismico (m)	23
Frequenza di campionamento (Hz)-MASW	1000
Intervallo di acquisizione (ms)-MASW	0.001
Frequenza di campionamento (Hz)-Re.Mi.	100
Intervallo di acquisizione (ms)-Re.Mi.	0.01
Durata di registrazione-Re.Mi.	3m38s
Tipo di starter	Meccanico
Tipo di energizzazione	Meccanico



Durante la fase di acquisizione sono stati eseguiti due shots con diversi offstes (vedi Tabella 2) per valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente, necessaria per verificare l'assenza di variazioni laterali, fondamentale prima di eseguire la fase di inversione 1D.

Tabella 2: schema energizzazione.

Numero di energizzazioni	2*
Scoppio S1	$\Delta_1 = -3,0$ (m)
Scoppio S2	$\Delta_2 = -1,5$ (m)

\*la posizione dei punti sorgente è riportata in Figura 1.

L'analisi è stata condotta nel dominio delle frequenze attraverso la determinazione dello spettro f-k (Figura 2), piccando con una procedura manuale i massimi all'interno dello spettro. La curva di dispersione presenta la migliore definizione nell'intervallo 4,5-70 Hz.

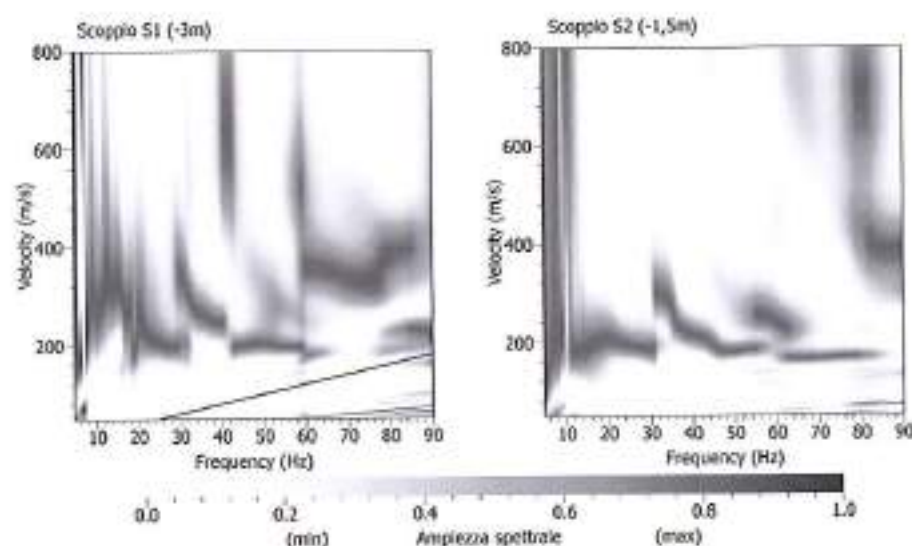


Figura 2: curve di dispersione ottenute per i due scoppi realizzati.

Attraverso una procedura manuale sono stati piccati i massimi (punti in rosso in Figura 3) all'interno dello spettro relativo allo scoppio S2 (in quanto la relativa curva di dispersione risulta essere meglio definita all'interno del range di frequenza considerato) e la curva di dispersione così ottenuta è stata utilizzata successivamente per il processo di inversione.

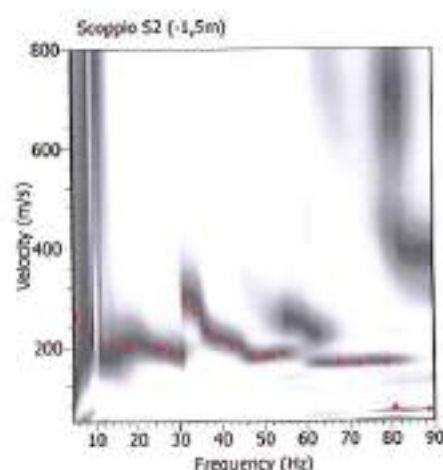


Figura 3. Picking della curva di dispersione relativa allo scoppio S2. I punti in rosso rappresentano i massimi relativi al modo di vibrazione riconosciuto.

La procedura di inversione, effettuata utilizzando il software "Dinver", prevede che il modello teorico sia costituito da una sequenza di  $n$  strati, poggianti su un semispazio, ognuno dei quali caratterizzato da un intervallo dei parametri  $V_p$ ,  $V_s$ , Poisson, densità e spessore. Nell'inversione a ciascun run corrispondono 100 iterazioni, ognuna delle quali costituita da 50 modelli generati in modo random. Per ogni modello viene calcolato il minimo misfit associato alla curva di dispersione teorica confrontata con quella sperimentale. L'errore accettabile deve essere inferiore al 10%, a cui corrisponde un misfit minore di 1. Nella Tabella 3 si riportano i parametri utilizzati nella procedura di inversione.

Tabella 3

Parametri di inversione	
Numero di run	8
Iterazione per ciascun run	100
Modelli generati per ciascun run	5050
Modelli totali generati	40400
Minimo misfit	0,0530

In Figura 4 sono riportate le curve di dispersione teoriche e i corrispondenti modelli di velocità delle onde P ed S. In rosso sono indicati la curva e il modello che presentano il minor misfit, unitamente agli intervalli minimo e massimo di variabilità dei parametri dei modelli.

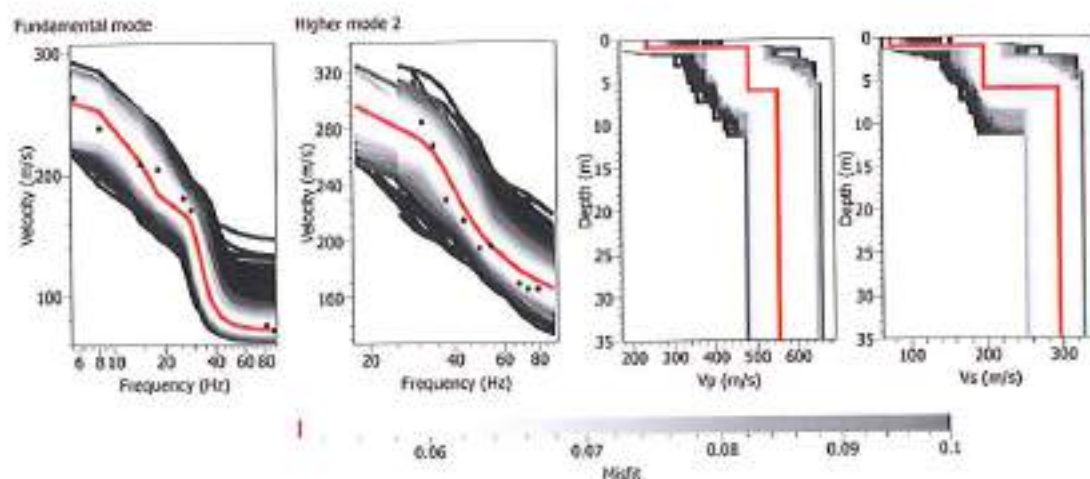


Figura 4: curve di dispersione e modelli di velocità ottenuti dalla procedura d'inversione.

Inoltre, per ottemperare a quanto previsto dalla vigente normativa sismica (NTC 2008), si riporta il profilo di velocità delle onde S (con minimo misfit) fino alla profondità di 35 m dall'attuale piano campagna.

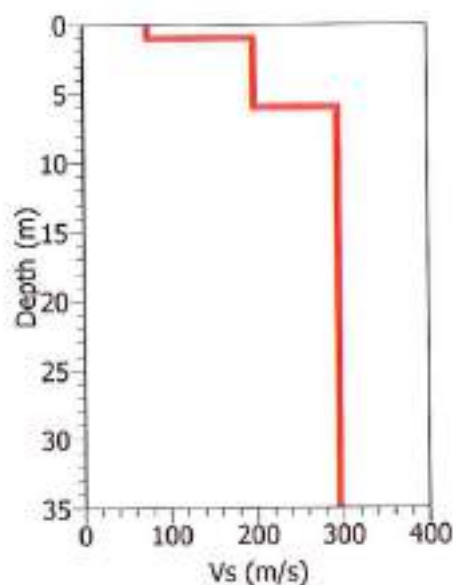


Figura 5: modello di velocità delle onde S (con minimo misfit) utilizzato per il calcolo della Vs30.

A partire dalle velocità delle onde di volume, è possibile dedurre, attraverso l'uso di semplici relazioni<sup>1</sup>, i parametri dinamici del sottosuolo riportati in Tabella 4.

<sup>1</sup>  $G = V_s^2 * \rho$   
 $K = \rho * (V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$   
 $E = V_p^2 * \rho * [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)]$   
 $\nu = [V_p^2 / (V_p^2 - V_s^2) - 1] * [(V_p^2 / V_s^2) - 1]^{-1}$



**Tabella 4: parametri dinamici del sottosuolo calcolati fino a 30 m dal p.c.**

Strato	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson $\nu$	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità K (kPa)
1	1,10	241	76	1500	0,44	8664	25035	75570
2	5,10	484	199	1600	0,40	63362	177194	290327
3	23,80	561	297	1700	0,31	149955	391470	335085

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008, si riporta il valore della Vs30 riferito all'attuale piano campagna.

Profondità (m)	Vs30 (m/s)
0-30	250

## Conclusioni

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro  $V_{s30}$ , risultato per il modello con minimo misfit pari a 250 m/s (considerando come riferimento il piano campagna attuale).

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro  $V_{s30}$ \* (Tabella 5 e Tabella 6).

Tabella 5: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2008)

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

Tabella 6: Categorie aggiuntive di sottosuolo (Tabella 3.2.III NTC 2008)

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tanto per incarico ricevuto.

16 Gennaio 2018

Il responsabile dell'indagine  
Dott. Geol. Eugenio MEDUGNO

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2008) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che il valore della  $V_{s30}$  va calcolato in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni.

ALLEGATO 1  
**TRACCE SISMICHE**



Tracce MASW



ALLEGATO 2

**REPORT FOTOGRAFICO**



Comune di SAN GIORGIO DEL SANNIO  
Provincia di BENEVENTO

**INDAGINE SISMICA**

**TIPO MASW**

ESEGUITA PER I LAVORI DI:

DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PER ADEGUAMENTO SIMICO DELLA  
SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA DI SANT'AGNESE E SCUOLA  
DELL'INFANZIA DI GINESTRA

**UBICAZIONE:** Località Ginestra, via del Pozzo, Foglio n. 25 particella n. 167

**COMMITTENTE:** Amministrazione Comunale di San Giorgio del Sannio



16 Gennaio 2018

*Il responsabile dell'indagine*  
Dott. Geol. Eugenio MEDUGNO

## INDICE

Premessa.....	1
Acquisizione ed elaborazione dei dati .....	1
Conclusioni.....	6

## Allegati

1. Tracce sismiche
2. Report fotografico



## Premessa

La presente relazione viene redatta per conto dell'Amministrazione Comunale di San Giorgio del Sannio per la caratterizzazione sismica di un'area sita nel Comune di San Giorgio del Sannio (BN), alla località Ginestra in via del Pozzo, dove sono previsti i lavori di *"demolizione e ricostruzione per adeguamento sismico della scuola dell'infanzia e primaria di Sant'Agnese e scuola dell'infanzia di Ginestra"*.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro Vs30 attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di una prova di sismica di tipo MASW mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche. È stata inoltre condotta un'acquisizione dei microtremori con tecnica Re.Mi. al fine di avere informazioni a profondità maggiori (basse frequenze).

## Acquisizione ed elaborazione dei dati

La geometria (Figura 1) e la modalità di acquisizione dei dati (Tabella 1) sono riportate di seguito:



Figura 1: schema della geometria di acquisizione.

Tabella 1: caratteristiche di acquisizione dei dati

Numero geofoni	24
Tipo di geofono	Verticale
Frequenza propria dei geofoni (Hz)	4,5
Distanza intergeofonica $\Delta x$ (m)	1,0
Lunghezza stendimento sismico (m)	23
Frequenza di campionamento (Hz)-MASW	1000
Intervallo di acquisizione (ms)-MASW	0.001
Frequenza di campionamento (Hz)-Re.Mi.	100
Intervallo di acquisizione (ms)-Re.Mi.	0.01
Durata di registrazione-Re.Mi.	3m38s
Tipo di starter	Meccanico
Tipo di energizzazione	Meccanico

Durante la fase di acquisizione sono stati eseguiti due shots (vedi Tabella 2) per valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente, necessaria per verificare l'assenza di variazioni laterali, fondamentale prima di eseguire la fase di inversione 1D.

Tabella 2: schema energizzazione.

Numero di energizzazioni	2*
Scoppio S1	$\Delta_1 = -3,0$ (m)
Scoppio S2	$\Delta_2 = -1,5$ (m)

\*la posizione dei punti sorgente è riportata in Figura 1.

L'analisi è stata condotta nel dominio delle frequenze attraverso la determinazione dello spettro f-k (Figura 2), piccando con una procedura manuale i massimi all'interno dello spettro. La curva di dispersione presenta la migliore definizione nell'intervallo 25-70 Hz. Data l'indeterminazione a frequenze minori e per avere informazioni a maggiori profondità è stata determinata la curva di dispersione sperimentale relativa all'acquisizione Re.Mi. e il relativo picking (Figura 3).

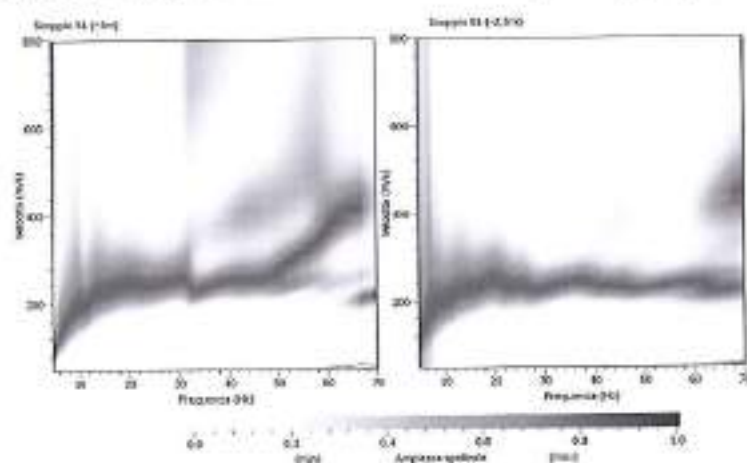


Figura 2: curve di dispersione ottenute per i due scoppi realizzati.

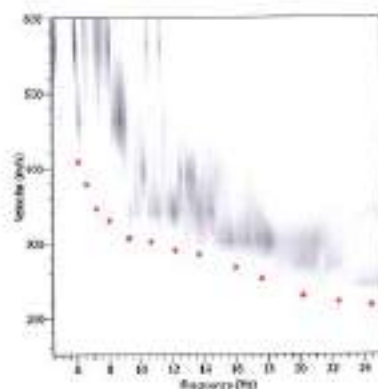


Figura 3. Picking (in rosso) della curva di dispersione relativa ai dati acquisiti con tecnica Re.Mi.

Attraverso una procedura manuale sono stati piccati i massimi (punti in rosso in Figura 4) all'interno dello spettro relativo allo scoppio S1 (in quanto la relativa curva di dispersione risulta essere meglio definita all'interno del range di frequenza considerato) e le curve di dispersione così ottenute sono state utilizzate successivamente per il processo di inversione, unitamente a quella relativa ai dati Re.Mi.

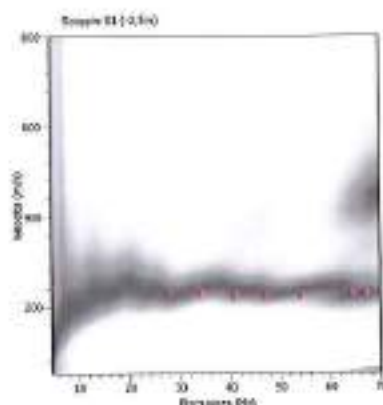


Figura 4. Picking della curva di dispersione relativa allo scoppio S1. I punti in rosso rappresentano i massimi relativi ai modi di vibrazione riconosciuti.

La procedura di inversione, effettuata utilizzando il software "Dinver", prevede che il modello teorico sia costituito da una sequenza di  $n$  strati, poggianti su un semispazio, ognuno dei quali caratterizzato da un intervallo dei parametri  $V_p$ ,  $V_s$ , Poisson, densità e spessore. Nell'inversione a ciascun run corrispondono 100 iterazioni, ognuna delle quali costituita da 50 modelli generati in modo random. Per ogni modello viene calcolato il minimo misfit associato alla curva di dispersione teorica confrontata con quella sperimentale. L'errore accettabile deve essere inferiore al 10%, a cui corrisponde un misfit minore di 1. Nella Tabella 3 si riportano i parametri utilizzati nella procedura di inversione.

Tabella 3

Parametri di inversione	
Numero di run	3
Iterazione per ciascun run	100
Modelli generati per ciascun run	5050
Modelli totali generati	15150
Minimo misfit	0,0270

In Figura 5 sono riportate le curve di dispersione teoriche e i corrispondenti modelli di velocità delle onde P ed S. In rosso sono indicati la curva e il modello che presentano il minor misfit, unitamente agli intervalli minimo e massimo di variabilità dei parametri dei modelli.



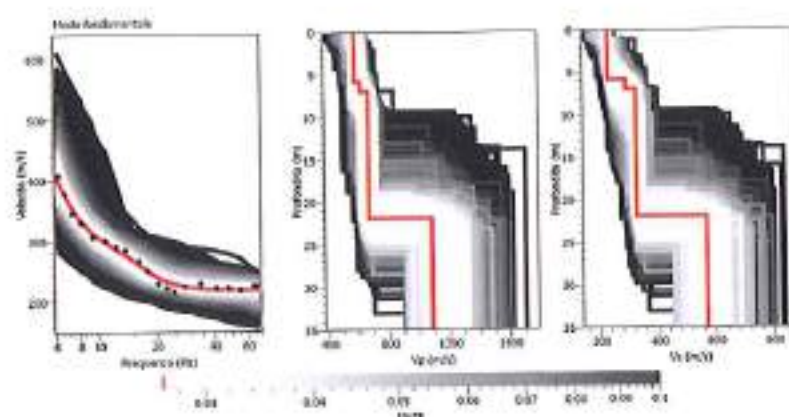


Figura 5: curve di dispersione e modelli di velocità ottenuti dalla procedura d'inversione.

Inoltre, per ottemperare a quanto previsto dalla vigente normativa sismica (NTC 2008), si riporta il profilo di velocità delle onde S (con minimo misfit) fino alla profondità di 35 m dall'attuale piano campagna.

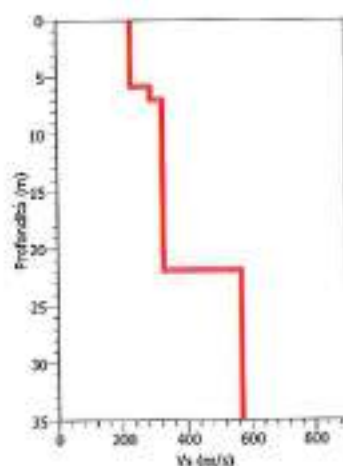


Figura 6: modello di velocità delle onde S (con minimo misfit) utilizzato per il calcolo della Vs30.

A partire dalle velocità delle onde di volume, è possibile dedurre, attraverso l'uso di semplici relazioni<sup>1</sup>, i parametri dinamici del sottosuolo riportati in Tabella 4.

$$^1 G = V_s^2 \cdot \rho$$

$$K = \rho \cdot (V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$$

$$E = V_s^2 \cdot \rho \left[ \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right]$$

$$\nu = \left[ \frac{V_p^2/V_s^2 - 1}{2(V_p^2/V_s^2 + 1)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Carrara E., Rapolla A., Roberti N. "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici".  
Liguori Editore, 1992

Tabella 4: parametri dinamici del sottosuolo calcolati fino a 30 m dal p.c.

Strato	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson $\nu$	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità K (kPa)
1	5,90	582	232	1500	0,41	80736	226955	400438
2	1,20	621	293	1600	0,36	137358	372741	433881
3	15,00	672	329	1700	0,34	184010	494019	522347
4	7,90	1091	573	1900	0,31	623825	1633852	1429767

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008, si riporta il valore della Vs30 riferito all'attuale piano campagna.

Profondità (m)	Vs30 (m/s)
0-30	337

## Conclusioni

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) e passiva (Re.Mi.) ha consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro  $V_{s30}$ , risultato per il modello con minimo misfit pari a 337 m/s (considerando come riferimento il piano campagna attuale).

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro  $V_{s30}^*$  (Tabella 5 e Tabella 6).

Tabella 5: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2008)

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,10} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,10} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,10} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 6: Categorie aggiuntive di sottosuolo (Tabella 3.2.III NTC 2008)

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,10} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tanto per incarico ricevuto.

16 Gennaio 2018

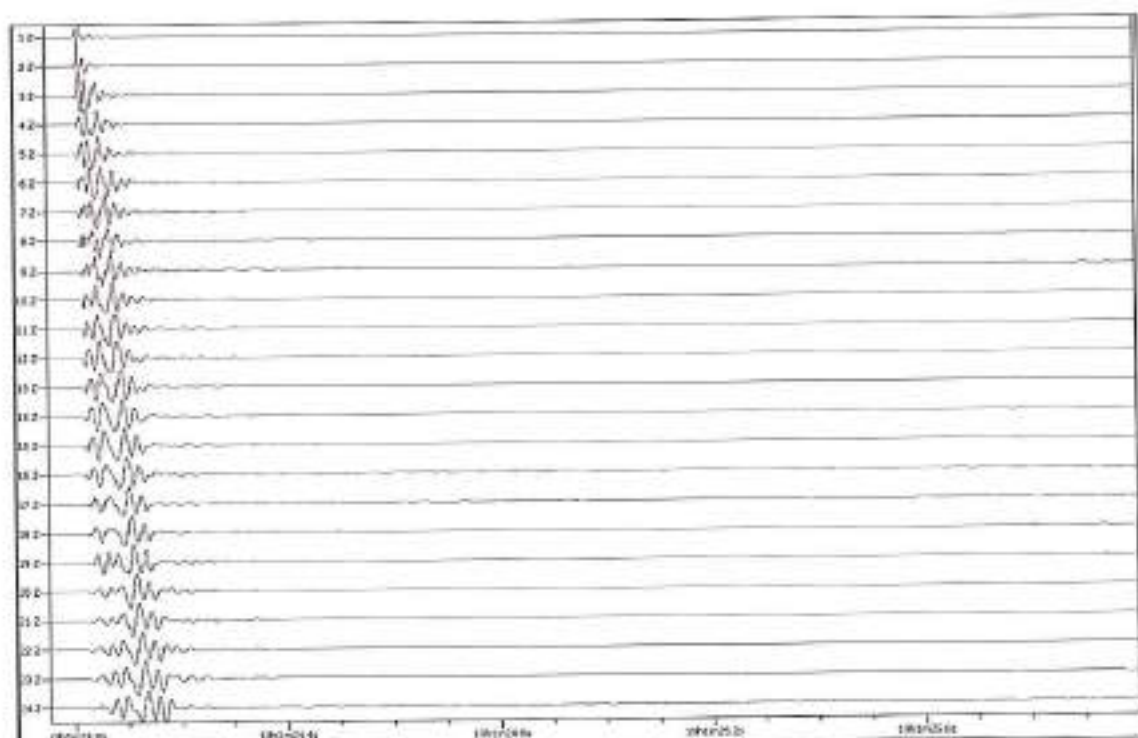
Il responsabile dell'indagine  
Dott. Geol. Eugenio MEDUGNO

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2008) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che il valore della  $V_{s30}$  va calcolato in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni.

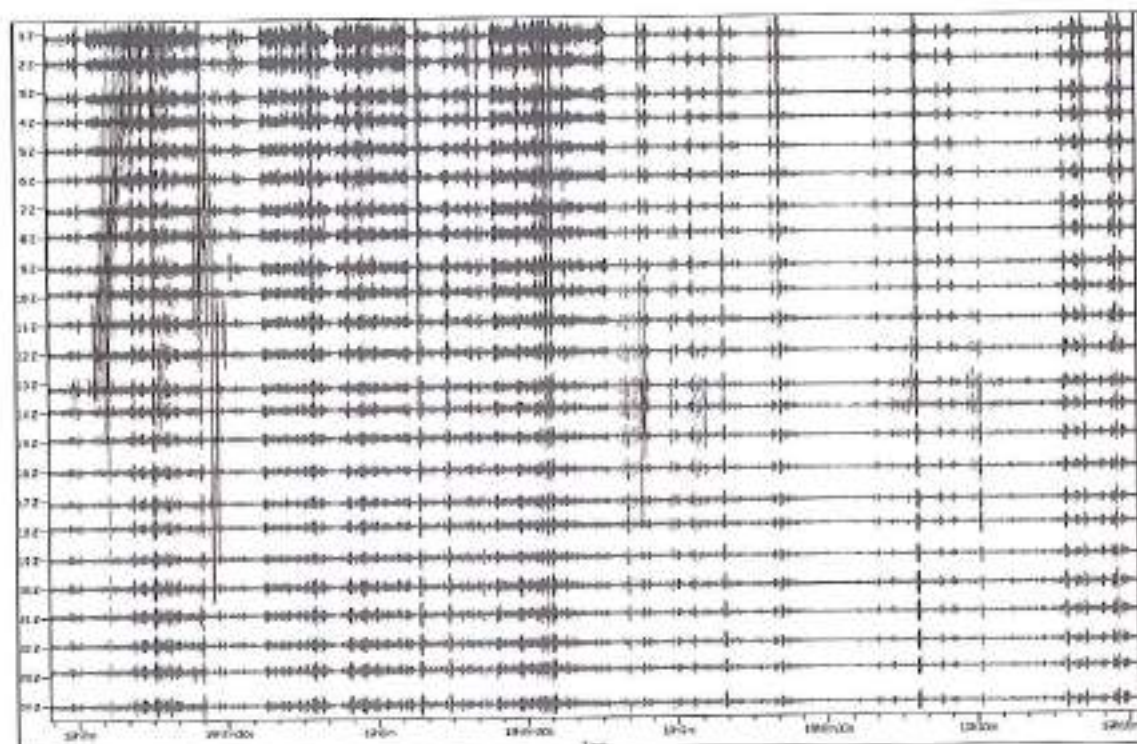


# ALLEGATO 1

## TRACCE SISMICHE



Tracce MASW



Tracce Re.Mi

ALLEGATO 2

**REPORT FOTOGRAFICO**

