



Geol. Dr. Giuseppe Foschini
Ord. Reg. dei Geologi n° 1910
C.da Petrosa, n° 43
82034 San Lorenzo Maggiore (BN)
Tel. 338 4108910 Fax 0824 817454
e-mail foschinigiuseppe@gmail.com
c.f. FSC GPP68M12 A783J
P.IVA 01 236 810 626

COMUNE DI GUARDIA SANFRAMONDI

PROVINCIA DI BENEVENTO

Oggetto: Completamento lavori di messa in sicurezza dell'edificio scolastico ex Scuola S. Guidi nel Comune di Guardia Sanframondi (BN).

Committente: Amministrazione Comunale di Guardia Sanframondi

RELAZIONE GEOLOGICA:
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

San Lorenzo Maggiore,
luglio 2013

Il Geologo
Dr Giuseppe Foschini



INDICE

PREMESSA-INCARICO	pag. 3
1- INQUADRAMENTO IDRO-GEO-LITO-MORFOLOGICO	pag. 4
1.1- Geologia	pag. 4
1.2- Geomorfologia	pag. 5
1.3- Idrogeologia	pag. 5
2- INDAGINI DI DETTAGLIO	pag. 7
2.1- Osservazioni dirette	pag. 7
2.2- Indagine indiretta: sismica di tipo MASW	pag. 7
2.3- Indagini pregresse: caratteristiche geotecniche e litodinamiche dei litotipi presenti nell'area	pag. 9
3- RISCHIO SISMICO	pag. 10
3.1- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni	pag. 13
4- CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	pag. 13
5- CONCLUSIONI	pag. 15

PREMESSA-INCARICO

L'amministrazione Comunale di Guardia Sanframondi, con *determina del servizio tecnico-manutentivo n° 184 del 04/07/2013*, ha affidato al sottoscritto Dr Geologo Giuseppe Foschini, regolarmente iscritto all'albo dell' ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE CAMPANIA al n° 1910, l'incarico di redigere la Relazione Geologica ai fini della caratterizzazione sismica del sito, inerente Completamento lavori di messa in sicurezza dell'edificio scolastico ex Scuola S. Guidi nel Comune di Guardia Sanframondi (BN).

L'area su cui insiste l'edificio scolastico interessato dai lavori, nel Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Volturno-Garigliano (L.n. n°365 del 11.12.2000) ricade in **area a rischio molto elevato R4** *nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili la perdita di vite umane lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.*

Lo studio geologico, a seguito delle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni, giusto D.M. del 14.01.2008, basandosi su indagini indirette (sismica di tipo MASW), volge alla caratterizzazione della **Categoria del suolo di fondazione** e le risultanze delle **Azioni Sismiche di progetto**.

Lo studio sul campo si è articolato nel seguente modo:

- 1) Ripetuti sopralluoghi nell'area di progetto;
- 2) Rilevamento idro-geo-lito-morfologico della zona al fine di individuare l'intorno significativo, i rapporti stratigrafici-tettonici e le caratteristiche geologiche dei litotipi interessati;
- 4) esecuzione di n° 1 indagine indiretta di tipo geofisica superficiale MASW effettuata personalmente dal sottoscritto, la quale, oltre a rappresentare un efficace metodo di investigazione del sottosuolo, permette, attraverso l'analisi della velocità delle onde P ed S una sismostratigrafia del sito. In particolare, studiando la velocità delle onde di taglio Vs, si deduce la classificazione sismica del sito e quindi, in base alla complessità del contesto geologico, il sottoscritto ha ricostruito il **modello geologico del sito**, ottemperando a quanto previsto dall'attuale normativa nazionale per le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 e succ., NTC 2005 e succ., DM 14/01/2008).

Ultimata la campagna di studi, recepiti gli esiti dei sopralluoghi e delle indagini dirette ed indirette, comparati i dati acquisiti con quelli indicati in precedenti studi ed indagini, il sottoscritto ha redatto la presente relazione corredata dai seguenti ALLEGATI:

- INDAGINE SISMICA MASW
- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (SCALA 1: 50000)
- AEROFOTOGRAMMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI ESPLETATE (SCALA 1: 5000)
- CARTA DEGLI SCENARI DI RISCHIO FRANA (AUTORITÀ DI BACINO LIRI-GARIGLIANO VOLTURNO) - PIANO STRALCIO (SCALA 1: 25000)
- STRALCIO CARTA IDRO-GEO-LITOLOGICA (SCALA 1: 100000)
- CARTA GEOLITOLOGICA (SCALA 1:5000)

- CARTA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI (SCALA 1:5000)
- MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

1- INQUADRAMENTO IDRO-GEO-LITO-MORFOLOGICO DELL'AREA

1.1- Geologia

L'area studiata è situata sul fronte sud-orientale del Massiccio del Matese, in un settore geologico-strutturale alquanto complesso.

Qui affiorano i terreni arenacea-argillosi del Flysch di Caiazzo, sormontati dai terreni della Coltre Sannitica che è sovrascorsa su di esso.

L'Unità delle Arenarie di Caiazzo (Di Nocera et alii, 1993), largamente affiorante in destra del fiume Calore è costituita da terreni di natura argilloso-arenacea e calcareo-marnosa, estremamente tettonizzati.

Tale successione è troncata a tetto da una falda di ricoprimento, la Coltre Sannitica, presente con alcune centinaia di metri di calcari, calcari marnosi, marne e argille, calcilutiti selcifere e diaspri, riferibili alla Formazione del Flysch Rosso di età Oligocene-Miocene inf., la cui messa in posto è avvenuta durante le fasi compressive Mio-Plioceniche.

La superficie di sovrascorrimento risulta marcata da un livello discontinuo di argilliti rossastre e grigiastre di esiguo spessore, appartenenti alla medesima formazione.

La coltre si presenta in lembi discontinui, di spessore talora limitato a poche decine di metri, in cui la frazione lapidea è di regola intensamente fratturata; essa forma delle piccole monoclinali, fagliate e sollevate rispetto ai Flysch che le circondano.

I terreni costituenti la coltre hanno avuto interpretazioni nettamente contrastanti circa la loro genesi e provenienza.

In particolare Di Nocera-Torre-Vitti sono dell'avviso che questi terreni con molta probabilità si siano depositati in un dominio paleogeografico con ubicazione ad Ovest della Piattaforma Carbonatica del Matese orientale e ad est della Piattaforma Carbonatica campano-lucana.

Invece, i caratteri sedimentologici e stratigrafici del Flysch di Caiazzo indicano che la deposizione si è sviluppata in un bacino in via di approfondimento caratterizzato da una forte instabilità.

Una intensa attività tettonica sinsedimentaria è testimoniata dall'abbondante materiale alloctono, di differente origine, natura litologica e dimensione intercalato nelle successioni e proveniente dalle unità che costituivano il fronte della coltre avanzante al margine del bacino (P.C. Abruzzese-Campana).

Nella serie delle Arenarie di Caiazzo si nota la costante presenza di un membro arenaceo sommitale e di un sottostante intervallo che mostra una variabilità litologica, definito membro calcareo-pelitico.

In quest'ultimo sono state distinte due facies tra loro parzialmente eteropiche:

Calcari, marne, argille

Argille ed arenarie con olistoliti

Il rilevamento geologico effettuato, ci ha permesso di stabilire che i litotipi su cui sono insediate le fondazioni dell'edificio scolastico oggetto di studio appartengono al *membro calcarenitico-marnoso della Flysch di Caiazzo*, in particolare si tratta delle arenarie di chiusura della Formazione.

1.2- Geomorfologia

Il paesaggio dell'area di studio presenta un andamento tipicamente di versante sub-appenninico, con versanti mediamente acclivi interrotti da incisioni più o meno profonde dovute alla relativa giovinezza del reticolo idrografico.

L'evoluzione morfologica dell'area risulta fortemente condizionata dalle fasi tettoniche distensive pleistoceniche, con lo smembramento dell'antica superficie morfologica (Pleistocene inf.), e dalle fasi paleoclimatiche quaternarie con alternanze di periodi di *resistasia* a periodi di *biostasia*.

La combinazione di questi effetti ha generato, lungo i versanti, numerosi ripiani e/o superfici di spianamento posti a quote comprese tra i 200 e gli 800 metri.

Nel complesso, l'area si presenta in una situazione di media stabilità, con versanti tendenti al dissesto in corrispondenza delle incisioni vallive per l'attiva dinamica fluviale dei corsi d'acqua con fenomeni di erosione di sponda e approfondimento in alveo.

I fenomeni franosi, che rappresentano la normale evoluzione dei versanti, in alcuni casi riducono l'ampiezza dei lembi residui sommitali che localmente si presentano come sottili creste allungate.

Anche nel reticolo idrografico si osserva la tendenza all'arretramento delle singole testate fino a coinvolgere, per erosione regressiva i settori sommitali.

L'area in esame, posta su un crinale che funge da spartiacque tra il Torrente Ratello (destra idrografica) e T. Rio Capuano (sinistra idrografica), presenta nel tratto intermedio in cui è ubicata la scuola una pendenza media di circa il 7% (ca 4 DEG), una pendenza del 16% nel tratto a valle della scuola ed una pendenza del 25% il versante a monte. Essa è costituita da una successione mista di terreni (vedi paragrafo precedente e carta geolitologica) a diverso comportamento geomeccanico.

L'intero bacino del Torrente Ratello risulta interessato da fenomeni di movimento in massa; infatti, la sovrapposizione tettonica di terreni a comportamento rigido su terreni a comportamento più duttile, unitamente all'intenso approfondimento del reticolo idrografico comporta uno stato di diffusa e generalizzata instabilità, specie lungo le sponde dell'alveo dei torrenti. Nello specifico, l'area di versante a monte della scuola in esame è interessata da fenomeni franosi di tipo crollo dovuti alla forte acclività del versante e alla natura litoide dei terreni appartenenti alla *Coltre Sannitica*. Il tratto a valle dell'abitato risulta interessato da fenomeni soliflussivi e franosi di tipo colamento. Risulta stabile il tratto intermedio rappresentato dall'intero centro abitato.

1.3- Idrogeologia

Nell'area in esame l'assetto strutturale condiziona fortemente la rete idrografica del territorio la quale mostra un tipico pattern angolato, una densità medio alta e pendenze più accentuate verso monte.

Le aste sono da ritenersi principalmente drenanti e non perdenti, poiché sono impostate nei sedimenti arenaceo-pelitici poco permeabili soprattutto a valle dell'area in esame.

L'afflusso meteorico sull'area è in prima approssimazione funzione dell'altitudine ed il modello matematico elaborato sulle precipitazioni rilevate dal Servizio Idrografico nelle Stazioni Pluviometriche della Campania, relative agli anni 1950-1970 è mediamente:

$$\text{Precipitazioni Annuie in mm} = 1.1 \times \text{quota in metri slm} + 980$$

La piovosità media annua del Bacino del T. Ratello è intorno ai 1475 mm di pioggia in poco più di cento giornate piovose (dove per giornata piovosa si intende la caduta di almeno 1 mm di precipitazione).

Esso si discosta di poco dal reale, come dimostrano le estrapolazioni medie dei dati esistenti (fino al 1950) nelle Stazioni Pluviometriche di:

LOCALITA'	MEDIA PRECIPITAZIONI ANNUE
	[mm]
<i>Cerreto Sannita</i>	1580
<i>San Lorenzo Maggiore</i>	1152

Dallo studio analitico delle precipitazioni medie annue risulta che esse sono maggiormente addensate nel periodo autunno-inverno, con concentrazioni massime nei mesi novembre-dicembre ed in primavera tra febbraio-marzo e presentano marcati periodi di siccità nel periodo estivo luglio-settembre.

Non mancano casi di eventi pluviometrici eccezionali con punte massime mensili triple o quaduple come quello che ha generato i fenomeni anomali nel dicembre 1999, nel gennaio 2003, nel giugno 2004 e nel luglio 2009.

Il comportamento idrologico è funzione e conseguenza delle caratteristiche geolitologiche (complessi idrogeologici): la permeabilità varia con la stratimetria, con la granulometria di ciascun litotipo, e con l'incidenza dell'azione tettonica.

Sia il complesso pelitico-arenaceo, costituito essenzialmente da alternanze di arenarie, siltiti, argille e marne, sia quello calcareo pelitico costituito da calcareniti, arenarie e marne calcareo-detritiche, presentano permeabilità per porosità, e subordinatamente per fessurazione.

Laddove i livelli argillosi fungono da letto rispetto al tetto più arenaceo e/o calcarenitico, si innescano, al contatto, delle emergenze idriche come, ad esempio, la sorgente ubicata poco a valle "La Fontanella" e quella ad Ovest "La Sorgenza".

La circolazione acquifera superficiale ed episupeficiale, risente direttamente degli apporti pluviometrici stagionali, con incremento di afflussi durante la ricarica invernale o in occasione di eventi meteorici estremi e con scarsità di apporti durante la stagione secca.

L'andamento pluviometrico in loco implica appunto, come diretta conseguenza una netta variabilità delle locali condizioni idrologiche tanto nel regime dei torrenti e dei fossi quanto nella circolazione in falda nell'immediato sottosuolo.

Per quanto riguarda il sito su cui è stata ubicata la scuola c'è da rilevare una falda idrica prossima al piano campagna (-2m dal p.c.), alimentata dall'acquifero a monte rappresentato dai terreni

calcarei e calcarenitici-marnosi della Coltre Sannitica. Questa, grazie ai giunti di stratificazione ed alle fratture che interessano le arenarie, scorre negli strati sabbiosi non cementati, intercalati alle stesse arenarie e sospesi su strati limo-argillosi relativamente poco permeabili che fungono da *acquiclude*.

2- INDAGINI DI DETTAGLIO

2.1- Osservazioni dirette

L'area su cui è stata edificata la scuola in titolo, trovasi alla quota titolo di ca. 450 m slm (TAVOLETTA IV NE – GUARDIA SANFRAMONDI - CARTA D'ITALIA, F. 173 - IGM) nella periferia Nord dell'abitato di Guardia Sanframondi.

Dai rilievi effettuati, l'area non sembra direttamente interessata da morfologie derivate da importanti dissesti franosi recenti. In effetti l'esame della struttura scolastica e dei limitrofi manufatti esistenti non ha evidenziato dissesti statici generati da fenomenologie di taglio o da cedimenti differenziati dei terreni implicati, in quanto le loro strutture fondali sono state insediate nei terreni soggiacenti la coltre superficiale.

Per l'investigazione diretta dei primi metri del sottosuolo, il sottoscritto ha provveduto ad un rilevamento geologico dei tagli naturali ed antropici esistenti in un volume significativamente ampio, in cui si è evidenziato uno spessore di coltre superficiale, umizzata ed areata, variabile da pochi decimetri a qualche metro. Essa è costituita prevalentemente da materiale eluvio-colluviale sciolto, di natura silto-sabbiosa. Al di sotto della copertura superficiale è presente il SUBSTRATO costituito da arenarie e calcareniti arenacee ben stratificate.

Elementi non calcarei sono rappresentati da lenti di argilla grigia e da frammenti di selce provenienti dal disfacimento della formazione a *tetto* (Coltre Sannitica).

2.2- Indagini indirette: sismica di tipo MASW

Ai fini della caratterizzazione sismica del sito, il sottoscritto ha provveduto ad effettuare una indagine MASW in prossimità dell'area d'intervento.

Le indagini geofisiche sfruttano la proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità.

Le principali onde sismiche che si sviluppano nel terreno, qualora una sorgente liberi in esso energia cinetica, sono: le onde longitudinali o di compressione P, le onde trasversali o di taglio S e le onde superficiali o di Reyleigh.

La velocità di propagazione delle onde dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e fatturazione, la porosità il contenuto di acqua ecc.

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

Il metodo può essere suddiviso in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase apparente sperimentale;

2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

Dopo la determinazione del profilo delle velocità delle onde di taglio V_s verticali, si procede al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità, ovvero al calcolo del V_{s30} con la relativa classificazione del tipo di suolo.

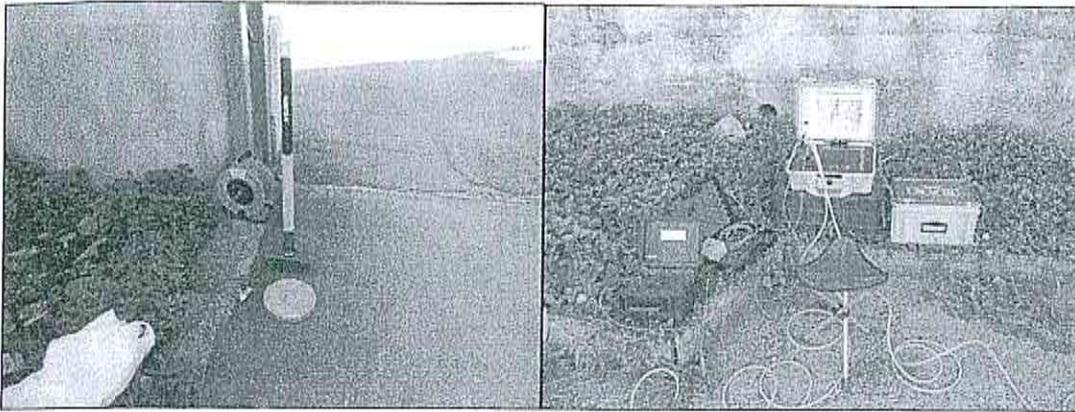
Nel dettaglio sono stati individuati n° 6 sismostrati caratterizzati da valori della velocità media delle onde P (V_p) e delle onde S (V_s) crescenti con la profondità, rispettivamente variabili da un minimo di 335,72 m/s e di 205,58 m/s per il primo strato (fino a 4 m di profondità), ad un massimo di 1282,19 m/s e di 785,18 m/s per lo strato più profondo (oltre m 30,0 dal p.c.).

Sulla scorta delle risultanze della prova sismica, inoltre, nel rispetto del DM14/01/2008 in materia di progettazione antisismica, è stata calcolata la velocità media di propagazione delle Onde S entro i primi 30 m di profondità; tale velocità è risultata essere pari a $V_{s30} = 456,89$ m/s.

Tale valore classifica il sito oggetto d'intervento nella categoria del suolo di fondazione di tipo "B": *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 metri, 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 resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*



Stendimento sismico



Particolare: Massa energizzante

Particolare: Strumentazione di acquisizione

2.3 Indagini pregresse: caratteristiche geotecniche e litodinamiche dei litotipi presenti nell'area.

Gli esiti delle indagini geognostiche e geotecniche, effettuate in occasione di altri lavori eseguiti dallo scrivente nell'area in cui è sito l'edificio scolastico in titolo, hanno confermato i rilievi di superficie ovvero che, i terreni presenti nei primi metri dal piano campagna possono essere suddivisi e schematizzati in due (2) ammassi geotecnicamente omogenei:

- **copertura superficiale**, costituita da terreno agrario e/o materiale eluvio-colluviale, sciolto o poco compatto, a granulometria silto-sabbiosa bruno-giallastra, proveniente dal disfacimento della Formazione di Caiazzo; in loco, ha uno spessore variabile fino ad 1,00 metro, caratterizzata dai seguenti parametri:

*Peso di volume naturale	16.5 KN/mc
*Peso di volume asciutto	14,0 KN/mc
*Peso di volume saturo	17.5 KN/mc
*Angolo di attrito interno	15° DEG (gradi sessagesimali)
*Coesione a rottura c'	10 KN/mq
*Modulo Edometrico (da 25 a 1600 KPa)	6000 KPa

(*) valori ottenuti da prove di laboratorio su terreni similari.

Presentano caratteristiche fisico-meccaniche molto scarse in termini di elasticità, di deformabilità e di portanza.

- **membro calcarenitico-marnoso della Formazione di Caiazzo**, costituito da strati di arenaria e/o calcareniti intervallati da livelli sabbiosi e limo-argillosi; i suoi parametri geotecnici, riferiti solo alla parte fine e sciolta della formazione e, quindi, a vantaggio della sicurezza, sono:

*Peso di volume naturale	19.0 KN/mc
*Peso di volume asciutto	17.5 KN/mc
*Peso di volume saturo	20.0 KN/mc
*Angolo di attrito interno	26° DEG (<i>gradi sessagesimali</i>)
*Coesione a rottura c'	5 KN/mq
*Modulo Edometrico (da 25 a 1600 KPa)	11000 KPa

(*) valori ottenuti da prove di laboratorio su terreni similari.

Il complesso presenta, in definitiva, caratteristiche fisico-meccaniche buone in termini di elasticità, di deformabilità e di portanza, a seconda della continuità sia laterale e sia verticale, della natura dei singoli strati, nonché del loro grado di alterazione e/o rimaneggiamento.

L'ammasso qualora non protetto, può essere però influenzato dagli atmosferici, responsabili di una riduzione delle resistenze alla compressione e al taglio

Si sottolinea che, i valori sopraesposti sono stati estrapolati da analisi geotecniche espletate dal sottoscritto su terreni similari in occasione di precedenti lavori e, quindi, sono da ritenersi indicativi per i litotipi sopradetti. In caso di calcoli geotecnici per la struttura in esame, occorre verificare quanto sopradetto attraverso indagini dirette specifiche per il sito.

3- RISCHIO SISMICO

Il territorio comunale in oggetto, risulta collocato in una fascia di catena appenninica delimitata da due grosse linee sismogenetiche ad andamento parallelo a quello della catena stessa, caratterizzata da un accentuato sollevamento negli ultimi 700000 anni. A tali condizioni sono connessi i numerosi eventi sismici che, sia in tempi storici e sia in tempi recenti, si sono verificati nell'area.

La *pericolosità sismica di base* del sito in esame, necessaria per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, è stata definita sulla base dei risultati del "Progetto S1 dell'I.N.G.V."

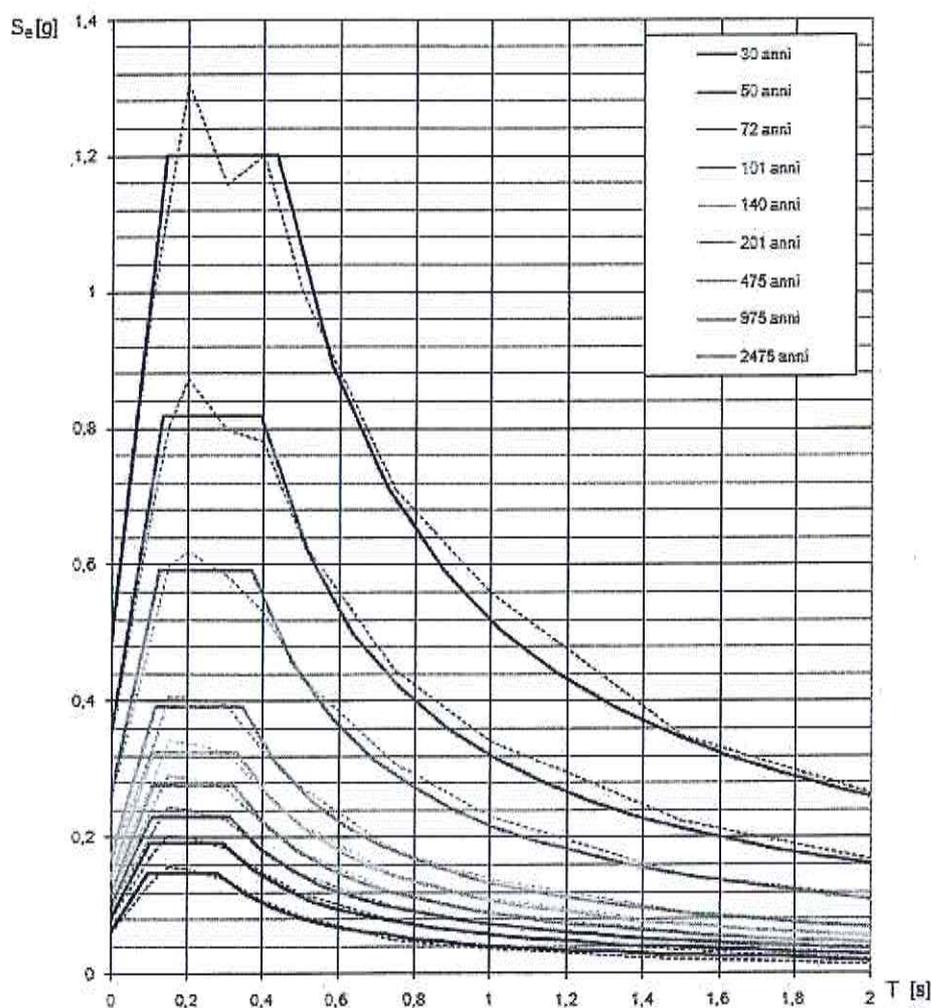
Determinate le coordinate geografiche dell'area (Longitudine 14,5976 e Latitudine 41.2580), si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per i periodi di ritorno T_r di riferimento:

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c [s]
30	0,060	2,438	0,280
50	0,081	2,385	0,296
72	0,098	2,347	0,314
101	0,118	2,344	0,323
140	0,139	2,334	0,333
201	0,168	2,323	0,343
475	0,257	2,300	0,369
975	0,350	2,338	0,391
2475	0,487	2,465	0,432

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



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

Per quanto concerne la Risposta sismica locale, poiché il substrato su cui sono poggiate le strutture fondali è costituito dai sedimenti calcareo-marnosi aventi una potenza superiore a m 30, caratteristiche fisico-meccaniche in termini di elasticità, deformabilità e portanza) crescenti con la profondità e valori di $V_{s,30}$ (velocità di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità) pari a 456,89 m/s, si osserva che l'amplificazione stratigrafica deve essere valutata con riferimento alla **Categoria del Suolo B**. In particolare, nell'ipotesi dello stato limite di collasso SLC e tenuto conto di un periodo di riferimento V_r pari a 400 ed un tempo di ritorno T_r pari a 2475 anni, si è ottenuto, utilizzando il software "Spettri NTC ver. 1.0.3", un coefficiente di amplificazione S_s pari a 1.0.

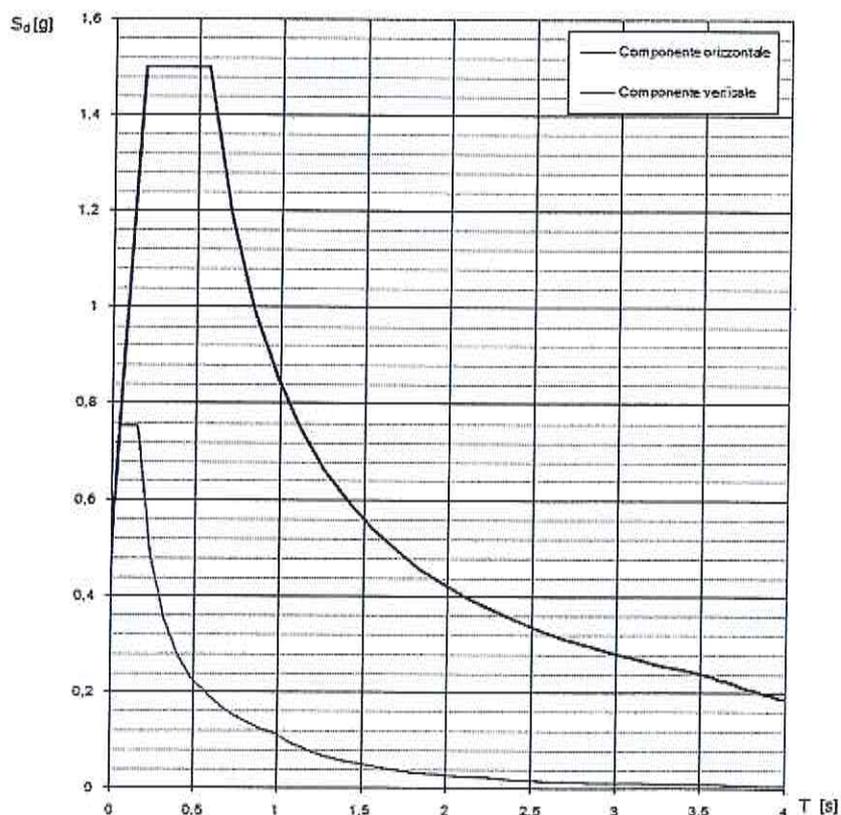
Le condizioni topografiche locali (pendio con pendenza media per il sito di circa il 7%, pari a 4 DEG, minore di 15 DEG) permettono, inoltre, di classificare il sito ai fini della valutazione dell'amplificazione topografica nell'ambito della **categoria T1**, a cui, tenuto conto della quota media del sito (m 450 slm) e del rilievo (immediatamente a Nord m 600 slm), corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_t pari a 1,000.

Ne consegue che il coefficiente di amplificazione del sito ($S = S_s \times S_t$) è anch'esso pari a 1,000.

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito ($a_{max} = a_g \times S$ con a_g = accelerazione massima al sito), ancora nell'ipotesi dello stato limite di collasso SLC e tenuto conto di un periodo di riferimento V_r pari a 400 ed un periodo di ritorno T_r pari a 2475 anni, è risultata pari a 0,487 g.

Nell'area in esame, inoltre, non sono state riscontrate strutture sismogenetiche di un certo rilievo che, riattivabili a seguito di un evento sismico, potrebbero condizionare la staticità dei siti e delle strutture.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLC



3.1- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni

La liquefazione del terreno durante i terremoti è una delle più importanti cause di danneggiamento e collasso delle costruzioni fondate su terreni sabbiosi saturi. Alla liquefazione del terreno possono infatti associarsi estesi fenomeni di subsidenza movimenti di masse fluidificate di terreno ecc., ma anche effetti meno devastanti quali cedimenti differenziali e quindi lesioni alle strutture.

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due fattori:

1. le condizioni del terreno (fattore di predisposizione),
2. la sismicità (fattore scatenante).

Il fenomeno della liquefazione interessa i depositi sabbiosi saturi che, durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio causata dall'aumento della pressione interstiziale tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

La suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata quando la falda freatica si trova in prossimità del piano campagna ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda e soprattutto poco addensati.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende:

- a) dallo stato di addensamento del deposito,
- b) dalla composizione granulometrica,
- c) dalle condizioni di drenaggio,
- d) dalla storia delle sollecitazioni sismiche,
- e) dall'età del deposito.

Per ciò che riguarda il sito oggetto di studio, pur avendo rilevato una falda idrica prossima al p.c., si è rilevato che:

1. il grado di consolidazione dei litotipi costituenti l'area è elevato, essendo il deposito di *età Miocenica*,
2. la falda idrica rilevata è relativa a sottili strati di sabbia ed è limitata nello spazio,
3. non vi sono in bibliografia riferimenti a episodi di liquefazione nell'area.

Pertanto, il sito oggetto di studio, in caso di evento sismico, non dovrebbe essere suscettibile a liquefazione.

Tuttavia, l'esclusione assoluta di eventuali fenomeni di liquefazione va rimandata a seguito di indagini dirette finalizzate al monitoraggio della falda, alla granulometria ed al grado di addensamento dei litotipi sotto falda.

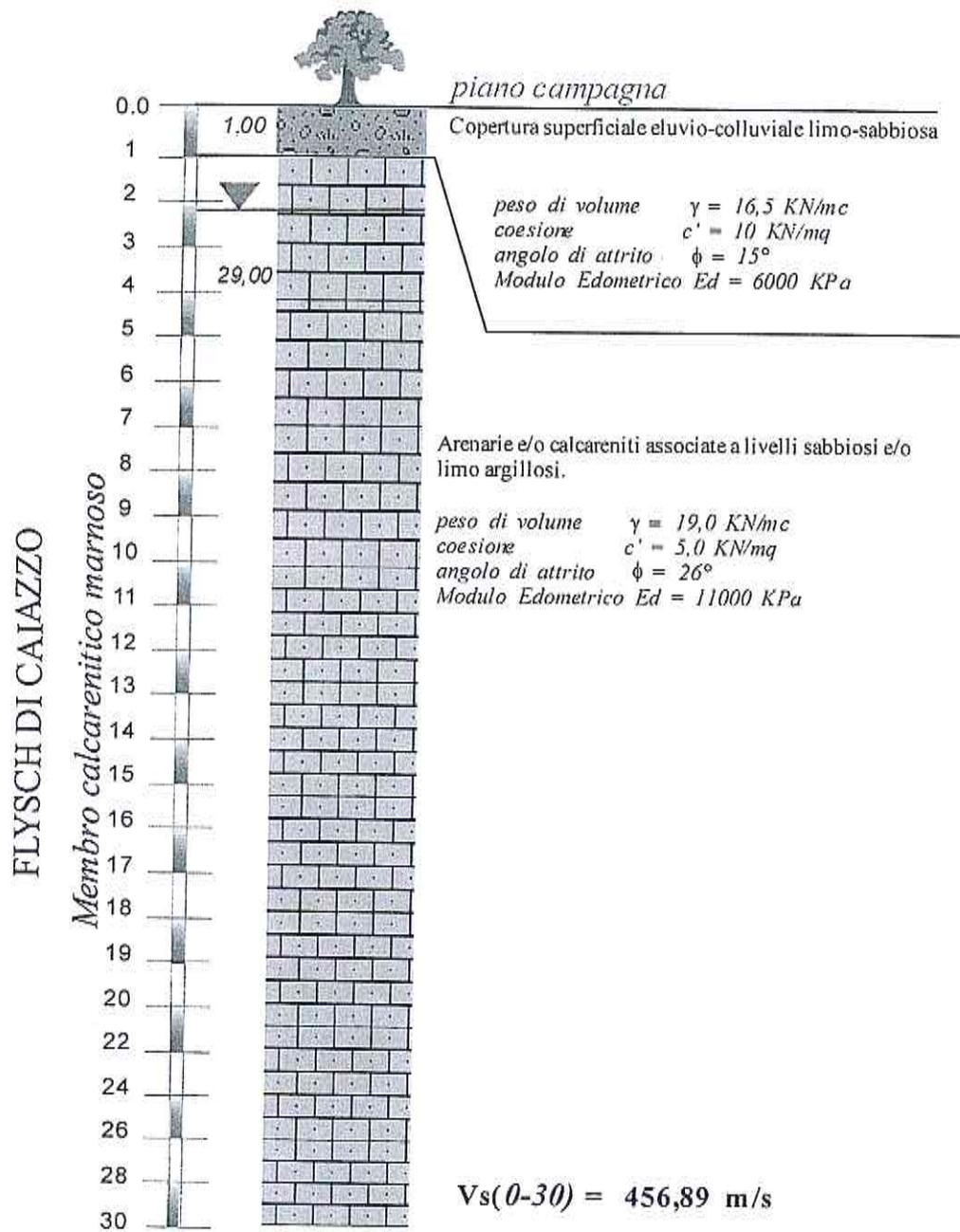
4- CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

L'analisi dei rilievi di superficie effettuati, delle osservazioni dirette (rilievi) ed indirette (*prova geofisica MASW*) hanno permesso una ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici del sito, ovvero la *modellazione geologica del sito*.

In particolare, sulla scorta del rilevamento idro-geo-lito-morfologico di dettaglio e delle osservazioni dirette nonché considerando la sismostratigrafia sviluppata dall'analisi geofisica espletata e tenuto

conto dei numerosi lavori e sondaggi effettuati nell'area dallo scrivente, è stato possibile estrapolare il modello geologico dell'area, di seguito schematizzato:

MODELLO GEOLOGICO DEL SITO



**CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE -B-
 CATEGORIA TOPOGRAFICA -T1-**

Tuttavia, l'attendibilità del suddetto modello potrà essere confermata solo a seguito di indagini dirette (sondaggi geognostici) ed analisi geotecniche di laboratorio.

5- CONCLUSIONI

Le osservazioni e le valutazioni espone nelle pagine precedenti sulle caratteristiche litostratigrafiche e sismiche dei terreni ricadenti nel volume significativo, permettono di formulare giudizi positivi sulla stabilità generale dell'area in cui insiste l'edificio scolastico oggetto d'intervento.

Da quanto innanzi detto si determina che:

- allo stato, la zona su cui è situato l'edificio scolastico oggetto d'intervento, offre buone garanzie in termini di stabilità; lo stesso non presenta lesioni o cenni di cedimenti differenziali dei litotipi fondazionali.
- nel "Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico" redatto dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano-Volturno, l'edificio oggetto d'intervento ricade in una zona a rischio idrogeologico definita come **area a rischio molto elevato R4** nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili la perdita di vite umane lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
- il complesso litologico significativo dell'area - *Flysch di Caiazzo ed in particolare il Membro calcarenitico-marnoso* - presenta, in definitiva, caratteristiche fisico-meccaniche da mediocri a buone in termini di elasticità, di deformabilità e di portanza, in funzione delle variazioni laterali e verticali delle caratteristiche geotecniche;
- non sono stati evidenziati né sono da prevedere fenomeni di instabilità connessi ad una naturale evoluzione geomorfologia dell'area. La categoria topografica del sito è T1.

Per la parte sismica e nel rispetto delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (DM del 14.01.2008), l'indagine geofisica MASW ha evidenziato che il suolo di fondazione appartiene alla **Categoria B**.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici da utilizzare ai fini dei calcoli, i valori riportati al paragrafo 2.3 e nel modello geologico di sito, sono da ritenersi **puramente indicativi** per i litotipi rilevati in quanto, sono stati estrapolati da analisi geotecniche espletate dal sottoscritto su terreni simili in occasione di precedenti lavori. In caso di calcoli geotecnici per la struttura in esame, occorre effettuare indagini dirette e di laboratorio specifiche per il sito.

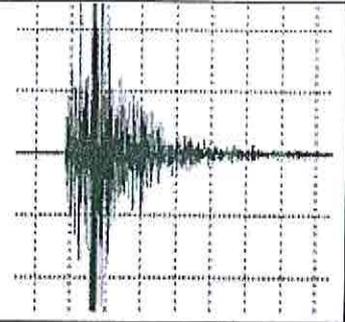
La falda libera è stata rilevata prossima al p.c.; qui i terreni sia per l'assenza di estesi e spessi strati di sabbia e sia per il buon grado di addensamento, non dovrebbero essere a rischio di liquefazione in caso di evento sismico. Tuttavia, l'esclusione assoluta di eventuali fenomeni di liquefazione va rimandata a seguito di indagini dirette finalizzate al monitoraggio della falda, alla granulometria ed al grado di addensamento dei litotipi sotto falda.

Tanto si doveva per incarico ricevuto.

Il Geologo

Dott. Giuseppe Foschini





Dr Geol. Giuseppe Foschini

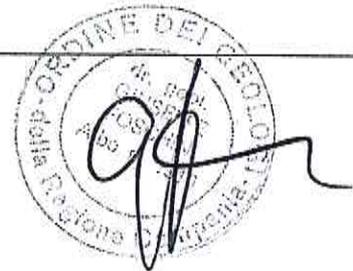
Ordine Regionale Geologi Campania n° 1910

Indagine sismica per il completamento dei lavori di messa in sicurezza dell'edificio scolastico ex scuola media S. Guidi - Guardia Sanframondi (BN).

Data: luglio 2013

**Il committente:
UTC di Guardia Sanframondi**

Il tecnico: Dr Giuseppe Foschini



Indagine geofisica tramite tecnica MASW

Nr. Lic. BE2A241D1D0743DF8CEB5CF20151DB77

Easy 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 rigidità.

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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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 rigidità.

Modi di vibrazione

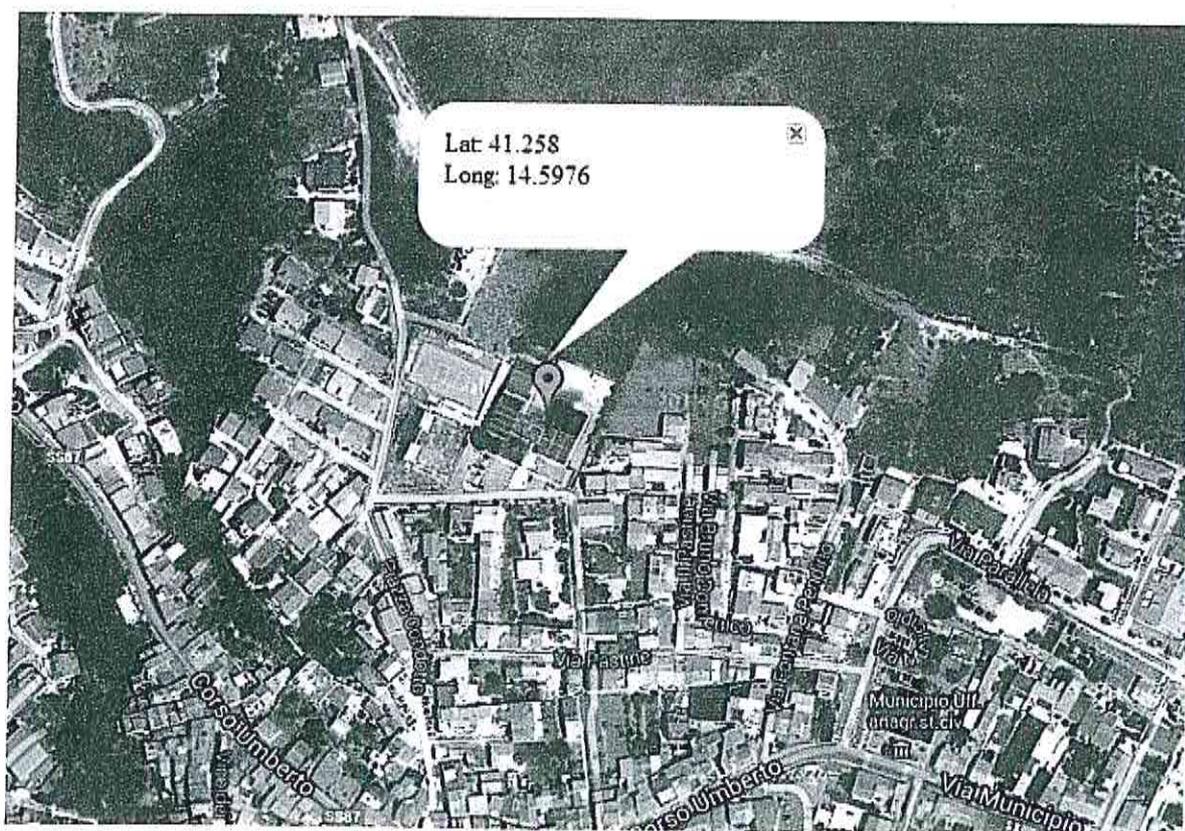
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle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

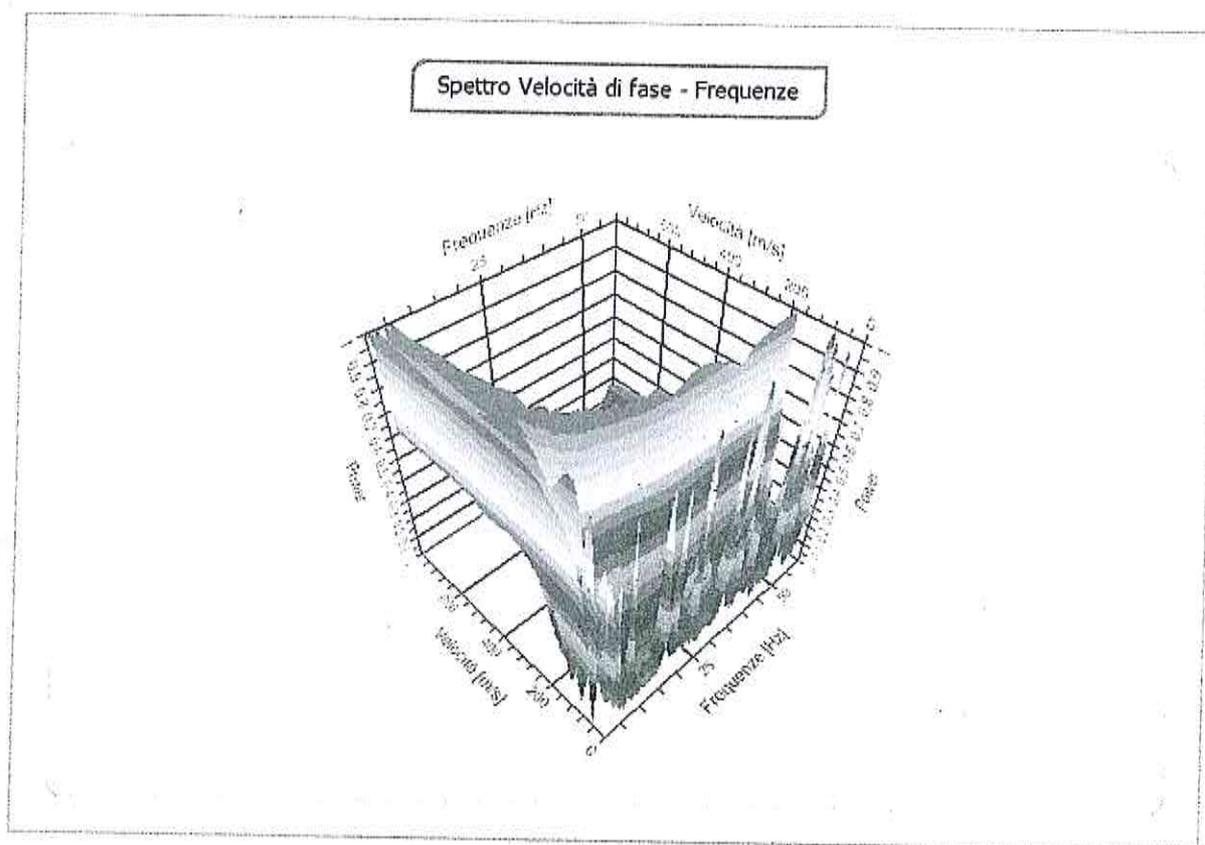
Dati generali

Committente	UTC di Guardia Sanframondi
Cantiere	Guardia Sanframondi (BN)
Località	Via Sebastiano Guidi
Operatore prova	Dr Geologo Giuseppe Foschini
Responsabile prova	Dr Geologo Giuseppe Foschini
Data della prova	23/07/2013 03:12
Latitudine	41,2580
Longitudine	14,5976



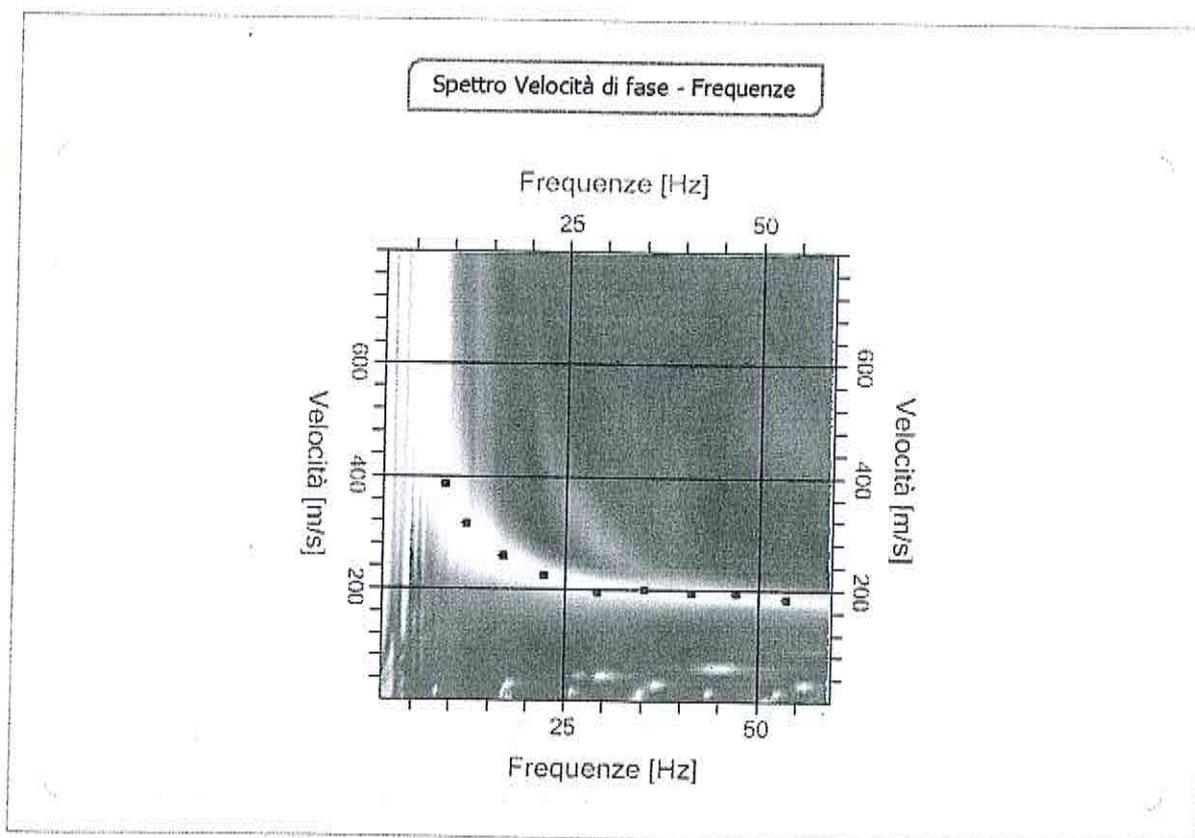
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



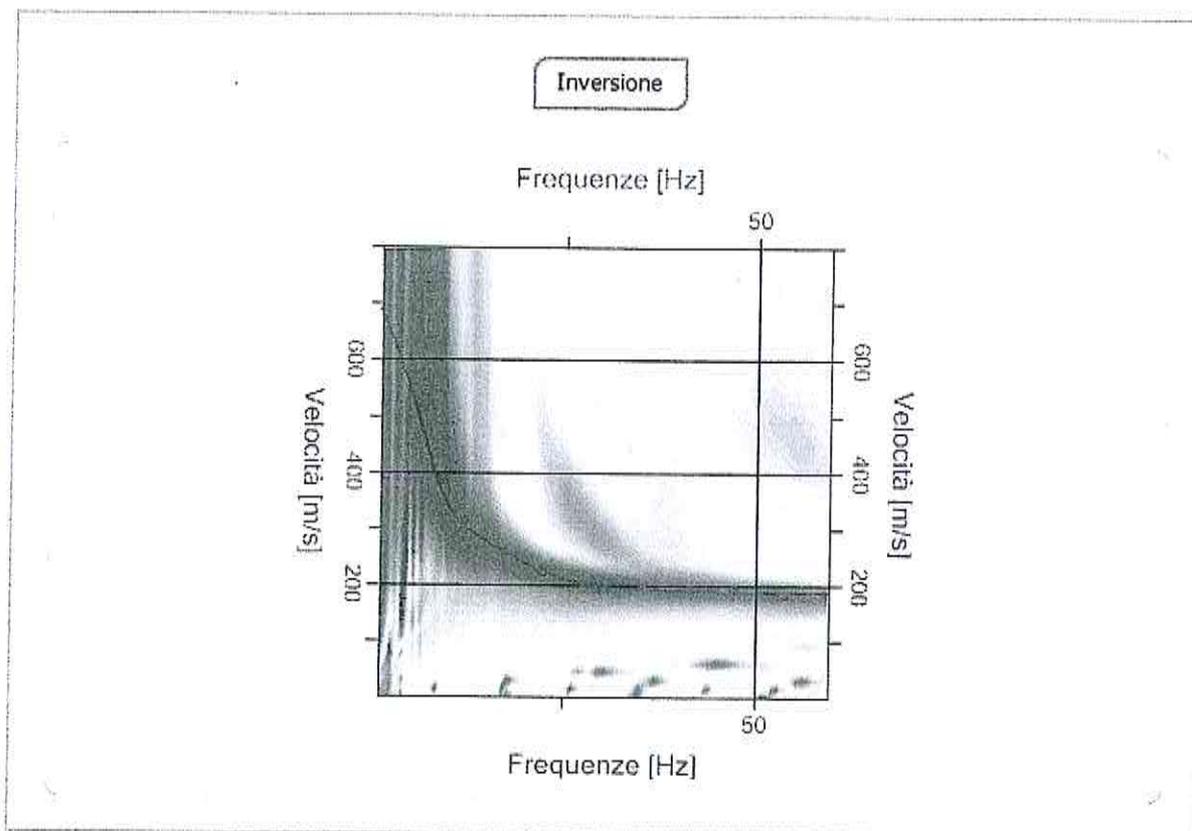
Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9,3	383,1	0
2	12,1	313,7	0
3	17,0	258,6	0
4	22,3	223,9	0
5	29,1	192,1	0
6	35,3	197,9	0
7	41,5	192,1	0
8	47,2	192,1	0
9	53,6	183,4	0

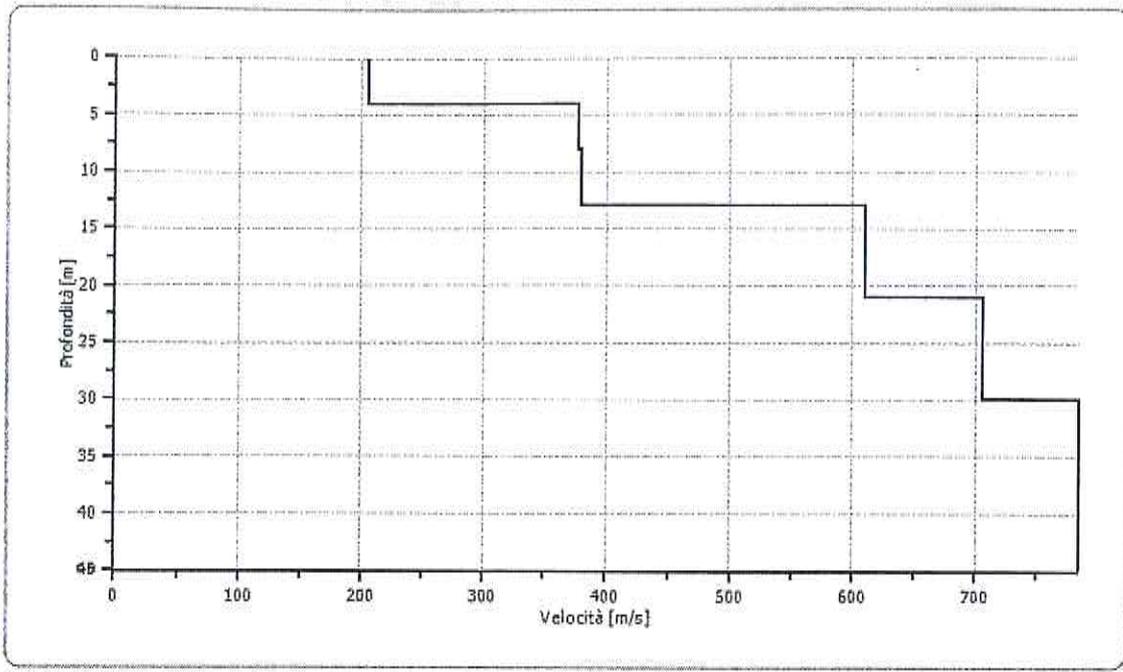


Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso saturo per unità di volume [kg/mc]	Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		4,04	4,04	1800,0	0,2	Si	335,7	205,6
2		8,04	4,00	1800,0	0,2	Si	616,3	377,4
3		13,05	5,01	1800,0	0,2	Si	618,8	379,0
4		21,03	7,98	1800,0	0,2	Si	996,9	610,5
5		29,95	8,92	1800,0	0,2	Si	1152,5	705,8
6		∞	∞	1800,0	0,2	Si	1282,2	785,2

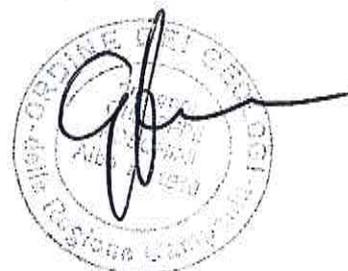


Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	1,00
Vs30 [m/sec]	456,89
Categoria del suolo	B



Suolo di dipo 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 Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [kPa]	Ed [kPa]	M0 [kPa]	Ey [kPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	4,00	4,00	205,58	335,72	1800,00	0,20	76076,75	202871,30	101435,63	182584,19	N/A	873,34
2	9,00	5,00	377,40	616,30	1800,00	0,20	256379,46	683678,50	341839,21	615310,69	N/A	N/A
3	15,00	6,00	378,96	618,84	1800,00	0,20	258499,76	689332,55	344666,20	620399,37	N/A	N/A
4	22,00	7,00	610,48	996,91	1800,00	0,20	670829,89	1788879,51	894439,65	1609991,67	N/A	N/A
5	30,00	8,00	705,77	1152,52	1800,00	0,20	896606,73	2390951,40	1195475,76	2151856,20	N/A	N/A
6	oo	oo	785,18	1282,19	1800,00	0,20	1109707,68	2959219,88	1479609,64	2663298,22	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

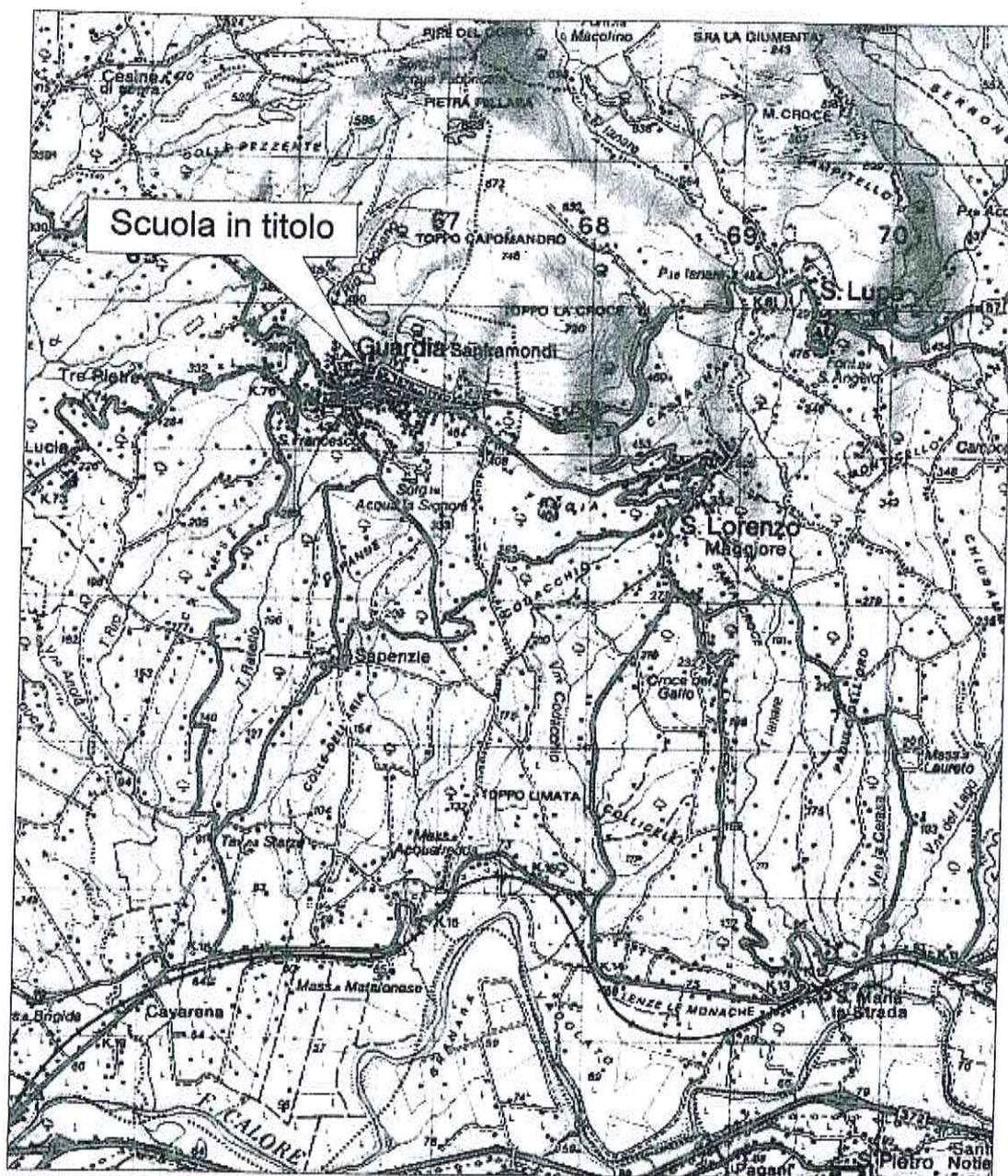
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

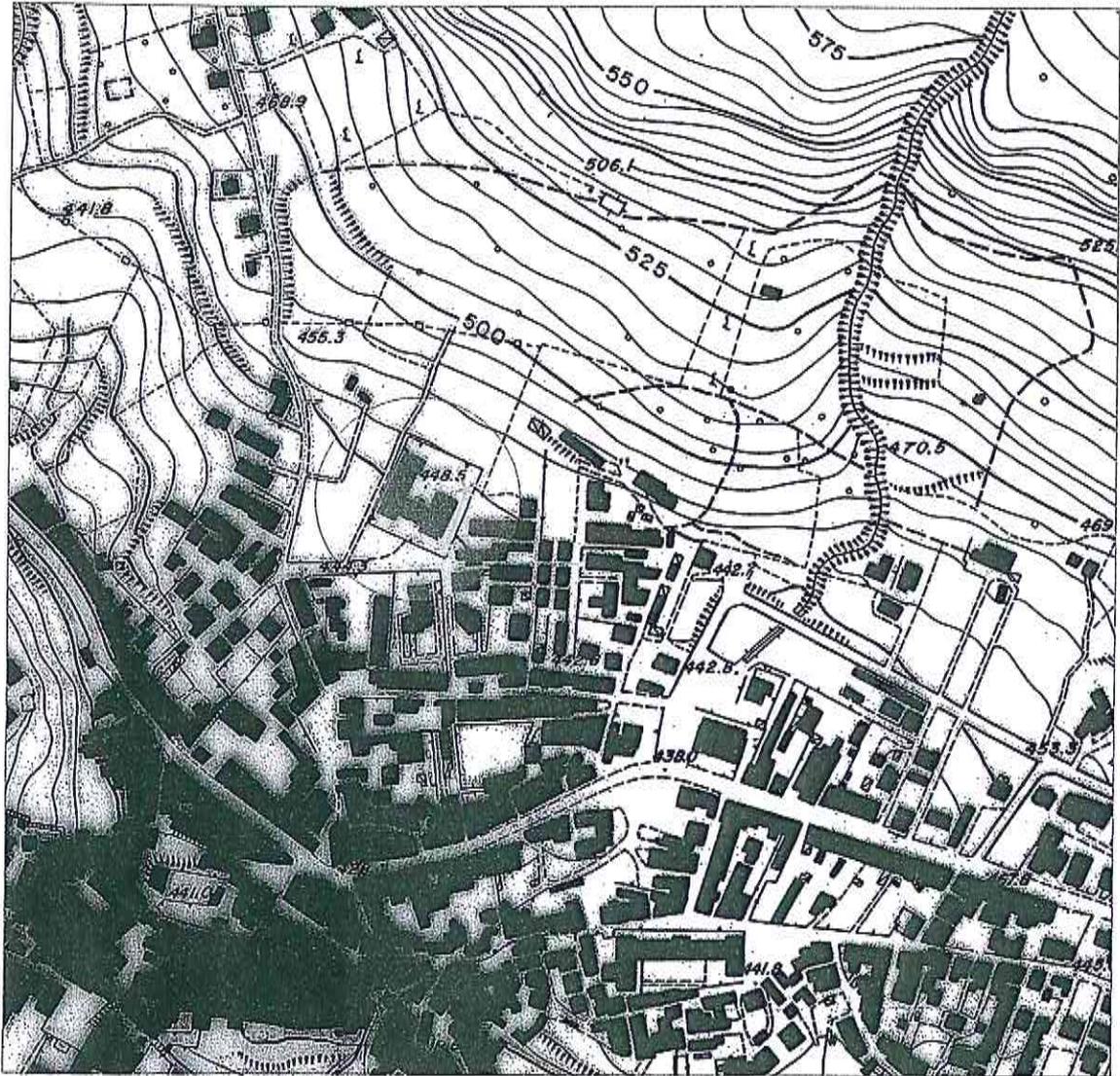
Ey: Modulo di Young;

Inquadramento geografico

scala 1:50000



Aerofotogrammetria con ubicazione delle indagini espletate
(scala 1:5000)



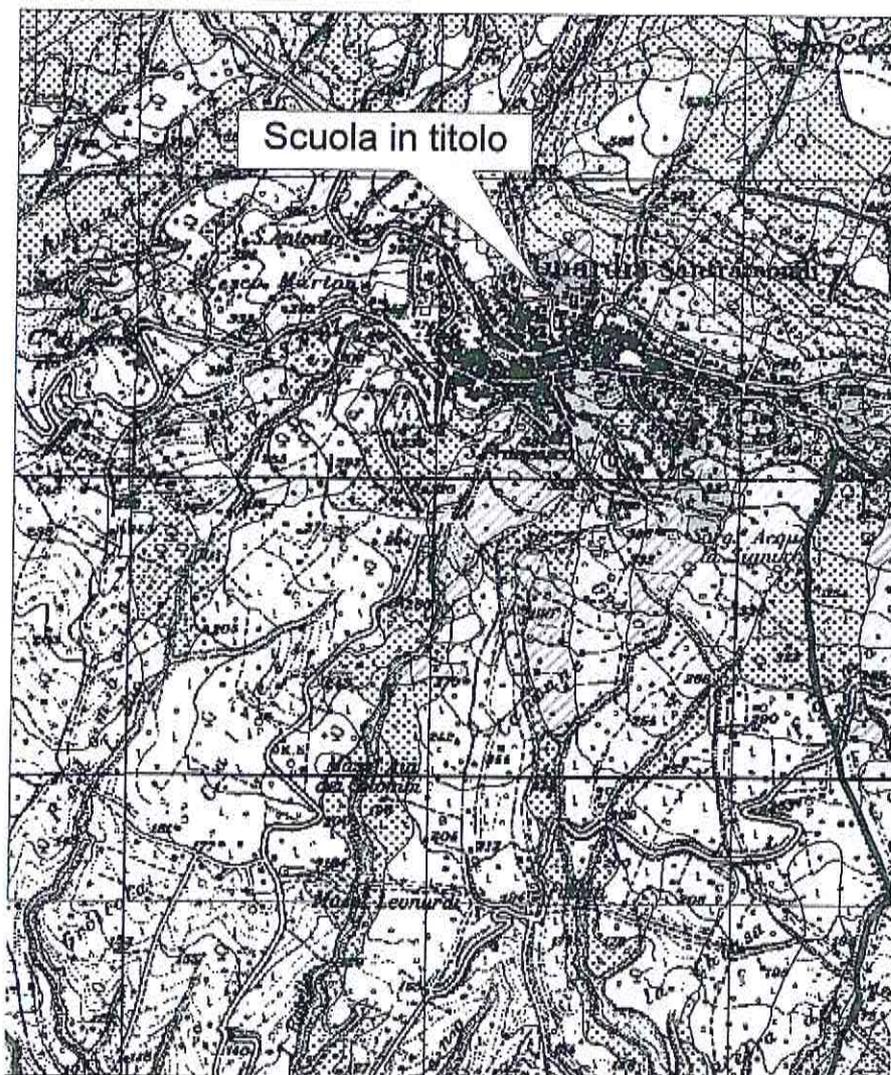
 Indagine geofisica (MASW)

PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

L. n° 183 del 18 maggio 1989
L. n° 253 del 7 agosto 1990
L. n° 493 del 4 dicembre 1993

L. n° 226 del 13 luglio 1999
L. n° 365 dell'11 dicembre 2000

<i>Rischio di frana</i>	Tavola
Carta degli scenari di rischio	13.35
	Foglio 173-4
	Scala 1: 25.000



Legenda



AREA A RISCHIO MOLTO ELEVATO - R4

Nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

(Aree a rischio molto elevato ricadenti in zone a Parco)*



AREA A RISCHIO ELEVATO - R3

Nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.



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 A RISCHIO MODERATO - R1

Nella quale per il livello di rischio presente i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.



AREA DI ALTA ATTENZIONE - A4

Area non urbanizzata, potenzialmente interessata da fenomeni di innesco, transito ed invasione di frana a massima intensità attesa alta.



AREA DI MEDIO - ALTA ATTENZIONE - A3

Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana attiva a massima intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità in un'area classificata ad alto grado di sismicità.



AREA DI MEDIA ATTENZIONE - A2

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



AREA DI MODERATA ATTENZIONE - A1

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



AREA A RISCHIO POTENZIALMENTE ALTO - RP_a

Area nella quale il livello di rischio, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.



AREA DI ATTENZIONE POTENZIALMENTE ALTA - AP_a

Area non urbanizzata, nella quale il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggiore dettaglio.



AREA A RISCHIO POTENZIALMENTE BASSO - RP_b

Area nella quale l'esclusione di un qualsiasi livello di rischio, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.



AREA DI ATTENZIONE POTENZIALMENTE BASSA - AP_b

Area nella quale l'esclusione di un qualsiasi livello di attenzione, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.



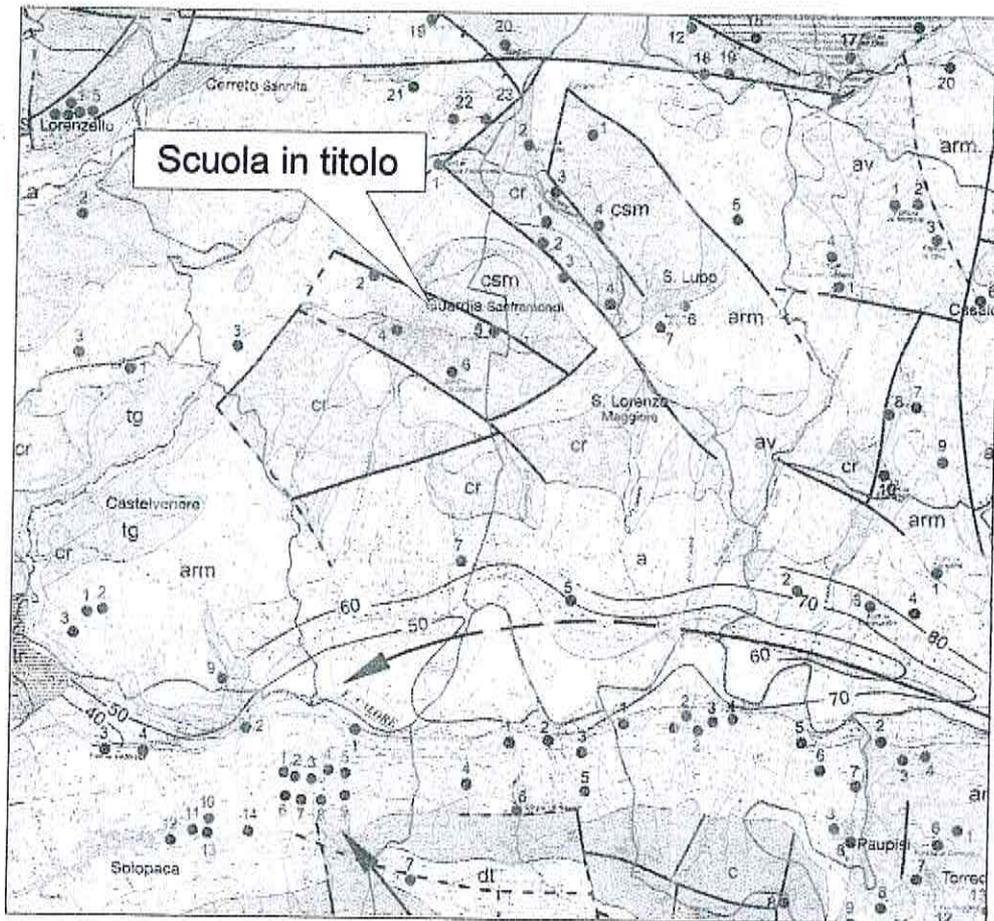
Area di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco, per la quale si rimanda al D.M. LL.PP. 11/3/88 - C1

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 allo spartiacque principale e/o secondario, già riportati nella carta geomorfologica.



Area di versante nella quale non è stato riconosciuto un livello di rischio o di attenzione significativo (applicazione D.M. LL.PP. 11/3/88) - C2

Stralcio carta idro-geo-litologica
scala 1:100000



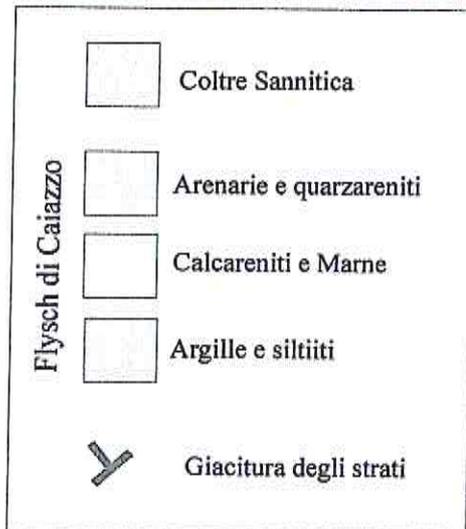
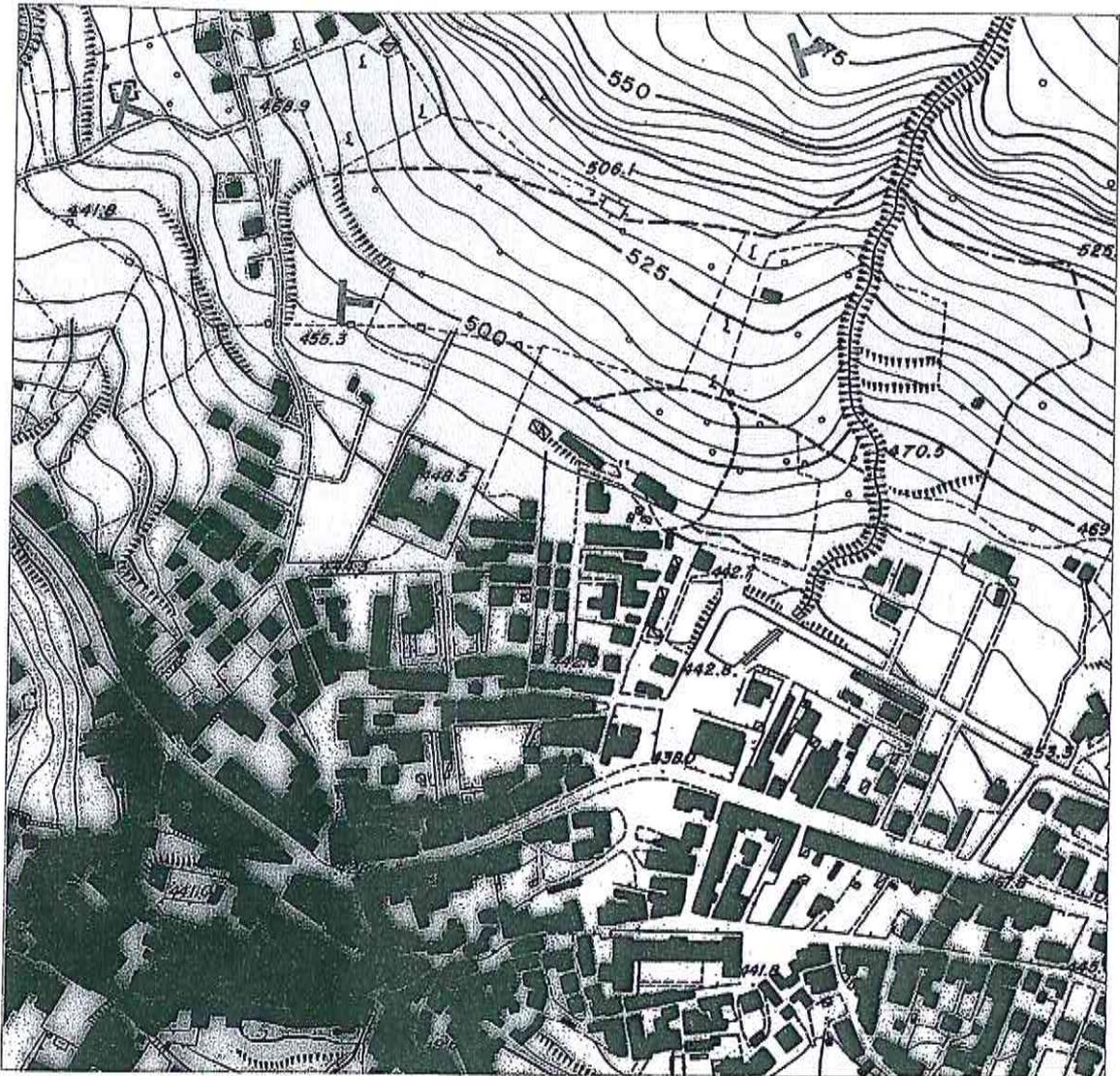
Legenda

Descrizione dei complessi idrogeologici	PERMEABILITÀ									
	GRADO ⁽¹⁾					TIPO ⁽²⁾				
	BB	B	M	A	E	P	Fe	M	Fr	C
 <p>Complesso detritico Depositi detritici sciolti; materiali proclastici rielaborati; terre rosse delle depressioni morfologiche. (Olocene)</p>										
 <p>Complesso alluvionale Depositi ciottolosi delle alluvioni attuali e recenti; ghiaie e sabbie di fondovalle, di gola e di riempimento degli alvei abbandonati dei maggiori corsi d'acqua. Depositi fluviali antichi. (Pliocene-Olocene)</p>										
 <p>Complesso piroclastico lg: tufo giallastro litico; tufo cineritico grigio-avana, incoerente, ricco di piccole pomice biancastre; li: ignimbrite trachitonolitica grigia (tufo grigio campano), poco coerente o sciolto nella parte superficiale. (Pleistocene-Olocene)</p>										
 <p>Complesso dei travertini Travertini e crostoni travertinosi affioranti nell'area di Teleso. (Pleistocene)</p>										
 <p>Complesso sabbioso-argilloso Sabbie ed arenarie di colore generalmente giallastro, con alternanza di livelli di puddinghe poligeniche, di ciottolame e di argille sabbiose grigiastre. Argille ed argille sabbiose grigio-giallastre. (Pliocene)</p>										
 <p>Complesso arenaceo-molassico Sabbioni ed arenarie grigio-giallastre, talora gradate; argille arenacee grigio-azzurrognole, talora alternanti a livelli di calcareniti e marne; lenti di puddinghe poligeniche. (Miocene)</p>										
 <p>Complesso calcarenitico Breccie, calcareniti, arenarie quarzose e calcari cristallini, talora con liste e noduli di selce, associate, nella parte basale, a livelli di marne ed argille policrome e talvolta anche a diaspri bruni e rossastri; marne policrome scagliettate con intercalazioni calcaree, calcareniti e brecciole. (Miocene)</p>										
 <p>Complesso argilloso-marnoso Argille e marne siltose, grigie e varicolori, con intercalazioni di calcari e calcari marnosi, di calcareniti con liste di selce bruna, di arenarie talora grossolane. (Oligocene)</p>										
 <p>Complesso delle argille varicolori Argille ed argille siltose, generalmente con intercalazioni di calcarei silicei e di arenarie sottilmente stratificate. (Oligocene)</p>										
 <p>Complesso conglomeratico-marnoso Conglomerati a cemento argilloso, sabbioso o calcareo, alternati a marne e marne argillose. (Paleocene)</p>										
 <p>Complesso calcareo-silico-marnoso Calcareniti grigiastre, ben stratificate, e brecciole con rare intercalazioni di marne. Calcareniti e calcari bianchi, ben stratificati. (Cretacico-Paleocene)</p>										
 <p>Complesso carbonatico Calcari compatti e detritico-pseudoolitici con intercalazioni dolomitiche verso la base. (Lias superiore)</p>										
 <p>Complesso dolomitico Dolomie e calcari dolomitici, talora detritici; livelli di breccie intraformazionali nella parte superiore. (Lias inferiore - Trias superiore)</p>										

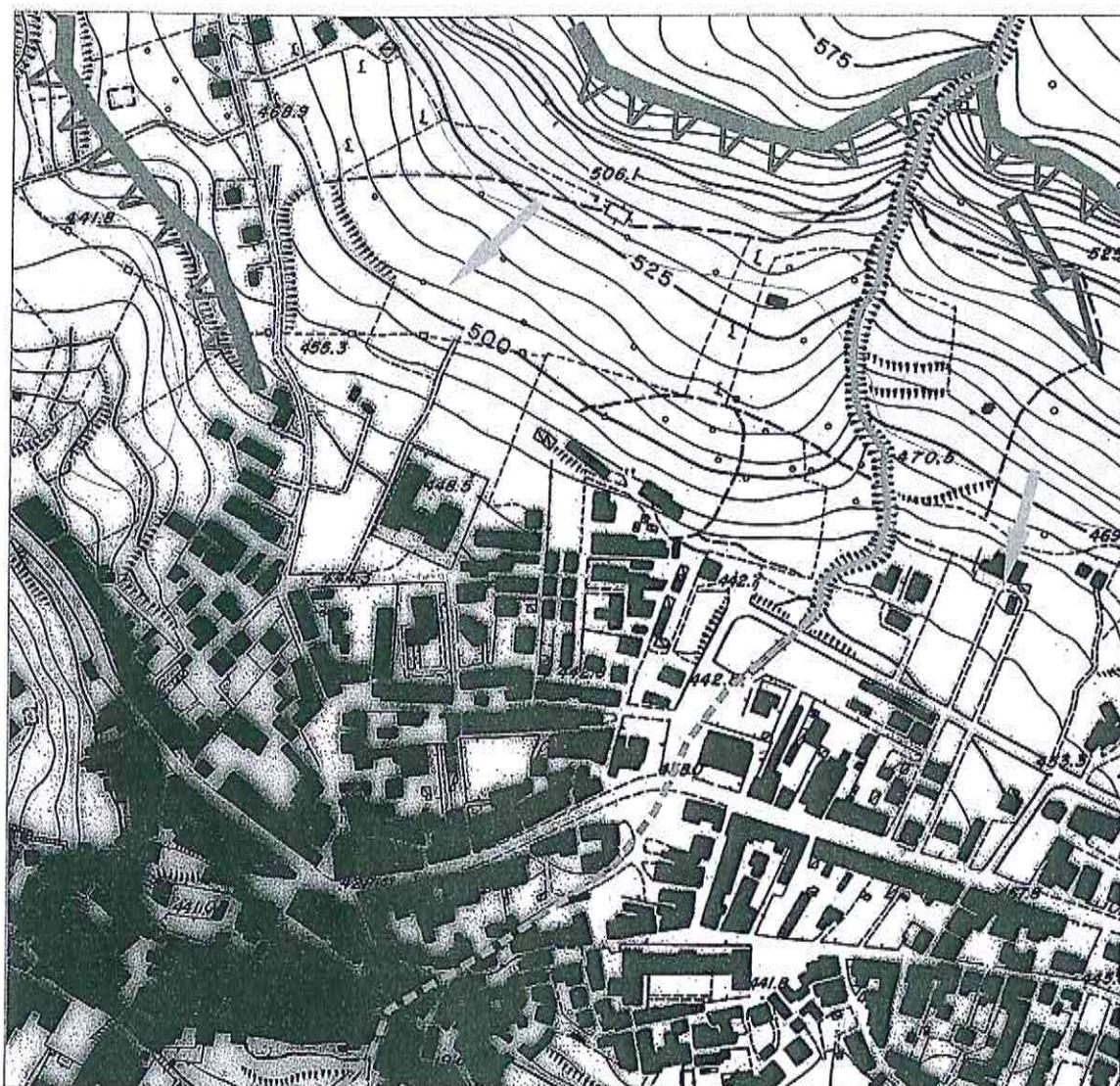
Limite della Provincia di Benevento

Sorgenti (la numerazione è riferita ai singoli comuni)

Carta Geolitologica scala 1:5000



Carta Geomorfologica con elementi idrografici ed idrogeologici (scala 1:5000)



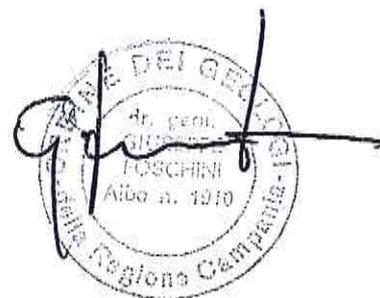
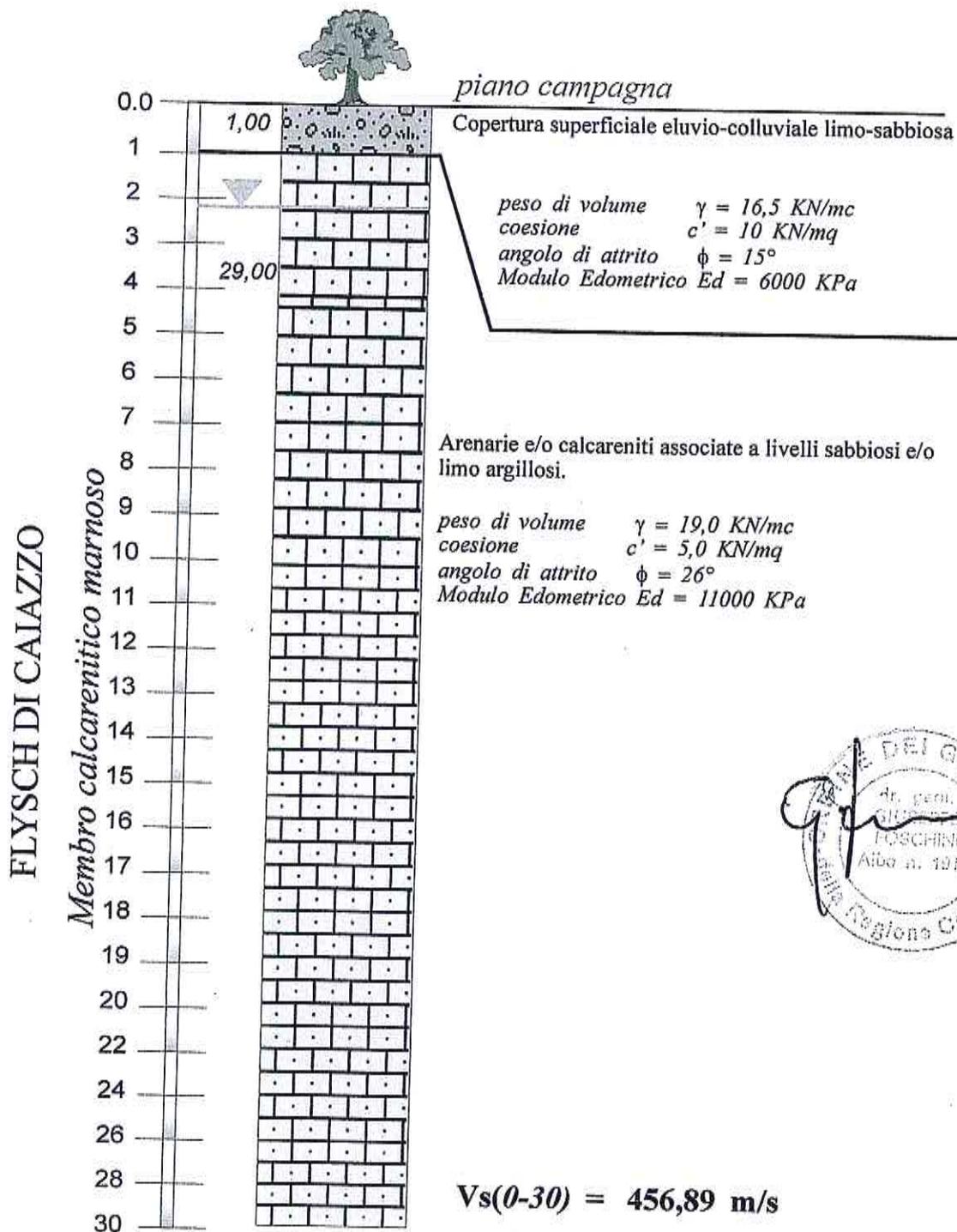
ELEMENTI DI GEOMORFOLOGIA



ELEMENTI DI IDROGEOLOGIA



MODELLO GEOLOGICO DEL SITO



**CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE -B-
 CATEGORIA TOPOGRAFICA -T1-**