*Regione Sicilia*

Comune:

*Ramacca*

Provincia:

*Catania*

*Progetto:*

**Realizzazione di interventi di messa in sicurezza e riqualificazione del "Plesso Scolastico di via Cappuccini"**

Tipo di documento:

***RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA***

| Data | | *Il Geologo* *Dott. Francesco Fazio* |
|---|---|---|
| *Gennaio 2018* | | |

**INDICE**

1. PREMESSA
2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO
3. CLIMATOLOGIA
4. DESCRIZIONE GEOLOGICA
5. IDROGEOLOGIA
6. LINEAMENTI TETTONICI E SISMICITÀ
7. INDAGINI ESEGUITE E RISULTATI
8. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E LOCALE
9. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

**ALLEGATO 1 UBICAZIONE PLANIMETRICA scala 1:10.000**

**ALLEGATO 2 CARTA GEOLOGICA scala 1:2.000**

**ALLEGATO 3 UBICAZIONE INDAGINI no scala**

**ALLEGATO 4 SEZIONE STRATIGRAFICA scala alt./lung 1:200/250**

## 1. Premessa

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Ramacca, in riferimento al Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FERS) circa gli "I*nterventi di messa in sicurezza e riqualificazione degli edifici pubblici adibiti ad uso scolastici")* ed in ottemperanza alle normative tecniche vigenti quali le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (approvate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture in data 14 gennaio 2008), è stata redatta la seguente relazione geologico-tecnica ***"Realizzazione di interventi di messa in sicurezza e riqualificazione del "Plesso Scolastico di via Cappuccini"*** al fine di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, sismotettoniche, idrogeologiche e geotecniche dei litotipi affioranti nell'area di specifico interesse per verificare, quindi, le condizioni di stabilità geomorfologica dei luoghi, ricostruire la successione sismostratigrafica di dettaglio del sito, caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico i litotipi costituenti il sedime fondazionale per un'idonea valutazione dell'interazione terreno-struttura.

Lo studio è stato condotto attraverso il rilievo di campagna eseguito sui luoghi di interesse ed avvalendosi di precedenti studi geologici effettuati nel comprensorio e nel medesimo lotto ("Progetto per il consolidamento della Scuola elementare sita in via Cappuccini", 2005), della documentazione geologica esistente e della verifica dei dati disponibili nonché della specifica campagna di indagini geofisiche eseguita.

Il lavoro è stato così articolato:

- *Inquadramento geomorfologico ed idrologico*
- *Climatologia;*
- *Descrizione geologica;*
- *Idrogeologia;*
- *Lineamenti tettonici e sismicità;*
- *Indagini eseguite e risultati;*
- *Pericolosità sismica di base e locale;*
- *Considerazioni geotecniche.*

## 2. Inquadramento geomorfologico ed idrologico

Il sito oggetto di studio, ad una quota altimetrica media di circa 233 mt s.l.m., ubicato

lungo il margine orientale della tavoletta **"Ramacca"** (F. 269-III-SE) edita dall'I.G.M. .M. in scala 1:25.000 e, per maggior dettaglio, lungo il settore centro-settentrionale dei foglio **"Ramacca"** (CTR-640010) della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (All. 1), è posizionato nella porzione settentrionale dell'abitato di Ramacca nel quadrilatero delimitato dalle vie Cappuccini, A. Volta, F. Crispi e G. Puccini (Coordinate WGS84: lat. 37,387994 – long. 14,695548 – Coordinate ED50: lat. 37,389057 – long. 14,696369 - All. 1).

Tenuto conto dell'ubicazione del sito investigato e dei litotipi affioranti, la morfologia preesistente del comprensorio, caratterizzata da pendenze più o meno modeste prevalentemente verso nord-est, è stata in parte obliterata attraverso l'urbanizzazione del "comprensorio cittadino" e l'espletamento delle diverse attività antropiche connesse ai lavori di spianamento, di terrazzamento ed altre opere finalizzate alla riduzione del ruscellamento e dell'erosione.

In particolare il pendio su cui è costruita la scuola presenta una morfologia alquanto modificata rispetto a quella esistente prima dell'edificazione a causa di sbancamenti e riempimenti effettuati per la costruzione di edifici e strade con conseguente modifica delle caratteristiche idrogeologiche sia della cittadina che dei dintorni di essa.

I caratteri morfologici conferiscono al comprensorio esaminato, che ricade in un'area contraddistinta da terreni sedimentari appartenenti alla Formazione "Terravecchia" e sulla

quale risulta edificata la quasi totalità del centro urbano, un aspetto collinare con discreta pendenza, così come suindicato, verso nord-est.

Un aspetto che si pone al limite tra il dato morfologico e quello idrogeologico e che assume rilievo straordinario ai fini della presente relazione è la presenza di acque di falda estremamente superficiali che in vari punti del centro urbano si mescolano e confondono con acque ruscellanti di natura meteorica e acque di scolo da scarico urbano.

Gli interventi di natura edilizia che si sono susseguiti all'interno del centro abitato hanno contribuito a cambiare le condizioni generali di drenaggio e ruscellamento di tali acque che possono aver, in taluni casi, e spesso inconsapevolmente interferito con livelli superficiali di terreni di fondazione.

In tale ipotesi i caratteri geomeccanici dei terreni possono essere soggetti ad un rapido decremento dei valori di resistenza al taglio provocando fenomeni di cedimenti estremamente dannosi per le strutture che ne vengono interessate.

Nell'area di specifica pertinenza è stata rilevata proprio la presenza di queste acque in livelli estremamente superficiali, come riscontrato in alcuni sondaggi geognostici eseguiti nel corso della campagna d'indagini del 2005 (S2 ed S3) ubicati entrambi nel settore orientale della struttura scolastica.

Questo fenomeno, che è stato ampiamente monitorato nel corso dei sopralluoghi effettuati passati e recenti, spinge a ritenere che la realizzazione degli interventi di consolidamento strutturale dovrebbero essere "sostenute" attraverso la manutenzione delle

opere di raccolta esistenti e/o la realizzazione di altre eventuali opportuni manufatti di intercettazione e drenaggio di queste acque allontanandole quanto più possibile dall'interno del lotto esaminato.

Da notizie apprese sui luoghi risulta che in età antecedente all'edificazione era presente un'incisione con andamento S-N che intersecava l'area interessata dalla costruzione limitatamente al fianco destro lungo via Cappuccini (traccia di ciò è rilevabile sul fronte prospiciente via Alessandro Volta).

Questo elemento morfologico riveste particolare importanza in quanto all'epoca costituiva la naturale via di deflusso delle acque superficiali che è stato obliterato per effetto dell'urbanizzazione dell'area con conseguente modifica della sua originaria funzione drenante.

A tal proposito va sottolineato che al di sotto del muro di contenimento posto tra il plesso scolastico realizzato e quello in costruzione (fronte via Volta) era presente una sorgente di limitata portata.

Da notare che la porzione di versante su cui è stata edificata la scuola è in parte (fronte Via Cappuccini) interessato da fenomeni di cedimenti, che in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, possono subire un'accelerazione in conseguenza di una risalita del livello di falda presente al di sotto del sedime fondazionale.

Tale fenomenologia è da mettere in relazione alla stessa natura litologica del versante costituito da terreni eluviali e colluviali che ricoprono il substrato di natura prevalentemente argillosa.

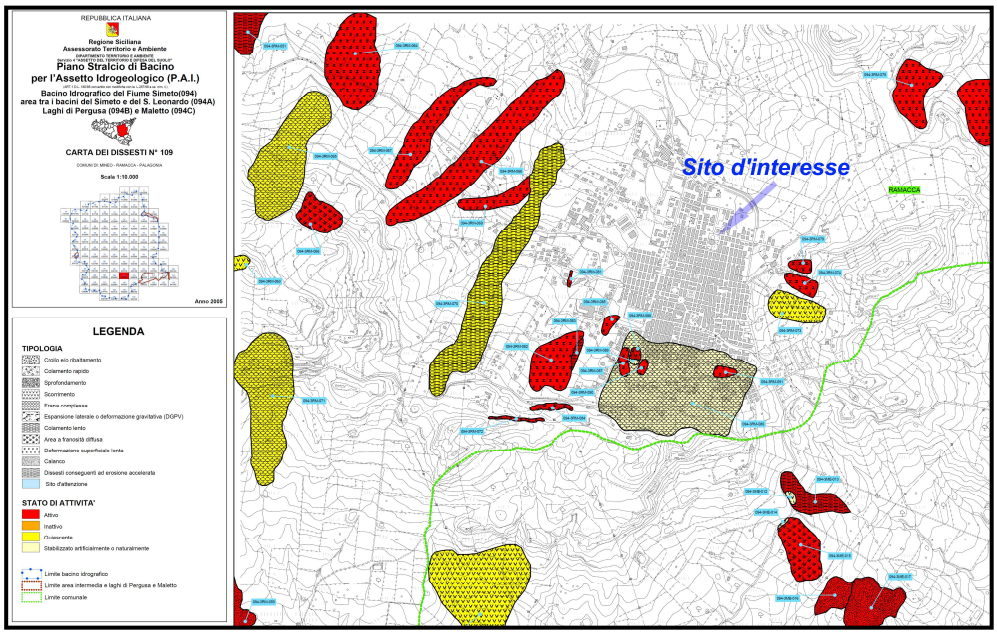
Gli eventi meteorici possono aver contributo, in parte, all'aggravamento dei fenomeni di dissesto avvenuti, ma non rappresentano la causa predisponente; infatti attraverso la realizzazione di idonee opere idrauliche si sarebbe potuto mantenere la naturale infiltrazione delle acque piovane che opportunamente incanalate al di fuori dell'area in esame avrebbero impedito il

deflusso attraverso i terreni direttamente interessati dal sedime fondazionale del plesso scolastico e la conseguente riduzione della capacità portante degli stessi.

**Tabella 3.2.IV** – *Categorie topografiche*

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

In considerazione di quanto indicato, nell'ambito della definizione dell'azione sismica di cui alla nuova normativa, che si basa sull'individuazione delle condizioni topografiche (Tab. 3.2.IV), l'area è ascrivibile tra quelle con caratteristiche topografiche di tipo "T1".




Per completezza d'informazione, in relazione al grado di dissesto geomorfologico posseduto dai terreni presenti nel comprensorio, all'interno del quale ricade il sito di progetto, dal punto di vista applicativo ed in riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico, denominato "P.A.I." (Strumento di pianificazione elaborato dall'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente per delimitare le aree a rischio, fornendo contestualmente i criteri e gli indirizzi indispensabili per l'adozione di norme preventive e per la realizzazione degli interventi tesi a ridurre o eliminare le cause predisponenti) è stata operata un'analisi della specifica cartografia tematica ("Carta dei dissesti n.109, "Carta della pericolosità e rischio geomorfologico n.109", dell'area territoriale all'interno del bacino del

Fiume Simeto “094”).

Dall’esame cartografico si evidenzia che nell’area di stretto interesse non si rilevano dissesti particolari e conseguentemente non sono indicati livelli di pericolosità e rischio geomorfologico ed in ugual modo è possibile escludere per la medesima area qualsivoglia fenomenologia attinente il rischio idraulico tale da poter pregiudicare la stabilità del sito progettuale.

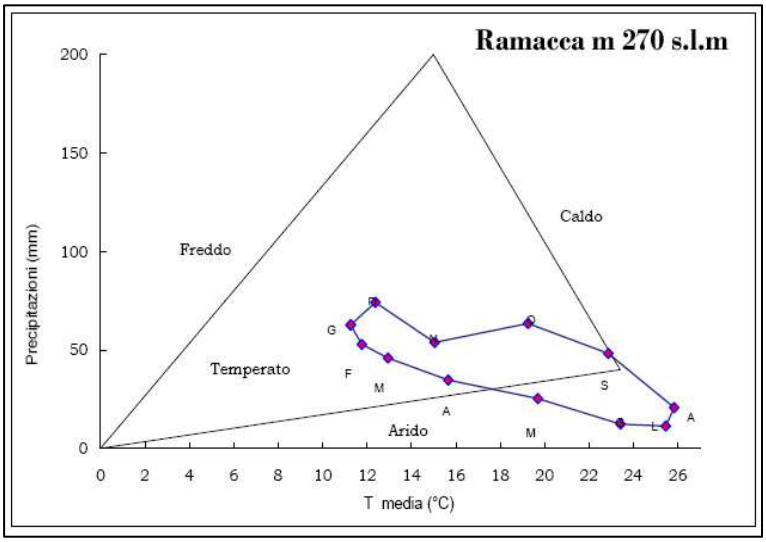
## 3. Climatologia

In accordo con quanto definito dall’Organizzazione Meteorologica Mondiale la climatologia rappresenta lo studio del comportamento degli elementi meteorologici e dei fenomeni atmosferici di una data regione, valutati nell’ottica di un ampio arco temporale solitamente un trentennio.

Per questo lavoro sono stati utilizzati i dati forniti dal Servizio Informativo Agrometereologico Siciliano dell’Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia e dal Servizio Idrografico del Genio Civile (Climatologia della Sicilia – SIAS).

Per le stazioni meteo considerate nel presente lavoro sono stati esaminati i valori medi mensili di temperatura ed i dati di precipitazioni medie mensili utili per giungere all’elaborazione dei climogrammi di Peguy che permettono di riassumere sinteticamente le condizioni termo-pluviometriche del comprensorio esaminato.

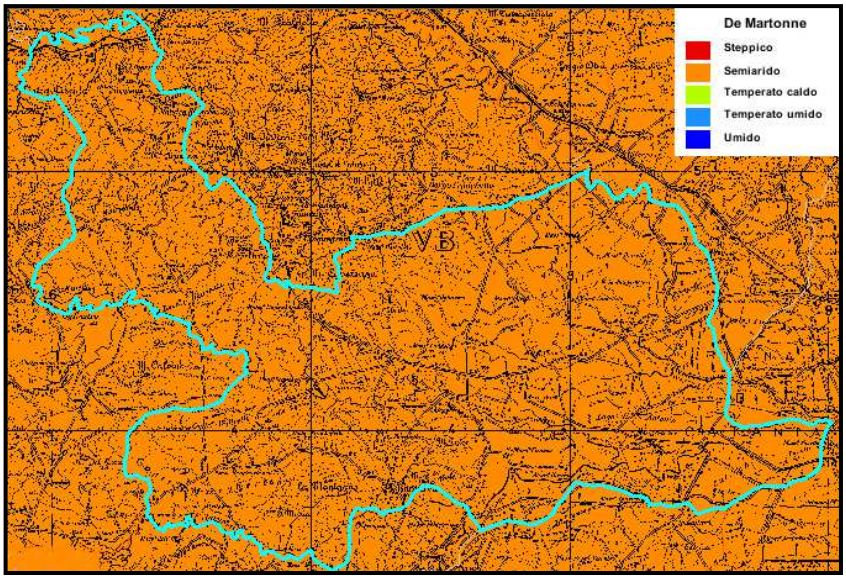
Sul climogramma di Peguy (temperature medie mensili – precipitazioni mensili cumulate) è riportata un’area triangolare i cui vertici (0 °C, 0 mm; 23.4 °C, 40 mm; 15 °C, 200 mm) delimitano una “condizione” di clima temperato all’interno e freddo, caldo ed arido all’esterno (rispettivamente alto a sx, alto a dx ed in basso); plottando sul diagramma le coppie temperatura-precipitazioni si definisce un’area poligonale la cui posizione rispetto al triangolo di



riferimento permette di definire in modo immediato le condizioni climatiche della stazione.

Al fine di definire le condizioni climatiche di una data area si fa ricorso, talvolta, a particolari elaborazioni rappresentate dagli indici climatici che rappresentano in maniera sintetica, utilizzando alcuni parametri meteorologici, le possibili classificazioni climatiche.

Tra gli indici sintetici proposti dai diversi studiosi di climatologia sono stati considerati quelli di De Martonne e di Thornthwaite le cui formule sono di seguito riportate:




$Ia = P / (T + 10)$ Indice di aridità di De Martonne

$(10 < Ia < 20$ = clima semiarido)

dove :
P = precipitazioni medie annue (mm)
T = temperatura media annua (°C)

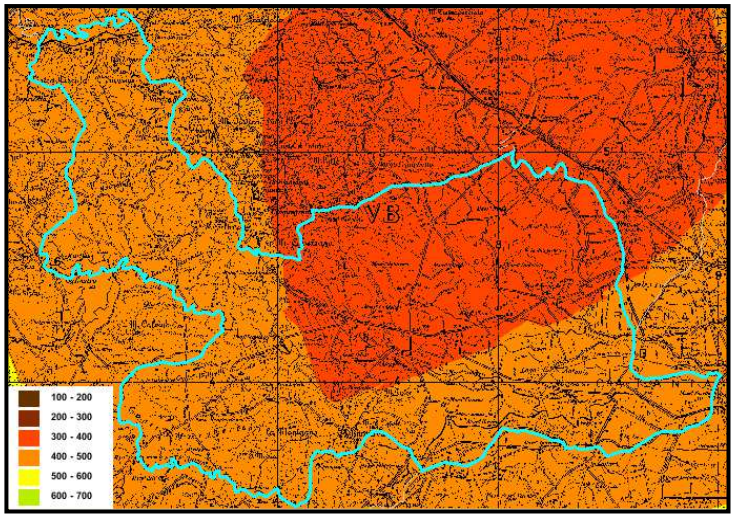
$Im = ((P – ETP) / ETP) * 100$ Indice globale di umidità (Thornthwaite)

$(-67 < Im < -33$ = clima semiarido)

dove :
P = precipitazioni medie annue (mm)
ETP = evapotraspirazione potenziale media annua (mm)

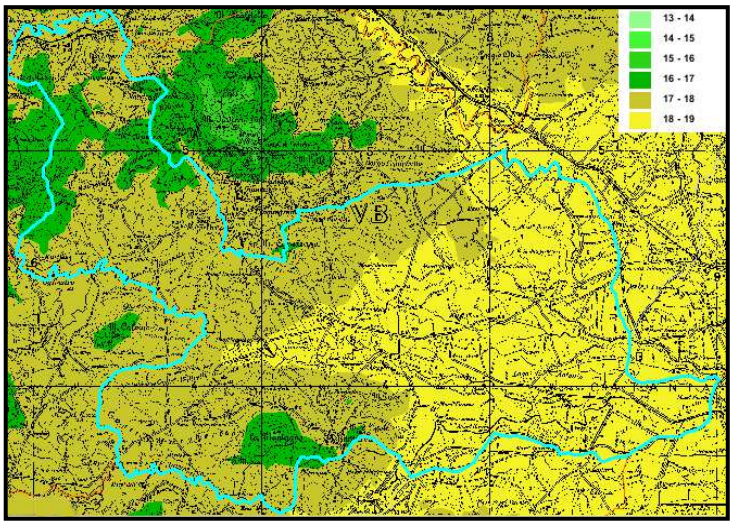
Considerando gli indici suindicati il comprensorio esaminato risulta caratterizzato da un clima semiarido con riferimento al tipico clima mediterraneo contraddistinto da una temperatura media annua di circa 18°C÷19°C (la temperatura media del mese più caldo risulta superiore ai 30°C) e da un regime pluviometrico caratterizzato da una concentrazione delle precipitazioni nel periodo freddo (semestre autunno-inverno).

I più importanti eventi meteorici si riscontrano nel periodo ottobre-dicembre mentre la maggiore frequenza di giorni piovosi si registra nei mesi di gennaio e febbraio.




A tal proposito, dall'analisi della distribuzione areale delle precipitazioni medie annue (percentile 50) nel comprensorio esaminato, risulta che il territorio in oggetto è interessato da una piovosità media annua di circa 400÷500 mm di pioggia.

I valori di temperatura presentano un massimo nei mesi di luglio ed agosto ed una notevole escursione termica tra il periodo estivo e quello invernale che ha in gennaio il mese più freddo.



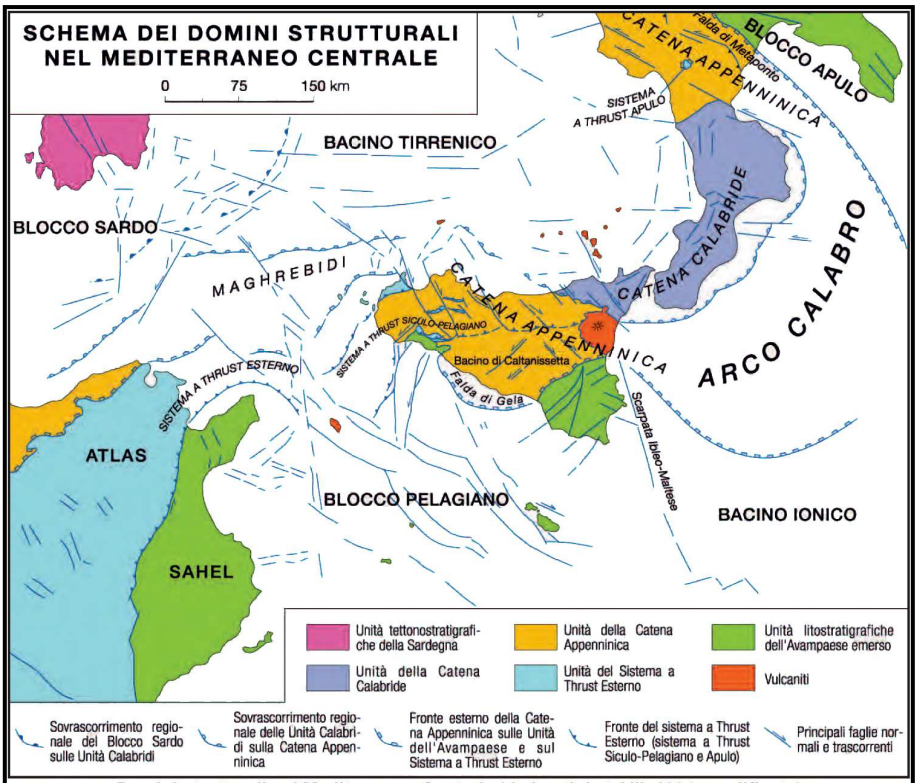

Altri fattori determinanti le condizioni climatiche di una data località sono rappresentati da diversi elementi quali il vento, l'esposizione, la copertura vegetale, la morfologia e la profondità del suolo che influenzano in vario grado quelli che sono gli effetti della radiazione solare incidente e conseguenzialmente l'evapotraspirazione, in modo che, talvolta, i valori della temperatura e dell'umidità del suolo e dell'aria possono risultare assai diversi.

## 4. Descrizione geologica

Sulla base delle indicazioni ottenute dai rilievi eseguiti sui luoghi, dai dati forniti dalla Carta Geologica del settore nord-occidentale dell'Avampaese Ibleo e del Fronte della Falda di Gela (M. Grasso et Alii, 2004) è stata redatta una carta geologica di dettaglio dalla quale

si deduce che il comprensorio in esame è interamente costituito da terreni di origine sedimentaria.

Dal punto di vista geologico l'area risulta ubicata in una vasta zona di affioramento della facies prevalentemente argillosa della Formazione Terravecchia di età tortoniana; in generale si tratta di argille limose spesso marnose, di colore grigio-azzurro in profondità e giallo-brune in superficie con frequenti intercalazioni di strati o lenti sabbiose.



Domini strutturali nel Mediterraneo Centrale (da Lentini et Alii, 1994, modificato)

Le Argille Tortoniane, che sin dal tempo della loro deposizione hanno subito processi di erosione ed alterazione e sono state ripetutamente scompaginate e sottoposte a più o meno lenti movimenti di assestamento gravitativi, contengono variabili percentuali di limo e di sabbia e sporadicamente sono presenti livelli calcarei di limitato spessore.

Il periodico ripetersi, abbastanza generalizzato per l'intero territorio urbano, di fenomeni di soliflusso ha portato alla formazione, al tetto delle Argille Tortoniane, di modesti spessori di alcuni metri di depositi eluviali e colluviali a bassa coesione e media permeabilità di colore variabile dal giallastro al nero (per la presenza di residui organici).

La Formazione Terravecchia, discordante sui sottostanti terreni del Complesso Sicilide, rappresenta un deposito deltizio-continentale quale conseguenza delle variazioni

isostatiche e batimetriche del bacino di deposizione che portarono alla sedimentazione alternata di terreni a diversa granulometria con un passaggio talvolta graduale a volte netto.

Lo spessore di tale formazione raggiunge i 250 metri (Montagna – NW di Ramacca).

Al di sopra della Formazione Terravecchia si ritrovano, spesso, depositi di Argille Brecciate (AB2), costituite da brecce argillose brunastre a matrice argilloso-siltosa con presenza di clasti grossolani quarzarenitici, quale risultato dello smantellamento di porzioni di terreno appartenenti al Flysh Numidico ed al Complesso Sicilide ubicati perifericamente al bacino di deposizione della Formazione Terravecchia.

Lo spessore delle Argille Brecciate raggiunge i 150 metri.

In continuità sopra i terreni della Formazione Terravecchia (e ove presenti le Argille Brecciate) affiorano i terreni appartenenti alla cosiddetta Serie Evaporitica o Gessosa Solfifera di età messiniana depositatisi in bacini ristretti od a scarsa alimentazione idrica.

I livelli basali sono dati da diatomiti bianche (Tripoli) che passano verso l'alto a calcari di base, gessi, sali e marne bianche (Trubi).

## 5. Idrogeologia

Il quadro idrogeologico è funzione degli aspetti morfologico, geologico e strutturale e quindi viene valutato sulla base delle caratteristiche litologiche, del grado di porosità nonché della capacità dei terreni di lasciarsi attraversare dall'acqua ed immagazzinarla.

Sulla base delle considerazioni geologiche precedentemente illustrate, delle indagini effettuate e posto che i termini sedimentari ivi affioranti presentano un'elevata anisotropia ed una permeabilità estremamente variabile, da punto a punto e lungo la stessa verticale, si è deciso di operare la seguente classificazione:

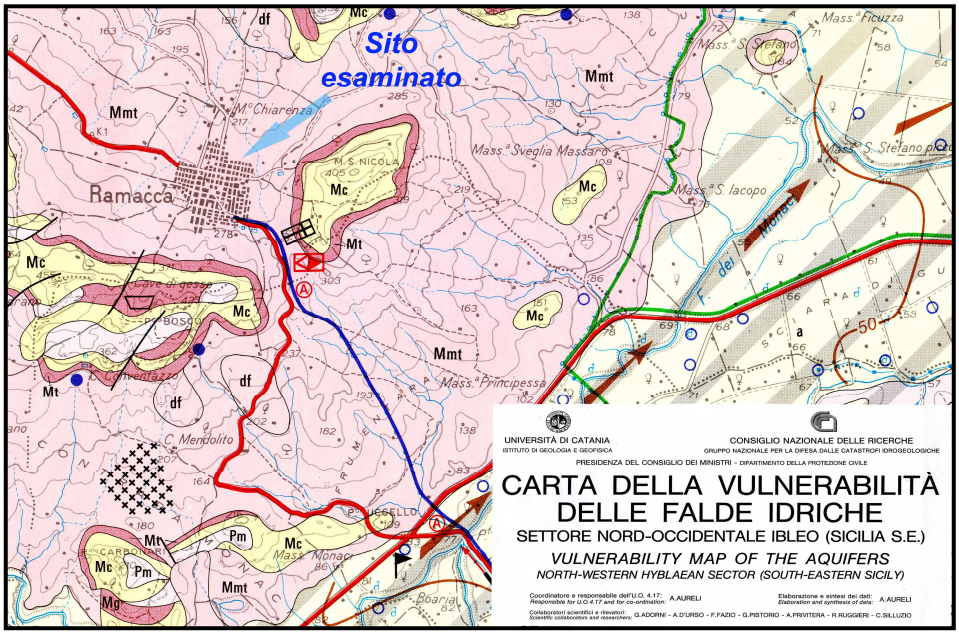
- terreni moderatamente permeabili;
- terreni impermeabili.

Appartiene alla categoria dei terreni moderatamente permeabili la copertura di terreni eluviali e colluviali che sormontano la parte apicale della Formazione Terravecchia campionata nel corso dei sondaggi geognostici ad una profondità di pochi metri dal piano campagna e ricoperta da materiale di riporto; costituisce la sede di una falda superficiale il

cui livello individuato nei succitati fori S2 ed S3 si posiziona ad una quota rispettivamente di 4,30 mt e 1,30 mt dal piano campagna.

Pur trattandosi di terreni aventi un'alta porosità il loro grado di permeabilità è medio-basso risultando influenzato dai livelli limosi in esse contenute; valore del coefficiente di permeabilità K di circa $10^{-3}$ cm/s.

I terreni impermeabili sono rappresentati dai sedimenti prevalentemente argillosi del substrato costituiti dalle Argille della Formazione Terravecchia che presentano un coefficiente di permeabilità K sempre inferiore a 10^-7 cm/s; questi terreni costituiscono l'acquiclude della succitata falda superficiale.




In queste condizioni l'acqua di precipitazione, penetrando attraverso il materiale di riporto ed i depositi eluviali e colluviali, tende a raggiungere il substrato seguendo percorsi assimilabili a delle spezzate, con tratti vicini alla verticale in corrispondenza dei livelli maggiormente permeabili e tratti variamente inclinati in corrispondenza dei locali livelli limosi a minore permeabilità.

Da quanto fin qui prodotto, riassumendo, unitamente agli studi effettuati per la realizzazione della "*Carta della Vulnerabilità all'inquinamento delle falde idriche del Settore nord-occidentale Ibleo*" (U.O. 4.17 – Coord. A. Aureli; 1997), l'area di stretta pertinenza si trova all'interno di un complesso sedimentario rappresentato da terreni caratterizzati da un alto potere di ritenzione delle sostanze inquinanti ed un basso grado di

vulnerabilità.

## 6. Lineamenti tettonici e sismicità

I lineamenti tettonici del territorio esaminato si collegano all'evoluzione strutturale subita dall'intero versante orientale della Sicilia a partire dal Pleistocene ed ancor prima, i cui elementi fondamentali sono rappresentati da un generale sollevamento testimoniato prima dalla sequenza regressiva del Pleistocene inf.-medio e poi dalla formazione di terrazzi fluvio-deltizi a quote sempre più basse; la presenza di più ordini di tali terrazzi dimostra che il sollevamento è avvenuto in più riprese, connesso anche con lo sviluppo di direttrici tettonico-strutturali orientate NNE-SSW e NNW-SSE.

Recenti studi a carattere stratigrafico-strutturale, eseguiti in aree attigue a quella in esame lungo i principali alvei fluviali del comprensorio (mediante una specifica campagna di indagini di tomografie elettriche), hanno permesso di evidenziare la presenza di strutture tettoniche in affioramento tra la Piana di Catania, il settore occidentale dell'area urbana di Catania ed il bordo meridionale del bacino etneo ("Tettonica Attiva nell'area di Catania: riconoscimento di strutture tettoniche mediante analisi geomorfologica ed indagini geofisiche" – Boll. O.R.G.S. anno XVII/2 - Dott. S. Torrisi e Dott.sa A. Occhipinti, Apr - Giu 2009).

In Sicilia orientale (Pliocene sup. – Pleistocene inf.) al processo contrazionale sviluppatosi al fronte e lungo l'asse della catena siculo-maghrebide ed al retro di essa seguì una forte sovraincisione del reticolo idrografico a partire dalla costa verso le aree più interne, come conseguenza degli alti tassi di sollevamento tardo-quaternario.

Questo processo è stato messo in evidenza dalla formazione di terrazzi marini e continentali fortemente sollevati lungo la costa ionica ed in particolare nel tratto relativo all'odierna Piana di Catania dove è stato possibile definire ben sette distinti ordini di sequenze marine terrazzate regressive caratterizzate dalla formazione di depositi marini prevalentemente sabbiosi, passanti verso l'alto a coperture alluvionali, poggianti in discordanza sui sedimenti argillo-marnosi azzurri.

La datazione delle diverse sequenze terrazzate, riferibili al tardo – Quaternario, ha permesso di associare temporalmente i differenti elementi strutturali ai diversi stili

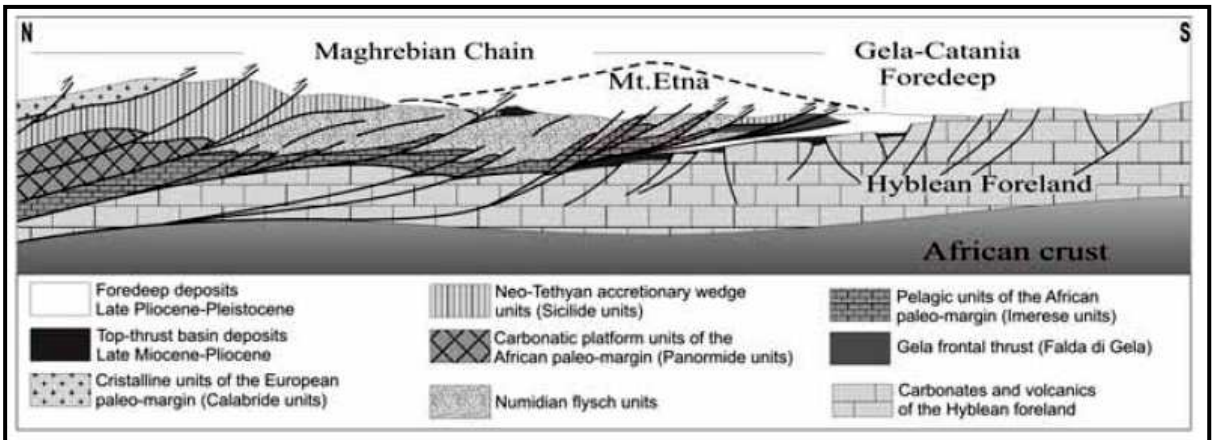
deformativi che hanno contraddistinto l'evoluzione geodinamica dell'area compresa tra i domini della catena siculo-maghrebide, della placca ionica e dell'avampaese ibleo.

È stato possibile, dunque, identificare tre diverse fasi tettoniche, succedutesi nel tempo, contrassegnate da altrettanti diversi stili e modalità di deformazione:

- fase strutturale compressiva
- fase strutturale distensiva
- fase strutturale plicativa

Alla prima fase va riferita una struttura tettonica compresa tra due principali sistemi di faglie di taglio con una componente di movimento destro orientati WNW-ESE e collegati tra loro da rampe di thrust con orientazione grossomodo E-W e NE-SW; l'orientazione dei vari sistemi tettonici indicherebbe una direzione di massima compressione circa NNW-SSE.

Alla successiva fase distensiva va associato il sistema di faglie a gradinata con direzione prevalentemente NNW-SSE e rigetto verso est, che degradando, più o meno dolcemente, verso il mare Ionio si ricollegano alle importanti scarpate presenti a nord e nord-est dell'area esaminata appartenenti al sistema di faglie della "Timpa" (Tortorici et Alii, 1995; Monaco et al., 1995; 1997).

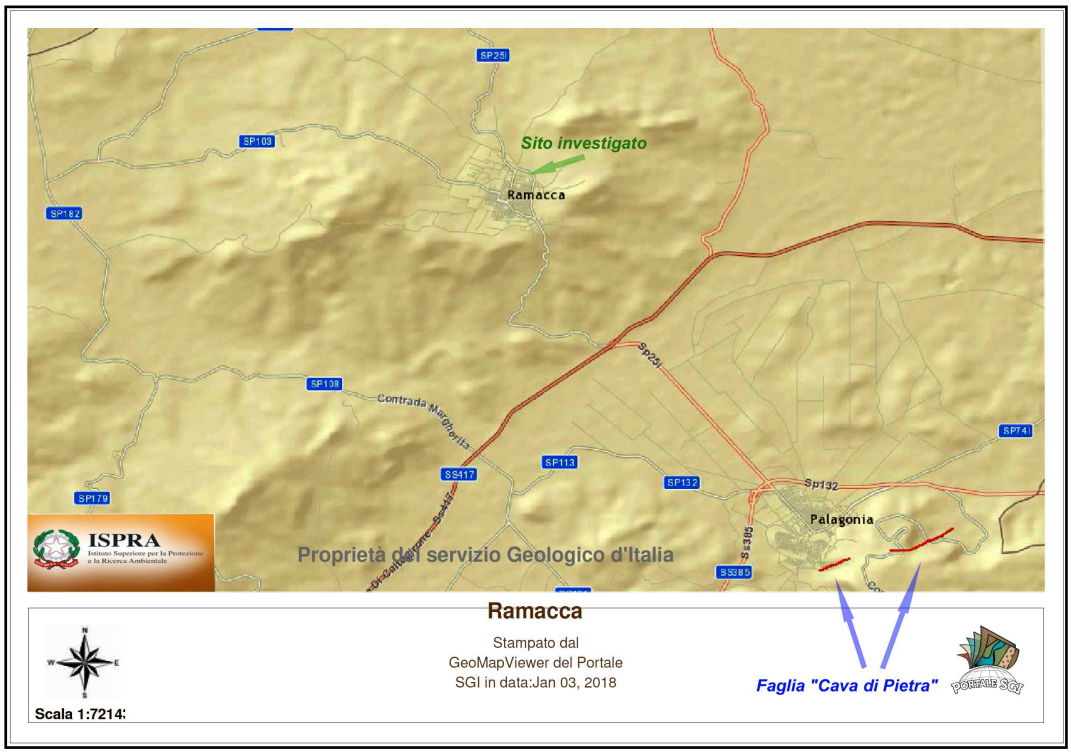



**Sezione geologica schematica attraverso la Sicilia orientale (da Catalano et alii, 2004, modificato)**

L'ultima fase strutturale riferibile al sistema plicativo è contraddistinto da una serie di anticlinali orientate ENE-WSW con fianchi diritti e debole inclinazione (Agnelleria, Rotondella, Sigonella e Passo Martino) che tagliano quasi ortogonalmente il fiume Simeto; mediante, quindi, l'analisi morfologica è stato rilevato come questa fase plicativa abbia contributo alla deformazione dei depositi alluvionali terrazzati.

A completamento del quadro tettonico-strutturale del comprensorio esaminato è stata condotta una specifica ricerca riguardante la presenza o meno di strutture tettoniche attive con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali; a tal proposito occorre, dunque, verificare l'esistenza di faglie capaci definite come strutture potenzialmente atte a creare deformazione in superficie.

A tal fine è stato consultato il database del progetto ITHACA (www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci) realizzato dal *Servizio Geologico d'Italia - ISPRA* per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni riguardanti i sistemi tettonicamente attivi con lo scopo di analizzare la pericolosità ambientale e sismica del territorio e comprenderne l'evoluzione recente; per quel che concerne i risultati della suddetta analisi si rinvia all'esame cartografico della sottostante figura dove si evidenzia che la struttura tettonica attiva più vicina al sito investigato si ubica in prossimità dell'abitato di Palagonia (Faglia normale "Cava di Pietra" appartenente al sistema "Acate-Margi-Mineo").



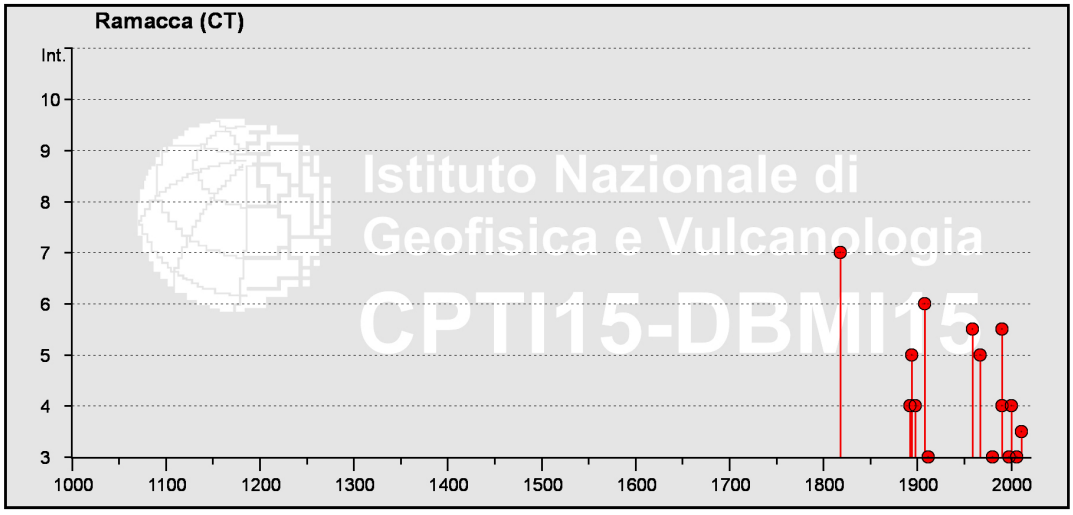

Con riferimento al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani ed al Database Macrosismico CPTI15-DBMI15 (liberamente consultabile all'indirizzo http:emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15: *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E.,*

*Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*) è stata analizzata la sismicità storica del comprensorio ramacchese all'interno del quale ricade l'area investigata.

Tra gli eventi sismici di maggiore rilevanza, per il grande interesse sismologico e storico, occorre ricordare il terremoto del 20 febbraio 1818, catalogato con intensità macrosismica VII secondo MCS per il comune di Ramacca.

Nel successivo elenco vengono indicati gli eventi sismici che rappresentano il prodotto della ricerca condotta attraverso il database DBMI15, che individua 27 terremoti significativi per il territorio di Ramacca, a partire dall'evento del 1818.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 | | | | | |
| Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | | | | | |
| Seismic history of | Ramacca | Coordinates (lat, lon) | 37.384, 14.694 | | |
| Province | Catania | | | | |
| Region | Sicilia | | | | |
| No. of reported ea | 27 | | | | |
| | | | | | |
| **Intensity** | **Year Mo Da Ho Mi Se** | **Epicentral area** | **NMDP** | **Io** | **Mw** |
| 7 | 1818 03 01 02 45 | Monti Iblei | 24 | 7-8 | 5.57 |
| 4 | 1892 01 22 23 47 | Monti Iblei | 26 | 5 | 4.41 |
| 5 | 1894 11 16 17 52 | Calabria meridionale | 303 | 9 | 6.12 |
| 4 | 1898 11 03 05 59 | Calatino | 48 | 5-6 | 4.51 |
| NF | 1905 09 08 01 43 | Calabria centrale | 895 | 10-11 | 6.95 |
| NF | 1908 12 10 06 20 | Monti Peloritani | 64 | 7 | 5.11 |
| 6 | 1908 12 28 04 20 27.00 | Stretto di Messina | 772 | 11 | 7.1 |
| NF | 1911 10 29 06 49 | Mineo | 11 | 5 | 4.16 |
| 3 | 1912 12 22 08 05 | Stretto di Messina | 56 | 5-6 | 4.68 |
| F | 1924 08 17 21 40 | Monti Iblei | 22 | 5 | 4.74 |
| NF | 1947 05 11 06 32 15.00 | Calabria centrale | 254 | 8 | 5.7 |
| 5-6 | 1959 12 23 09 29 | Piana di Catania | 108 | 6-7 | 5.11 |
| 5 | 1967 10 31 21 08 07.00 | Monti Nebrodi | 60 | 8 | 5.33 |
| 3 | 1980 01 23 21 | Monti Iblei | 122 | 5-6 | 4.39 |
| 5-6 | 1990 12 13 00 24 25.68 | Sicilia sud-orientale | 304 | | 5.61 |
| 4 | 1990 12 16 13 50 28.68 | Ionio meridionale | 105 | | 4.38 |
| NF | 1997 07 30 16 06 37.40 | Monti Iblei | 45 | 5 | 4.45 |
| 3 | 1998 01 10 08 45 18.00 | Etna - Versante sud-occidentale | 44 | 6-7 | 3.96 |
| 4 | 2000 11 05 17 26 27.04 | Etna - Versante meridionale | 70 | 5-6 | 3.85 |
| NF | 2001 01 09 02 51 58.31 | Etna - Zafferana Etnea | 104 | 6 | 3.73 |
| NF | 2004 05 05 13 39 42.93 | Isole Eolie | 641 | | 5.42 |
| 2 | 2004 12 30 04 04 50.26 | Monti Iblei | 48 | 4 | 3.82 |
| NF | 2006 05 20 07 05 55.58 | Etna - Versante sud-occidentale | 27 | 6 | 3.91 |
| 3 | 2006 12 19 14 58 05.94 | Etna - Versante nord-occidentale | 28 | 6 | 4.19 |
| NF | 2009 12 19 09 01 14.58 | Etna - Maletto | 64 | 6 | 4.39 |
| 3-4 | 2011 05 06 15 12 35.04 | Etna - Versante nord-occidentale | 25 | 5-6 | 4.31 |
| NF | 2011 10 09 08 28 26.65 | Monti Iblei | 26 | 4 | 3.47 |
| Mw = | Magnit. momento | | | | |
| I = Intensità nella località considerata espressa in scala M.C.S. | | | | | |
| Np =Numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto | | | | | |
| Io = Intensità epicentrale | | | | | |




Le considerazioni su esposte non risultano affatto sminuite dalla circostanza che lo studio di dettaglio dell'area di stretta pertinenza non abbia evidenziato in affioramento la presenza discontinuità strutturali di dimensioni significative a causa, probabilmente, delle "variazioni morfologiche" a carattere antropico (all'interno del tessuto urbano) e/o alla continua sovrapposizione dei depositi alluvionali (alla quote più basse) che possono aver obliterato od addolcito le eventuali dislocazioni presenti o comunque reso meno chiaro l'assetto sismotettonico.

**7. Indagini eseguite e risultati.**

Al fine di giungere ad una ricostruzione quanto più completa e fedele delle caratteristiche sismo-stratigrafiche dell'area in oggetto si è reso necessario procedere all'esecuzione di indagini geofisiche con riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture in data 14 gennaio 2008 e rese obbligatorie dal 1° luglio 2009; le indagini "indirette" di tipo geofisico eseguite nel sito in oggetto hanno permesso di:

- caratterizzare il suolo di fondazione in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di

taglio nei primi 30 metri di sottosuolo;

- definire le frequenze di risonanza del sottosuolo.

La piena compatibilità sia software che hardware ha permesso la combinazione diretta tra le varie tecniche d'indagine sismica, attiva e passiva, fornendo un risultato finale il cui prodotto d'analisi presenta un ampio spettro di frequenze; in particolare, l'interazione tra ReMi e H/V ha fornito un modello sismostratigrafico assai affidabile caratterizzando il terreno dal punto di vista antisismico.

Altresì, le nuove metodologie geofisiche sfruttando il legame tra frequenze e velocità di fase, consentono il riconoscimento e la misura di livelli sismostratigrafici a diversa velocità variamente sovrapposti (limitazione per le classiche stese di sismica a rifrazione) ossia la possibilità di evidenziare l'alternanza tra orizzonti più o meno veloci e l'andamento decrescente e/o crescente delle velocità delle onde sismiche.

## 7.1 Sismica in array - Metodo d'indagine ReMi e MASW

Il metodo d'indagine utilizzato è una combinazione della ReMi passiva e MASW attiva; nella prova passiva la fonte energetica è rappresentata dal rumore ambientale presente ovunque mentre nella prova attiva le onde sono solitamente generate con masse battenti analogamente a quanto si verifica in una normale stesa sismica a rifrazione.

L'analisi sismica del sottosuolo effettuata tramite la metodologia ReMi (Refraction Microtremor), che utilizza come sorgenti sismiche i microtremori o il rumore di fondo, trae origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University; l'interesse principale di questa metodologia consiste nel poter acquisire informazioni circa la struttura sismostratigrafica del sottosuolo anche in ambienti avversi per i metodi geofisici in generale, quali quelli urbani ed urbanizzati, e consente di raggiungere profondità

ragguardevoli relativamente al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento.

Infatti, l'uso del rumore ambientale consente di determinare velocità di fase nel range di frequenze tra 0 ed alcune decine di Hz fornendo nel contempo informazioni sugli strati più profondi del sottosuolo (50, 100 e più metri dal piano campagna) in funzione della minore o maggiore rigidità sismica.

La metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è anch'essa una recente metodologia d'indagine, introdotta alla fine degli anni novanta dal Kansas Geological Survey (ParK et alii, 1999), usualmente definita attiva in quanto occorre che l'operatore sia munito di una sorgente per energizzare il sistema; l'energizzazione viene effettuata ad hoc a varie distanze e con varie ripetizioni (tecnica *stacking*) per sommare algebricamente i segnali ottenuti rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore ambientale.

L'utilizzo di "masse battenti" consente di ricavare la velocità di fase sperimentale nel range di frequenza assai più elevato di quello relativo alla metodologia di tipo passivo.

Tale metodologia d'indagine si basa sulla registrazione delle onde superficiali di Rayleigh nel dominio del tempo e la successiva analisi nel dominio della frequenza per ricostruire un dettagliato andamento della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo; l'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica, insieme alla semplicità delle operazioni, permettono a tale tecnica di superare pienamente le limitazioni riscontrate inizialmente per quel che riguarda la profondità d'investigazione.

In generale la misura della velocità delle onde S attraverso l'uso delle onde superficiali è possibile in quanto le due velocità Vs e Vr nel medesimo mezzo attraversato hanno scarti di poche unità percentuali (Richart et alii,1970 – Achenbach, 1999).

In entrambi i casi, data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze, l'acquisizione del segnale sismico

avviene attraverso un array digitale multicanale (SoilSpy Rosina, Micromed S.p.A.), costituito dallo stendimento di 12 geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz, capace di registrare il segnale in continuo, senza limiti di tempo.

La digitalizzazione del segnale avviene direttamente sui geofoni in quanto risultano muniti di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo evitando ogni fenomeno di *cross-talk* lungo il cavo e migliorando il rapporto segnale-rumore.

In particolare per il sito in esame le acquisizioni sono state condotte a frequenza di campionamento di 512 Hz per la durata di oltre 12 minuti consecutivi nelle prova passiva e pochi secondi nella prova attiva.

Come energizzazione per lo stendimento attivo è stata utilizzata la caduta di un grave (salto a piedi uniti di un operatore); l'interdistanza geofonica, in funzione della disponibilità di spazio per effettuare lo stendimento "1D", è risultata pari a 2 metri (per una lunghezza complessiva del profilo di 22 mt); lo stendimento è stato effettuato direttamente su terreno naturale.

7.2 Sismica a stazione singola - Metodo d'acquisizione del rumore sismico

Per l'indagine sismica di tipo passivo a stazione singola le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.) dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali rispondenti nella banda 0,1÷512 Hz; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 128 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 20 minuti in corrispondenza di ciascuna stazione di misura ubicata in corrispondenza del futuro corpo di fabbrica e, quindi, direttamente su terreno naturale.

Il profilo stratigrafico che tali tecniche investigative possono restituire si basa sul concetto di contrasto d'impedenza cosicché per strato si intende un'unità distinta da quella

di sopra e sottostante per un contrasto di impedenza ossia per il diverso rapporto tra i prodotti della velocità delle onde sismiche di un mezzo per la densità del mezzo stesso.

Quindi, l'uso di algoritmi di calcolo, finalizzati ad una modellizzazione sintetica delle spettro H/V**,** permette d'associare ad ogni picco spettrale le possibili "variazioni" presenti nel sottosuolo in termini di spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio.

Attraverso l'elaborazione di modi superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile evidenziare i picchi di origine naturale da quelli generati dai modi superiori o da artefatti, per giungere ad una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato.

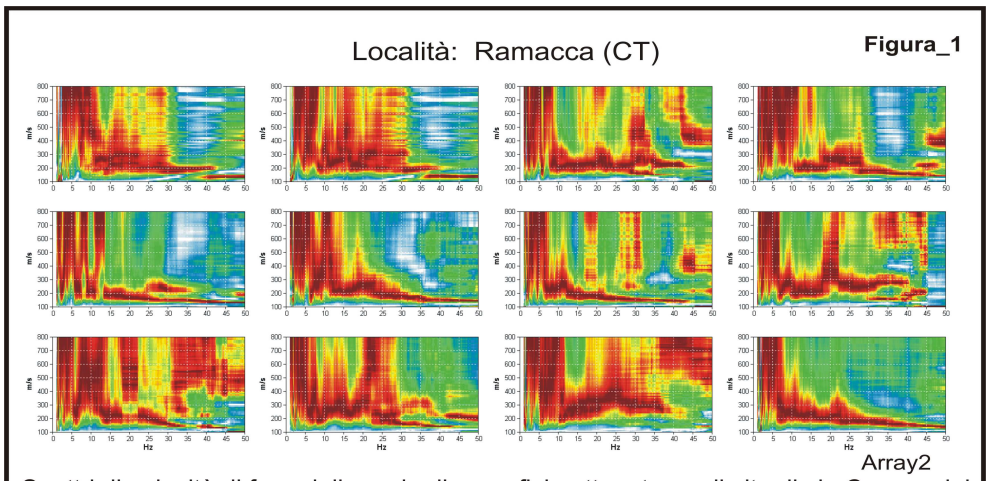
7.3 Procedura di analisi dati per indagini combinate in array e a stazione singola

La serie temporale acquisita dal sistema multicanale SoilSpy è stata elaborata nel dominio frequenza-velocità di fase (*slant-stack* e trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

Il massimo di tale energia è indicato dalle fasce rosse nei grafici a contour ed indica la curva di dispersione che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda; tale curva è estraibile dallo spettro del segnale poiché è approssimativamente posta sui massimi del valore assoluto dello spettro.

Prima di giungere all'interpretazione della curva di dispersione nei vari modi, quando riconoscibili, si analizzano tutte le decine di finestre acquisite in modo attivo e passivo,

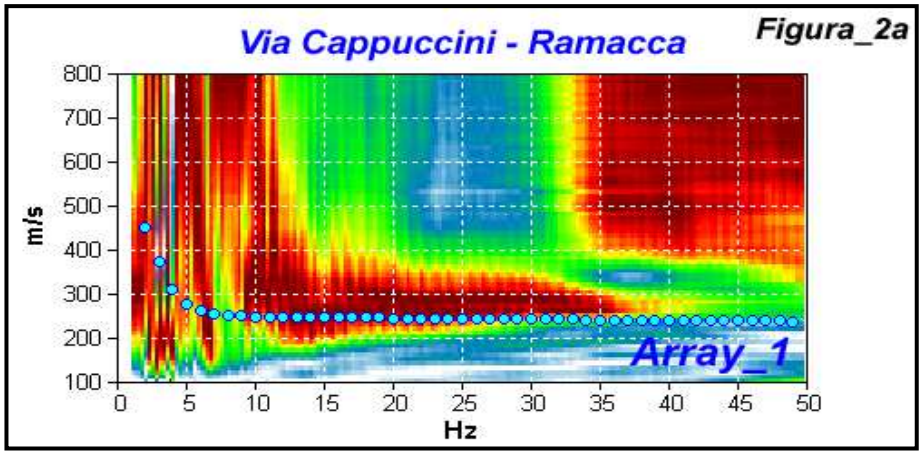
come illustrato nella figura precedente, raffiguranti gli spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh ottenuti per il singolo sito di misura, al fine di minimizzare l'incertezza sulle elaborazioni (Figura n.1).

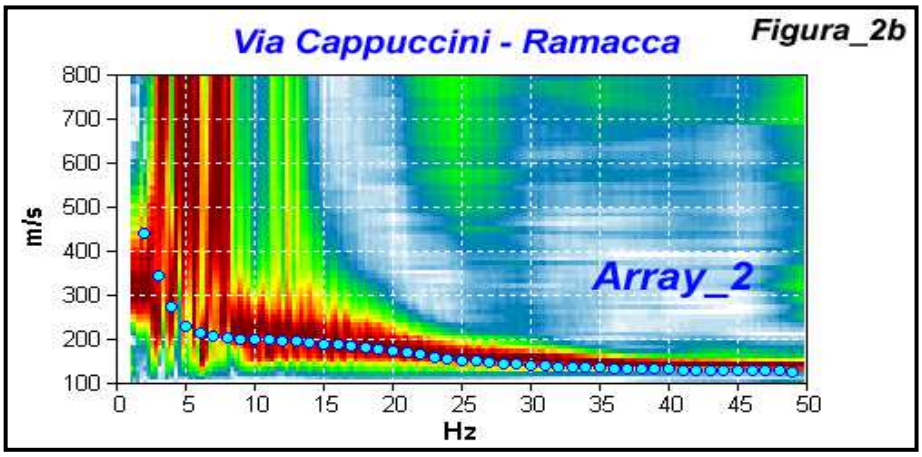


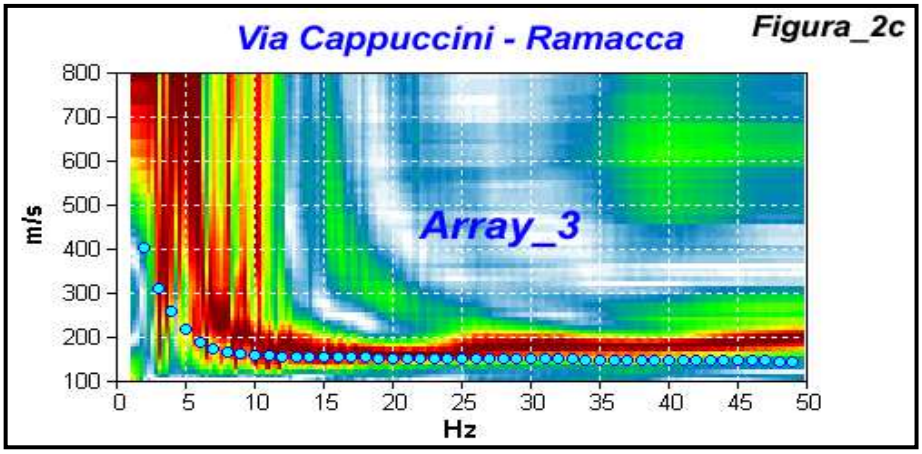
Spettri di velocità di fase delle onde di superficie ottenute per il sito di via Cappuccini

Per il sito investigato si presenta, nell'ordine:

1) il grafico a contour degli spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh con la curva teorica (nel modo fondamentale ed eventualmente superiori) che meglio approssima quella sperimentale (Figura n.2a, 2b e 2c);






2) il confronto tra curve H/V acquisite lungo lo stendimento; eventuali differenze tra queste curve indicherebbero una stratigrafia non piano-parallela e quindi il decadimento degli assunti fondamentali su cui si basano le interpretazioni dei dati da array sismici;

3) la curva H/V teorica ottenuta per lo stesso modello di cui al punto 1), sovrapposta alla curva H/V sperimentale rappresentativa del sito;

4) il profilo di Vs in forma grafica e tabulare;

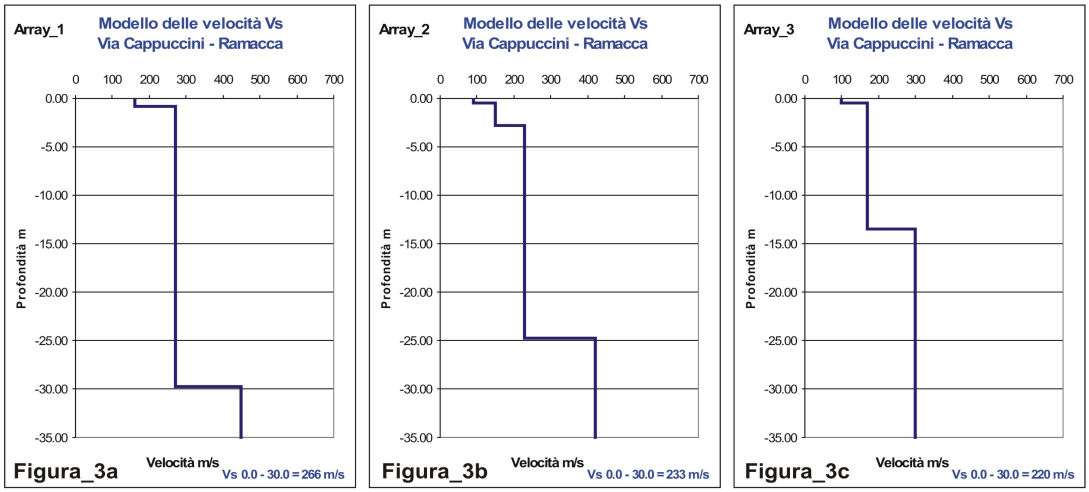
5) il valore del parametro Vs30 calcolato a partire dal piano di calpestio, valore che porta con sé un'incertezza stimata dell'ordine del 10%÷20%.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessaria la classificazione dei terreni compresi tra il piano d'imposta delle future fondazioni ed un substrato rigido di riferimento; tale classificazione può essere basata sulla stima, nei primi 30 m di terreno al di sotto del sedime fondazionale, della velocità media delle onde di taglio calcolata ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008) tramite la seguente formula:

$$Vs30 = 30 / \Sigma(h_i / Vs_i)$$

dove **hi** e **Vsi** sono spessori e velocità dei singoli strati (Figura n.3a, 3b e 3c).

Per il sito esaminato il confronto tra le curve teoriche e sperimentali nonché i profili delle Vs ricavati ha permesso di stimare per le tre "sezioni" osservate, in funzione del valore di Vs30 (rispettivamente pari a circa **266 m/s** per **Array_1**, **233 m/s** per **Array_2** e **220 m/s** per **Array_1**) una **categoria di suolo di fondazione pari a "C"** *(Tabella 3.2.II: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s).*




Attraverso l'osservazione del modello di distribuzione delle velocità di propagazione delle onde Vs si evince che la velocità tende "gradualmente ad aumentare" dal piano campagna sino alla profondità investigata individuando 3÷4 sismostrati caratterizzati rispettivamente dai valori indicati nella sottostante tabella; nel dettaglio, attraverso l'osservazione delle elaborazioni delle diverse finestre temporali dei segnali registrati (in array ed a stazione singola), si può ipotizzare all'interno del sismostrato "centrale" di ciascuno dei tre modelli la presenza di livelli (più o meno spessi) caratterizzati da una "riduzione" della velocità di propagazione delle onde a cui associare una diversa consistenza.

| Array_1 | | | |
|---|---|---|---|
| Profondità base strato [m] | Spessore [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] |
| 0.80 | 0.80 | 352 | 160 |
| 29.80 | 29.00 | 577 | 270 |
| Inf. | Inf. | 937 | 420 |

| Array_2 | | | |
|---|---|---|---|
| Profondità base strato [m] | Spessore [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] |
| 0.50 | 0.50 | 205 | 90 |
| 2.80 | 2.30 | 330 | 150 |
| 24.80 | 22.00 | 492 | 230 |
| Inf. | Inf. | 874 | 420 |

| Array_3 | | | |
|---|---|---|---|
| Profondità base strato [m] | Spessore [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] |
| 0.50 | 0.50 | 227 | 100 |
| 13.50 | 13.00 | 363 | 170 |
| Inf. | Inf. | 624 | 300 |

Dalle registrazioni a stazione singola del rumore sismico ambientale in campo libero sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in SESAME (2005), con i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

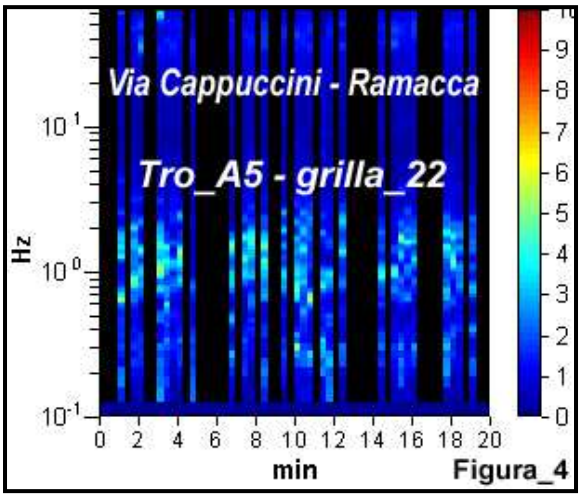


Figura_4

- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V (TA5/grilla 22/Sez.3 – Figura n.4).

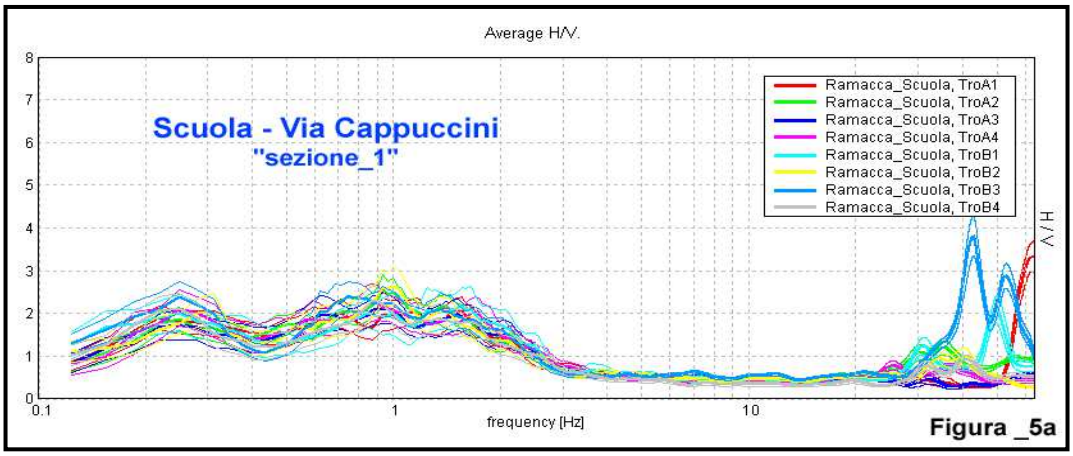


Figura _5a

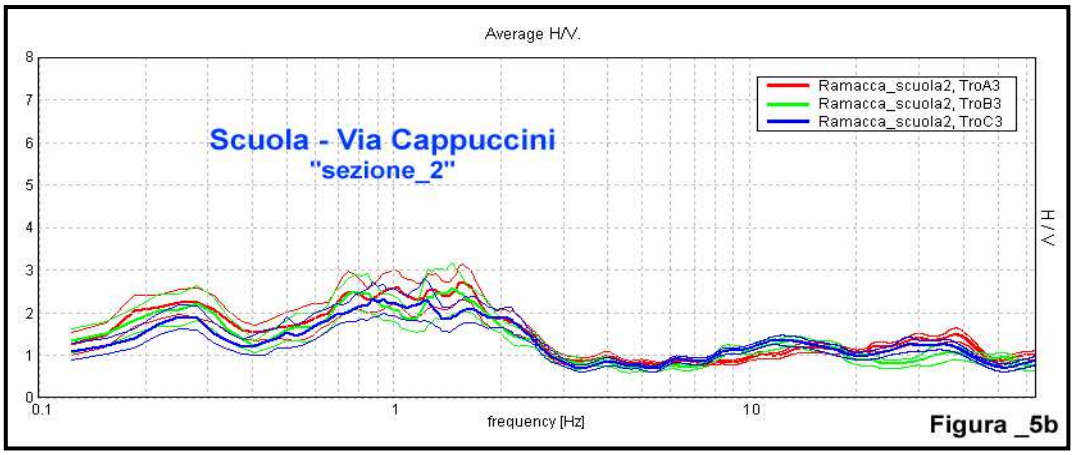
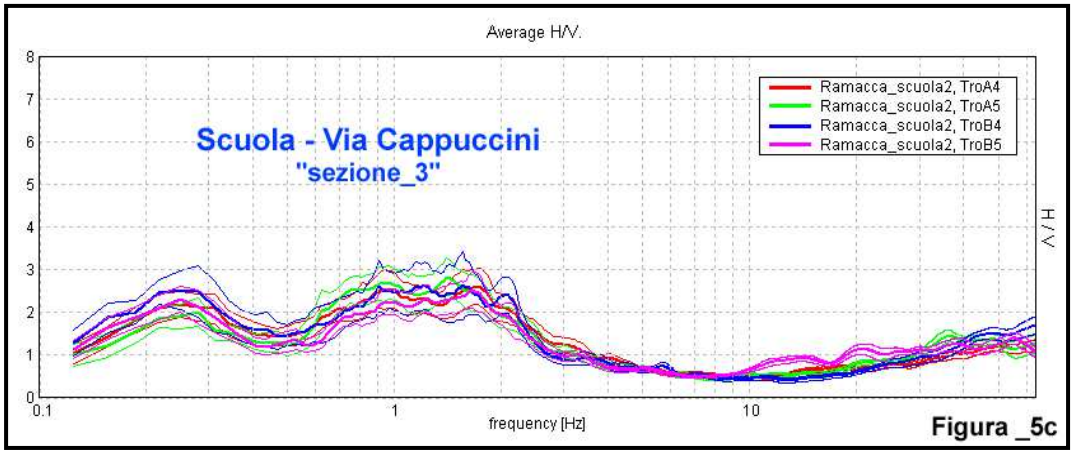
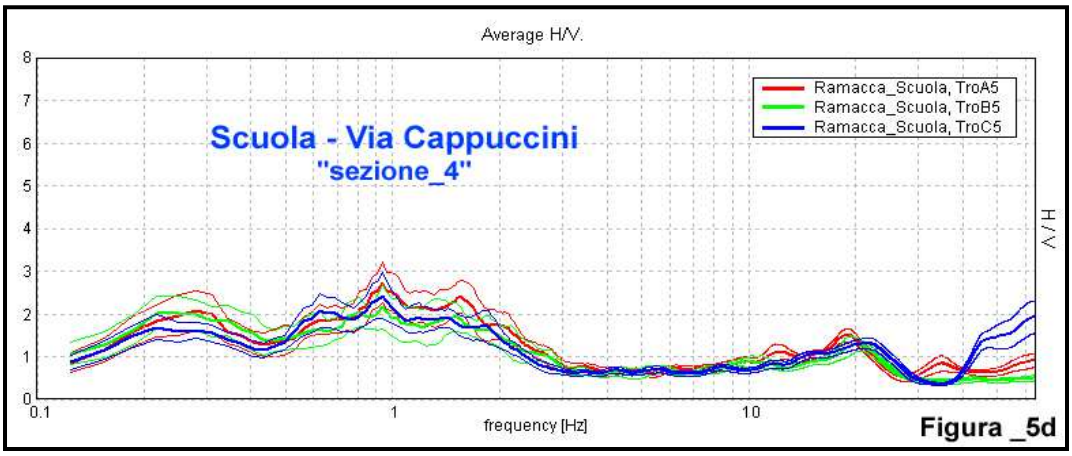


Figura _5b

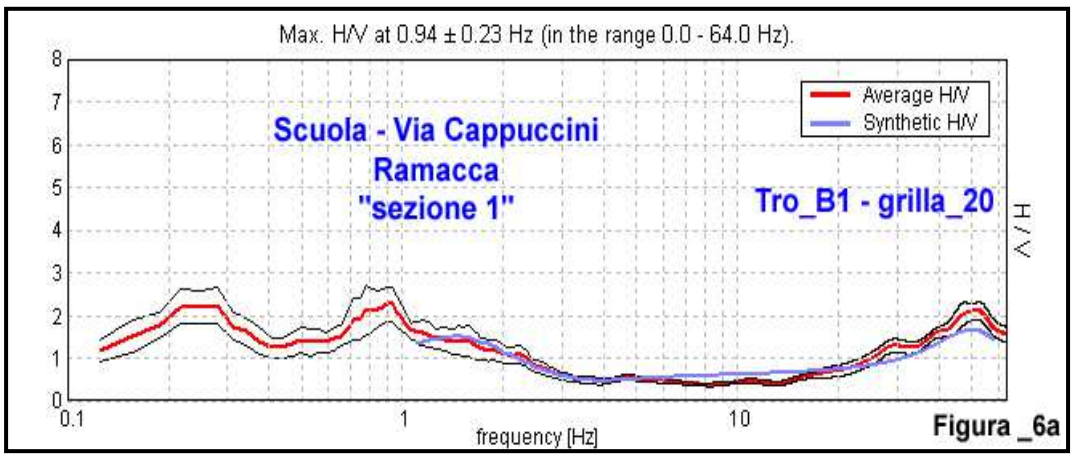
Il confronto tra le curve H/V delle diverse misure a stazione singola eseguite nell'area progettuale mostra una sismostratigrafia 1D contrassegnata da un quadro amplificativo privo di "picchi" significativi sia all'interno che all'esterno del range d'interesse ingegneristico (1÷20 Hz); tutto ciò premesso si conferma quanto suindicato, ossia che la categoria di sottosuolo per il sito in esame è "C" (Figura n.5°, 5b, 5c e 5d).

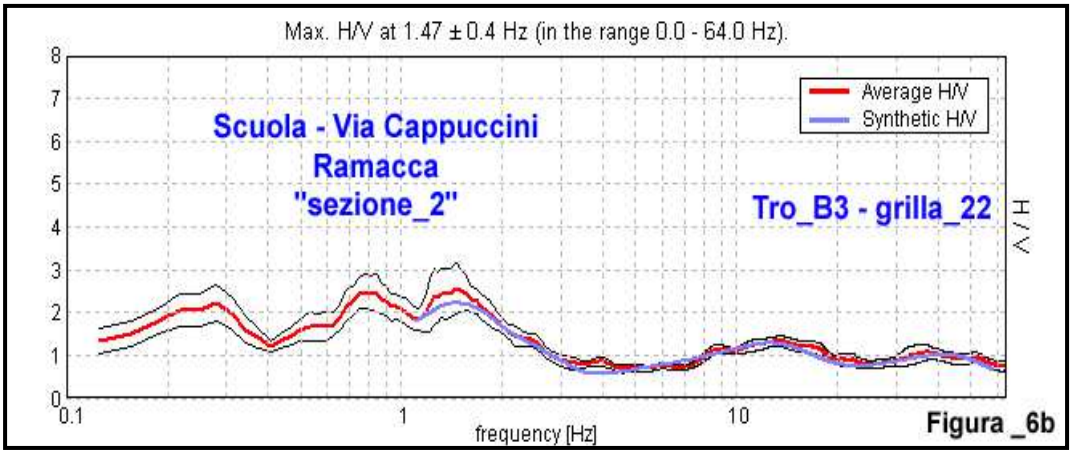


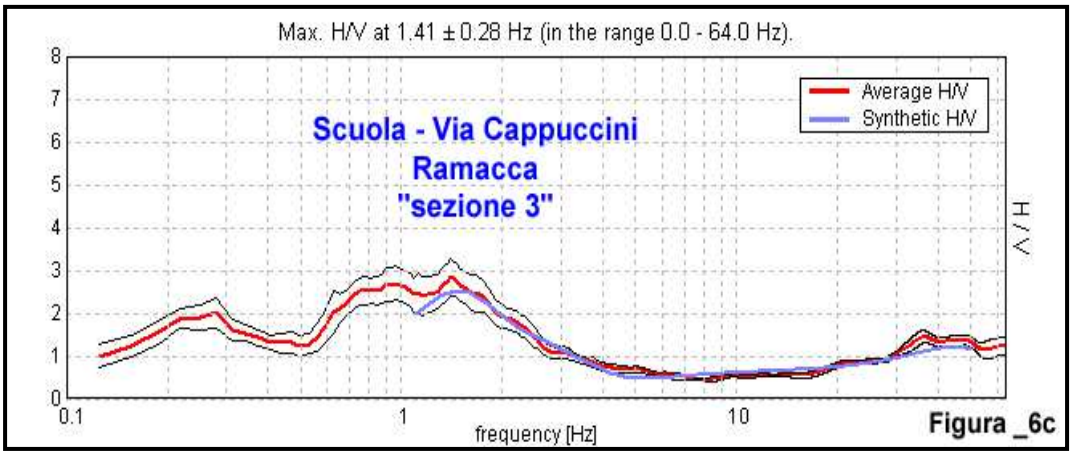




I picchi raffigurati nel grafico "5a" pur presentando un valore del rapporto H/V prossimo a "4" a frequenza superiore a 30 Hz non hanno alcun riferimento sismostratigrafico e sono chiaramente ricollegabili a disturbi di natura antropica.

Si sottolinea, altresì, che il valore di Vs30 suindicati (al pari dei modelli sismostratigrafici 1D raffigurati in precedenza) sono stati ricavati attraverso i reciproci "vincoli" di profondità derivanti dall'uso congiunto delle metodologie di indagine in array ed a stazione singola.






Nei grafici precedenti (Figura n.6a, 6b e 6c) sono indicate le sovrapposizioni delle curve H/V sperimentali (rosse) con quelle teoriche (blu) relative alle posizioni dei "Tro_B1 – grilla_20", "Tro_B3 – grilla_22" e "Tro_A5 – grilla_22" per i modelli di sottosuolo in prossimità degli stendimenti array_1, 2 e 3.

Per il lotto investigato l'esito dei test statistici (linee guida SESAME, 2004/05 – Figura n.7) evidenzia come le misure effettuate soddisfano tutti i criteri di bontà d'esecuzione, analisi ed affidabilità mentre i picchi principali di risonanza per ciascuna delle misure non sempre risultano significativi e chiari per tutti i sei criteri analizzati (Es. 4 criteri verificati per "Tromino_B5 - grilla 24 – sezione 3").

Occorre notare, in generale, che i primi tre criteri della tabella SESAME *"Criteri per una curva H\V affidabile"* dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata; è opportuno che questi tre criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi criteri della Tabella relativi a *"Criteri per un picco H\V chiaro"* indicano se il "picco" è significativo dal punto di vista statistico; il mancato soddisfacimento dei

requisiti non implica una cattiva registrazione del segnale ma indica che non vi sono contrasti d'impedenza tali da dar origine a picchi "chiari".

**Max. H/V at 1.66 ± 1.11 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Scuola - Via Cappuccini - Ramacca**
**Tro_B5 - grilla_24 - sezione_3**

**Criteria for a reliable H/V curve**
[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|---|---|---|---|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 1.66 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 1026.9 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz | Exceeded 0 out of 80 times | OK | |

**Criteria for a clear H/V peak**
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|---|---|---|---|
| Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | 0.563 Hz | OK | |
| Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | 2.563 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.52 > 2 | OK | |
| $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.66951\| < 0.05 | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 1.10888 < 0.16563 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.4295 < 1.78 | OK | |

| | |
|---|---|
| $L_w$ | window length |
| $n_w$ | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| $f$ | current frequency |
| $f_0$ | H/V peak frequency |
| $\sigma_f$ | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| $A_0$ | H/V peak amplitude at frequency $f_0$ |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| $f^-$ | frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| $f^+$ | frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{logH/V}(f)$ | standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

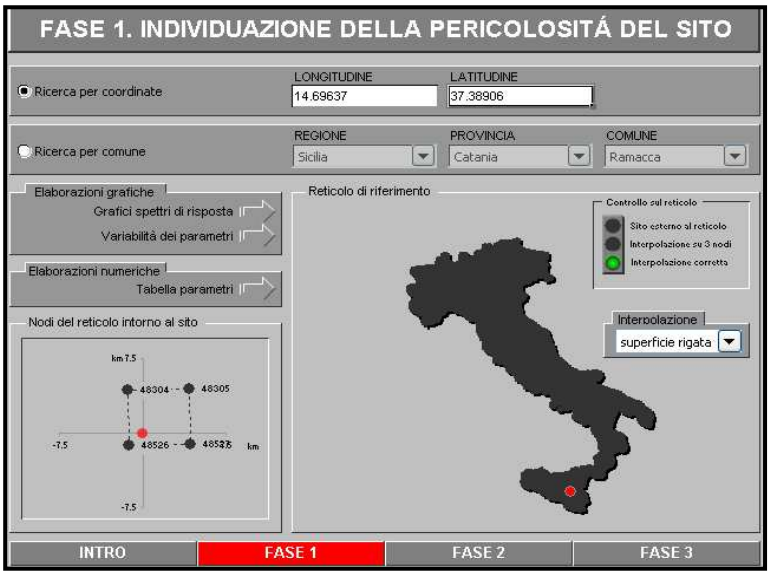
Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

| Freq. range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | 0.25 $f_0$ | 0.2 $f_0$ | 0.15 $f_0$ | 0.10 $f_0$ | 0.05 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

**Tabella SESAME (2004/05): Test d'affidabilità e chiarezza della misura a stazione singola H/V**

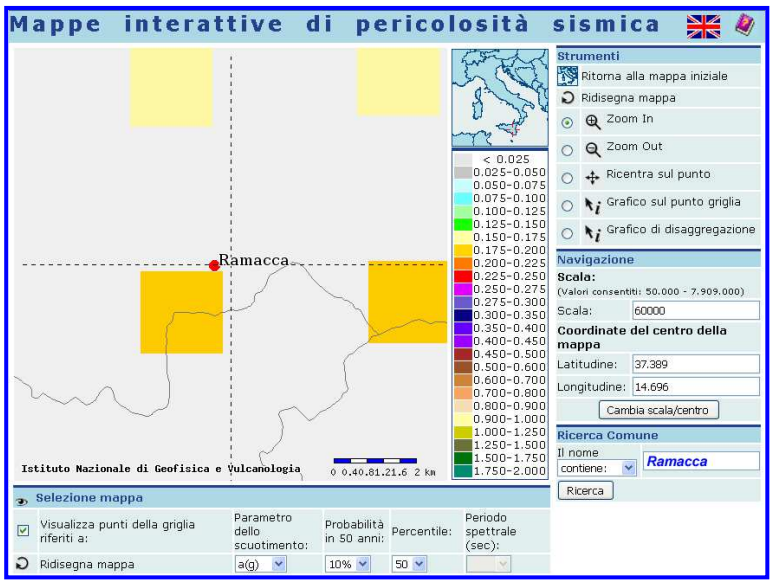
## 8. Pericolosità sismica di base e locale.

Con riferimento alle NTC 2008 è stata operata la valutazione della risposta sismica locale utilizzando il software sperimentale "Spettri - NTC ver. 1.0.3" elaborato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti delle azioni sismiche di progetto



per ciascun sito del territorio nazionale (WWW.clsp.it).

Infatti, un'importante novità introdotta dalla nuova normativa tecnica consiste nel definire l'azione sismica in un determinato punto del territorio italiano non più in base alla suddivisione amministrativa ed alla classificazione in zone (a ciascun zona andava associato uno specifico spettro di progetto standard) bensì determinandola per ogni località esaminata, ricadente all'interno del reticolo di nodi in cui è stata suddivisa l'Italia (distanza nodale circa 5 km).



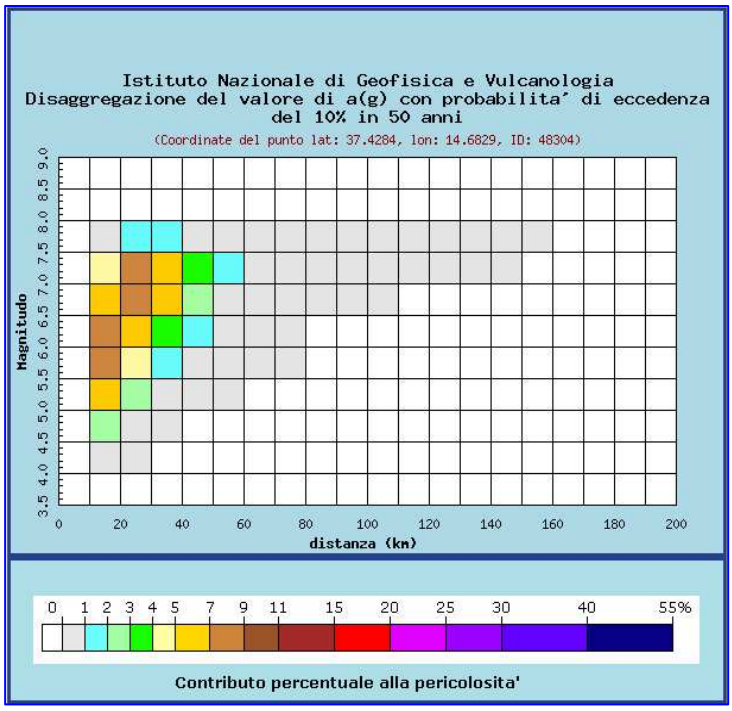

Per ciascun nodo del Progetto_S1 sono state, dunque, calcolate le curve di pericolosità sismica in termini di picco di accelerazione al suolo e di ordinate spettrali relative a dieci diversi periodi (0,15 ÷ 2,0 sec) su roccia di tipo A.

Tutto ciò si riflette nella valutazione dell'azione sismica sotto forma di spettri elastici in accelerazione dipendenti dal sito e generalmente assai prossimi agli spettri a pericolosità uniforme; lo spettro di risposta rappresenta la risposta massima alle sollecitazioni sismiche di una famiglia di oscillatori semplici dotati di uno specifico smorzamento e nella progettazione si utilizzano solitamente spettri di forma lisciata e regolarizzata (spettri di progetto o di riferimento) piuttosto che articolati spettri derivanti direttamente da un processamento di una storia temporale.

Le storie temporali vengono generalmente scelte in modo da riprodurre uno spettro di risposta di riferimento o di progetto (tipo quello di normativa) che tenga conto di alcuni parametri quali la distanza epicentrale, la magnitudo, le condizioni locali nonché il meccanismo di sorgente in modo tale da risultare congruenti con il terremoto di riferimento stimato attraverso l'analisi della pericolosità sismica per il sito d'interesse (in termini di accelerazione orizzontale massima -PGA- attesa in riferimento ad un suolo rigido di tipo A con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) e la definizione della "disaggregazione"

ad essa associata.

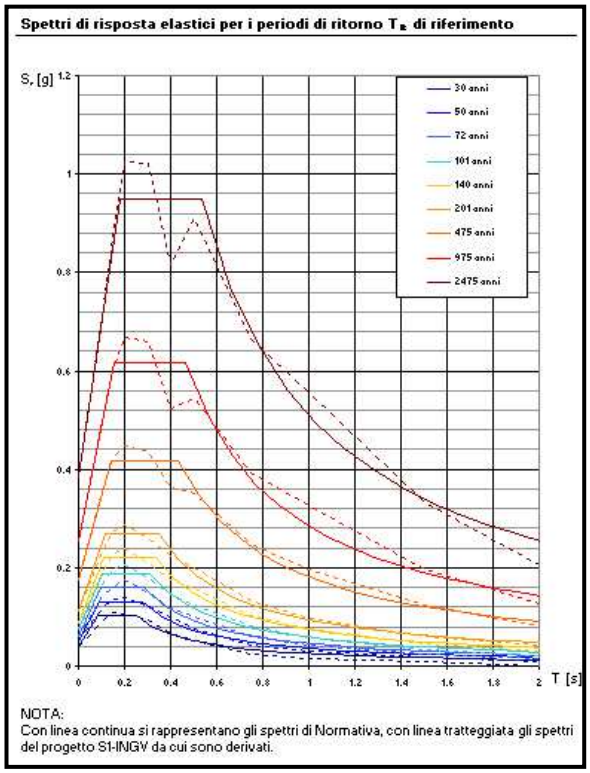
Attraverso la procedura della disaggregazione si è in grado di valutare il contributo percentuale dei parametri sismici che maggiormente condizionano la pericolosità del sito esaminato fornendo tutte le coppie di valori di magnitudo-distanza (M-R); questo tipo di analisi risulta, quindi, utile nell'individuazione delle diverse sorgenti sismogenetiche a distanza "R" dal sito capaci di generare terremoti di magnitudo "M"; in altri termini, il processo di disaggregazione fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità sismica del sito.




Per il sito esaminato, ricadente all'interno della griglia di calcolo evidenziata dai quattro nodi più vicini del reticolo nazionale, si ricava che il "terremoto di scenario" ossia quello che maggiormente contribuisce alla definizione della pericolosità è caratterizzato dalla coppia:

**6.21 < M < 6.48 16.3 km < R < 27 km**.

L'attuale crescente disponibilità di banche dati accelerometriche di terremoti reali permette di utilizzare, sempre più, accelerogrammi derivati da registrazioni reali e non più artificiali verificando la compatibilità con le condizioni sismotettoniche individuate.




Va sottolineato che gli spettri di risposta elastici di normativa, rappresentativi delle componenti delle azioni sismiche di progetto per ciascun sito del territorio nazionale, così come

ricavati, mediante l'utilizzo del suindicato software sperimentale elaborato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che fornisce gli spettri di risposta, altro non sono che spettri di forma regolarizzata derivati da quelli a pericolosità uniforme del progetto S1-INGV dopo aver operato una media ed un processo di "lisciamento".

Gli spettri sono costruiti in modo da rappresentare la domanda di resistenza alle alte frequenze dovuta a terremoti piccoli ma frequenti e la domanda alle basse frequenze dovuta a terremoti forti ma rari.

Lo spettro di progetto, dunque, va inteso come inviluppo degli spettri di risposta a pericolosità uniforme dei terremoti considerati attraverso i diversi accelerogrammi selezionati; lo spettro di riferimento non va riferito ad un singolo evento sismico bensì all'insieme degli eventi che possono verificarsi in una determinata area sismogenetica.

Per quanto premesso la determinazione degli spettri di risposta relativi ad uno specifico Stato Limite è articolata in tre fasi, ciascuna delle quali prevede la definizione dei valori di alcuni parametri (categoria di suolo, categoria topografica, vita nominale e coefficiente d'uso della costruzione):

- individuazione della pericolosità del sito (in funzione del Progetto S1_INGV);
- scelta della strategia di progettazione;
- determinazione dell'azione di progetto.

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 | 0.040 | 2.529 | 0.252 |
| 50 | 0.052 | 2.512 | 0.279 |
| 72 | 0.061 | 2.602 | 0.285 |
| 101 | 0.075 | 2.521 | 0.310 |
| 140 | 0.088 | 2.509 | 0.335 |
| 201 | 0.111 | 2.421 | 0.351 |
| 475 | 0.177 | 2.370 | 0.432 |
| 975 | 0.255 | 2.420 | 0.462 |
| 2475 | 0.385 | 2.462 | 0.537 |

Gli spettri sono dati in funzione di tre parametri: ag (accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido), Fo (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e Tc* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro

in accelerazione orizzontale).

Le NTC_2008 adottano un approccio alla progettazione di tipo prestazionale in cui gli obiettivi vengono definiti richiedendo il rispetto di più stati limite, sia d'esercizio che ultimi; per ciascuno degli stati limite considerati l'analisi sismica risulta connessa al periodo di ritorno "Tr" del sisma a cui rapportare la capacità della costruzione (in quel determinato stato limite).

| Valori dei parametri $a_g$, $F_o$, $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno | | | | |
|---|---|---|---|---|
| STATO LIMITE | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_o$ [-] | $T_C^*$ [s] |
| SLO | 120 | 0.082 | 2.514 | 0.324 |
| SLD | 201 | 0.111 | 2.421 | 0.351 |
| SLV | 1898 | 0.343 | 2.450 | 0.515 |
| SLC | 2475 | 0.385 | 2.462 | 0.537 |

Per il sito in esame, ad esempio, considerando suolo rigido, un periodo di ritorno TR = 475 anni (Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV) ed un coefficiente d'uso Cu = 2.0 (Classe IV) si ottengono, considerando la categoria del sito ("C"), i sottostanti valori di "Amax" per i diversi stati limite e tempi di ritorno:

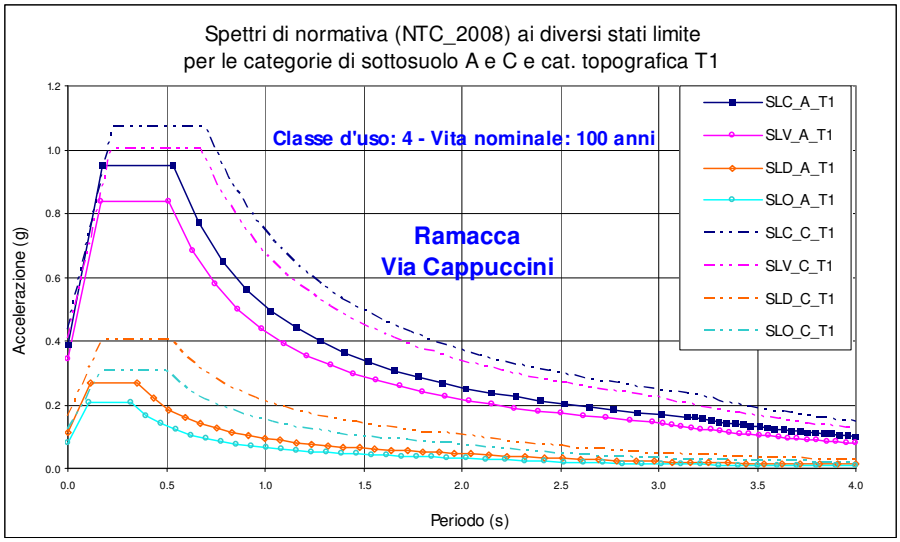
| STATO LIMITE | $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | Coeff. stratigrafico $S_S$ | Coeff. topografico $S_T$ | $A_{max}$ (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| SLO | *120* | *0.082* | *1.500* | *1.00* | *0.122* |
| SLD | *201* | *0.111* | *1.500* | *1.00* | *0.167* |
| **SLV** | ***1898*** | ***0.343*** | ***1.196*** | ***1.00*** | ***0.410*** |
| SLC | *2475* | *0.385* | *1.131* | *1.00* | *0.436* |

Nella figura seguente si riporta il confronto tra gli spettri di accelerazione attesi in superficie al sito in funzione dei diversi moti di input sperimentati (curve a tratto continuo) e gli spettri di risposta elastici (spettri di progetto) che si otterrebbero dall'applicazione delle NTC (2008) per i diversi stati limite di esercizio e ultimi:

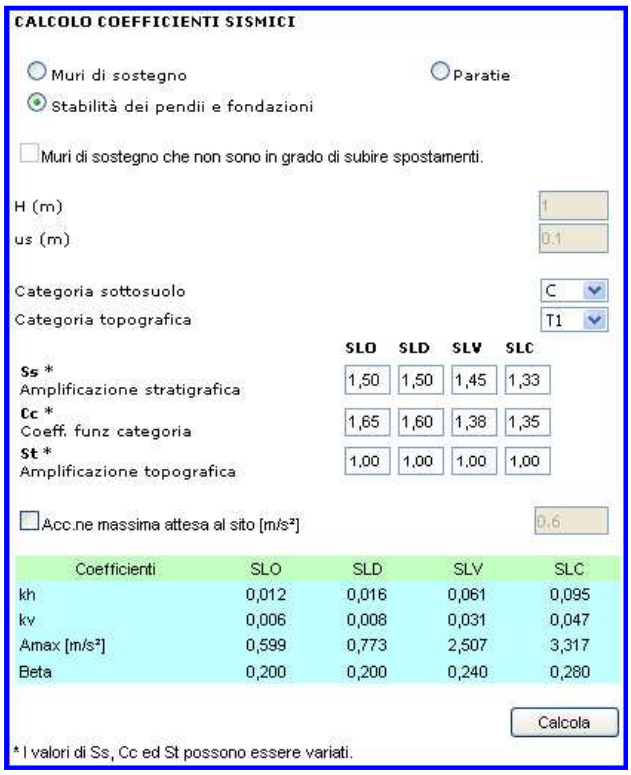
SLO = stato limite di operatività,
SLD = stato limite di danno,
SLV = stato limite di salvaguardia della vita,
SLC = stato limite di prevenzione del collasso.

Nella costruzione degli spettri di normativa si è tenuto conto di una vita nominale della costruzione pari a 100 anni :opere strategiche con funzioni pubbliche con riferimento alla

gestione della protezione civile in caso di calamità.




Utilizzando, altresì, il software "Geostru-PS" (ultimo rilascio gennaio 2017), prodotto dall'omonima azienda che consente di individuare la pericolosità sismica secondo le NTC di tutte le località Italiane direttamente su mappa geografica, è stato possibile ricavare tutti i parametri sismici (ag , F0 e TC*) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo o della costruzione in esame, i coefficienti sismici (kh e kv) orizzontali e verticali per: Muri di sostegno flessibili e rigidi, Paratie, Stabilità dei pendii e Fondazioni;




(http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx).

## 9. Considerazioni geotecniche

Nel definire la caratteristiche geotecniche dei litotipi ivi presenti occorre ricordare che nel medesimo lotto in occasione della stesura, da parte dello scrivente, della relazione geologico-tecnica relativa al *"Progetto per il consolidamento della scuola elementare sita in via Cappuccini (lato orientale)"* sono stati eseguiti alcuni sondaggi geognostici

(mediamente profondi 15÷16 mt - profondità massima 30 metri dal p.c. in corrispondenza del sondaggio n.5) con lo scopo di caratterizzare i terreni costituenti il sedime fondazionale attraverso prove penetrometriche ed il prelievo di diversi campioni, rappresentativi dei vari livelli incontrati, che sono stati sottoposti ad analisi granulometriche, a prove di taglio diretto (in condizioni drenate), edometriche e triassiali (in condizioni UU); i risultati delle suddette analisi di laboratorio hanno consentito la determinazione delle caratteristiche fisiche, granulometriche, di resistenza e di compressibilità dei campioni esaminati.

Attraverso la campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguite precedentemente e le prospezioni geofisiche "recenti" (effettuate nel lotto investigato così come in zone limitrofe), unitamente ai sopralluoghi effettuati nel sito d'interesse e nelle immediate vicinanze si è giunti alla formulazione di un modello litotecnico, in generale, alquanto semplice per l'area in esame.

In tale modello, la successione litostratigrafica è costituita da una coltre di terreni detritici di natura pluvio-colluviale e brecce calcaree che ricoprono sedimenti prevalentemente argillosi di colore giallo-bruno nei livelli superficiali e grigio-azzurro in quelli più profondi.

Il substrato argilloso, sia nella componente superficiale di colore giallo-bruno e soprattutto in quella profonda grigio-azzurra, presenta caratteristiche geotecniche idonee a sopportare i carichi trasmessi dalle strutture esistenti attraverso opere fondazionali di tipo indiretto.

Occorre, altresì, sottolineare come nel corso dell'esecuzione delle precedenti perforazioni geognostiche, si è potuto accertare la presenza della falda idrica a poca profondità dal p.c., le cui dinamiche di movimento sono state illustrate precedentemente, contribuisce al decremento delle caratteristiche di resistenza al taglio, già non eccelse, della coltre detritica superficiale evidenziando un'oggettiva inadeguatezza delle stesse a costituire substrato di fondazione.

In riferimento alle Nuove Norme Tecniche ed in conformità ai principi della progettazione prestazionale le verifiche ai diversi Stati limite (SLU e SLE) dovranno essere condotte mediante l'utilizzo dei coefficienti parziali (vedi normativa al Capitolo 6, Tabella 6.2.II).

**Tabella 6.2.II** – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

| PARAMETRO | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|---|---|---|---|---|
| *Tangente dell'angolo di resistenza al taglio* | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| *Coesione efficace* | $c'_k$ | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| *Resistenza non drenata* | $c_{uk}$ | $\gamma_{cu}$ | 1,0 | 1,4 |
| *Peso dell'unità di volume* | $\gamma$ | $\gamma_\gamma$ | 1,0 | 1,0 |

Infatti, l'attuale normativa prescrive che per quanto riguarda la sicurezza di opere e sistemi geotecnici i valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici che determinano la resistenza dei terreni sono da intendersi una stima ragionata e cautelativa dei valori dei diversi parametri considerati.

Ciò premesso i parametri geotecnici, relativi all'orizzonte investigato, da utilizzare nei calcoli geomeccanici sono i seguenti:

| **Litotipo** | **Angolo d'attrito interno (φ)** | **Peso di volume (γ)** | **Coesione (c)** |
|---|---|---|---|
| Terreni coesivi condizioni drenate | 18° ÷ 20° | 1,8 ÷ 2,0 t/mc | 40÷50 KPa |
| Terreni coesivi Cond. non drenate | 0° | 1,8 ÷ 2,0 t/mc | 80÷100 KPa |

Ai valori caratteristici "Rk" vanno, infine, applicati i coefficienti parziali succitati (secondo le due combinazioni denominate M1 e M2 con riferimento allo stato limite considerato) per giungere alla definizione dei parametri di progetto "Rd" applicando la seguente espressione:

$$Rd = Rk / \gamma_M$$

dove "$\gamma_M$" rappresenta il coefficiente parziale per i parametri geotecnici del terreno.

Tutto ciò premesso si consiglia quanto segue:

- procedere alla realizzazione di pali di fondazione opportunamente collegati alle fondazioni superficiali esistenti in modo da trasmettere i carichi ai livelli argillosi profondi contraddistinti da parametri geotecnici affidabili;
- questi pali dovranno, quindi, avere una profondità tale da essere sufficientemente ammorsati all'interno dei livelli argillosi di colore grigio-azzurro;

- operare la manutenzione delle opere di raccolta delle acque reflue (bianche e nere) e/o realizzare ulteriori interventi di drenaggio a monte dell'edificio scolastico in modo da allontanare le acque di falda dai livelli superficiali e procedere in tal modo ad una sorta di bonifica dei terreni superficiali fortemente deteriorati sia per caratteristiche intrinseche che per fenomeni di imbibizione d'acqua.

Sulla base delle risultanze di ciò che emergerà durante l'esecuzione dei lavori, nell'ipotesi si dovessero verificare condizioni o situazioni impreviste, sarà opportuno eseguire ulteriori sopralluoghi da parte dello scrivente, sulla base dei quali potranno essere formulate raccomandazioni più attente e mirate.

*Il Geologo*
*Dott. Francesco Fazio*