



COMUNE DI MONTEVAGO (AG)

*VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA E DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI DELLA SCUOLA
DELL'INFANZIA "BIAGIO MARINO" SITA IN VIA MELI N.
2 - MONTEVAGO (AG)*

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

27 Dicembre 2019

Dott. Geol. ~~Gualtiero~~ Bellomo



Azienda Certificata con SGQ RINA
ISO 9001:2008
Numero: 16583/07/S

COMUNE DI MONTEVAGO (AG)

*VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA E
DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI
DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA "BIAGIO MARINO"
SITA IN VIA MELI N. 2 - MONTEVAGO (AG)*

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

1. PREMESSE

Il presente studio geologico e sismico, finalizzato alle verifiche di vulnerabilità sismica della scuola indicata in epigrafe, è stato eseguito in ossequio a quanto descritto nelle normative attualmente vigenti in materia (D.M.17/01/2018).

In tal senso ha previsto l'esecuzione di tutti i rilievi, le indagini e le prove tecniche necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dell'area;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- verificare l'eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di origine sismica quali fenomeni di amplificazione, cedimenti, liquefazione, ect.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

a) Studio geologico dell'area interessata comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l'indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

b) Studio geomorfologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

c) Studio idrogeologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla valutazione delle eventuali interferenze del progetto con la falda freatica ed all'individuazione delle aree eventualmente soggette ad esondazione.

d) Studio delle pericolosità geologiche dell'area interessata comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da "pericolosità geologiche" quali cavità, frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, liquefazione dei terreni, rappresentando, cioè, un'attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti e di quelli eseguiti per il presente studio;

e) Studio della pericolosità sismica locale comprendente l'esecuzione di specifiche indagini sismiche atte ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

In una prima fase abbiamo, quindi, organizzato il nostro lavoro eseguendo numerosi sopralluoghi al fine di studiare una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto, per inquadrare la locale situazione geostrutturale, in una più ampia visione geologica.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle

condizioni di stabilità dell'area e sullo stato degli agenti morfogenetici attivi.

I risultati di questo studio preliminare sono stati perfezionati e controllati mediante attenta analisi aereofotogeologica eseguita su fotogrammi stereoscopici in scala 1:10.000 circa, in considerazione che il suddetto metodo rende più facile l'individuazione di tutti i possibili elementi utili per la completa ricostruzione stratigrafica e geomorfologica soprattutto all'interno del centro urbano.

Per la ricostruzione della serie stratigrafica locale e del modello geologico ed idrogeologico e per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di sedime sono stati utilizzati i dati acquisiti nell'ambito di altri lavori eseguiti dal sottoscritto sugli stessi tipi di terreni ed i risultati riportati nella relazione geologica-tecnica, geofisica ed idrogeologica, redatta dal Dott. Geol. Leonardo Mauceri, a supporto per la partecipazione all'Avviso Pubblico per l'aggiornamento annuale del Piano del fabbisogno regionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2015-2017, e la conferma dell'attualità del Piano Annuale 2016, di cui all'art 10 del D.L. 12 settembre 2013, n. 104, convertito in legge 8 novembre 2013 n. 128, recante misure urgenti in materia di Istruzione, Università e Ricerca "Progetto Esecutivo per la Ristrutturazione, Efficientamento Energetico, Miglioramento Sismico, Manutenzione Straordinaria, Abbattimento delle Barriere Architettoniche della Scuola Primaria Eleonora Gravina con annesso Refettorio Scolastico Sezione Associata Montevago (AG) facente parte dell'Istituto Comprensivo G. Tomasi di Lampedusa di Santa Margherita di Belice (AG), Codice Meccanografico AGIC80800E, fornita dal Committente. Il Committente, invece, non è stato in condizioni di fornirci la relazione geologica allegata al progetto di realizzazione del complesso scolastico.

Ad integrazione dei dati in nostro possesso è stata eseguita, nell'area direttamente interessata dal progetto, una campagna di indagini geofisiche realizzando n. 1 indagine di sismica passiva a stazione sismica denominata "T1".

L'ubicazione della indagine sopra elencata è visibile nella "Carta con l'ubicazione delle indagini eseguite" allegata.

Con i dati in nostro possesso abbiamo redatto la presente relazione geologico-tecnica corredata da:

- ❖ Corografia in scala 1/10.000;
- ❖ Carta geologica in scala 1/5.000;
- ❖ Carta geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/5.000;
- ❖ Carta con l'ubicazione delle indagini eseguite;
- ❖ stralcio schematico della "Carta dei dissesti N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005;
- ❖ stralcio schematico della "Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005 – Anno 2005;
- ❖ stralcio schematico della "Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005;
- ❖ stralcio schematico della "Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005;
- ❖ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva (tromografia) con la relativa documentazione fotografica.

COROGRAFIA



○ Area in studio

Scala 1/10.000

2. *CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE*

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

Entrando nel particolare, la situazione litostratigrafica locale è caratterizzata, dall'alto verso il basso, dall'affioramento di:

- ⇒ **FORMAZIONE AGRIGENTO (*Santerniano*)**: in generale si tratta di biocalcareni e biocalciruditi contenenti ricche associazioni a molluschi, passanti lateralmente e verticalmente a peliti brune con tenori variabili di sabbie quarzoso carbonatiche.
- ⇒ **FORMAZIONE MARNOSO ARENACEA DEL BELICE (*Piacunziano-Gelasiano*)**: si tratta di argille e argille marnose grigio-azzurre con foraminiferi planctonici con intercalazioni di arenarie ibride torbiditiche nella porzione inferiore e, di intercalazioni di biocalcareni e biocalciruditi a molluschi nella porzione medio-superiore.

In particolare, nell'area direttamente interessata dallo studio, le indagini forniteci dal Committente e le indagini sismiche eseguite ci permettono di confermare la presenza del complesso calcarenitico-sabbioso afferente alla Fm. Agrigento costituita da calcareniti più o meno sabbiose con intercalati, a più livelli, argille e marne. La roccia si presenta di colore giallastro stratificata e con giacitura suborizzontale.

Detti terreni sono ricoperti da uno strato di spessore variabile tra 1.10 m e 1.60 m di terreno di riporto e terreno vegetale.

I terreni sopra indicati poggiano sulla Fm. Marnoso Arenacea del Belice, che non affiora nell'area in studio ma costituisce il substrato argilloso ed impermeabile.

3. *CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDRO- GEOLOGICHE*

Da un punto di vista geomorfologico l'area è costituita da un paesaggio molto regolare contraddistinto da terrazzi marini formati durante il Pleistocene e caratterizzati dall'affioramento del "Complesso Calcarenitico-sabbioso" afferente alla Fm. Agrigento.

Le condizioni di stabilità dell'area sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio.

Non si ritiene, quindi, di eseguire verifiche di stabilità poiché essendo l'area pianeggiante e totalmente esente da qualunque fenomenologia che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge.

Quanto detto prima è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatto dall'A.R.T.A. (Servizio 4 "Assetto del Territorio e Difesa del suolo") negli anni 2005 e 2006 che esclude tale area da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio come si evince dalle carte allegate ed in particolare da:

- ❖ stralcio schematico della "Carta dei dissesti N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005;
- ❖ stralcio schematico della "Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005 – Anno 2005.

Da punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dalla totale mancanza di una rete idrografica superficiale che è da mettere in

relazione allo sviluppo urbanistico della città ed alla notevole permeabilità dei terreni calcarenitici che favorisce l'infiltrazione delle acque piovane sottraendole al deflusso superficiale.

Inoltre, come si evince dallo stralcio schematico della "Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005 e dallo stralcio schematico della "Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione N° 29" – Bacino Idrografico del F. Belice (057) – Anno 2005, l'area interessata dal progetto non è interessata da tale rischio.

In relazione alle caratteristiche di permeabilità dei tipi litologici presenti in corrispondenza dell'area interessata dal progetto è stata individuata n. 2 classi idrogeologiche di seguito descritte:

- a) **Rocce a permeabilità alta per porosità:** si tratta di rocce i cui meati sono intercomunicanti e, generalmente, abbastanza ampi in dipendenza della granulometria dei clasti e della cementazione. A questa classe appartengono il terreno di riporto e la formazione calcarenitico-sabbiosa presenti nell'area interessata dallo studio.
- b) **Rocce impermeabili:** questa categoria comprende quelle rocce che presentano fessure o pori di piccole dimensioni. In queste rocce l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate pratica-mente impermeabili. Comprendiamo in questa categoria i litotipi della Fm. Marnosa della Valle del Belice, che costituiscono il substrato impermeabile dell'area.

Dai dati acquisiti dalle misure eseguite all'interno del pozzo indicato nella carta geologica, che si trova ad una quota pari a 389,8 m.l. m., si evince che le acque infiltratisi vanno a ricaricare la falda freatica il cui

livello piezometrico si trova ad una quota pari a circa 383,8 m s.l.m. ovvero a circa 6.0 m dal piano calpestio.

Si mette in evidenza che durante i periodi di intense piogge, detto livello, può raggiungere quota pari a 384,8 m s.l.m.

CARTA GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA



 Rocce permeabili per porosità - Stabili

 Area in studio

Scala 1/5.000

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(ART. 1 DEL 1986 CONTRATTO CON VERDE E CON ALTRI E SS.M.M.)

Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DEI DISSESTI N° 29

COMUNI DI
Mantova - Portofino - Salaparuta - Santa Margherita Belice

Scala 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

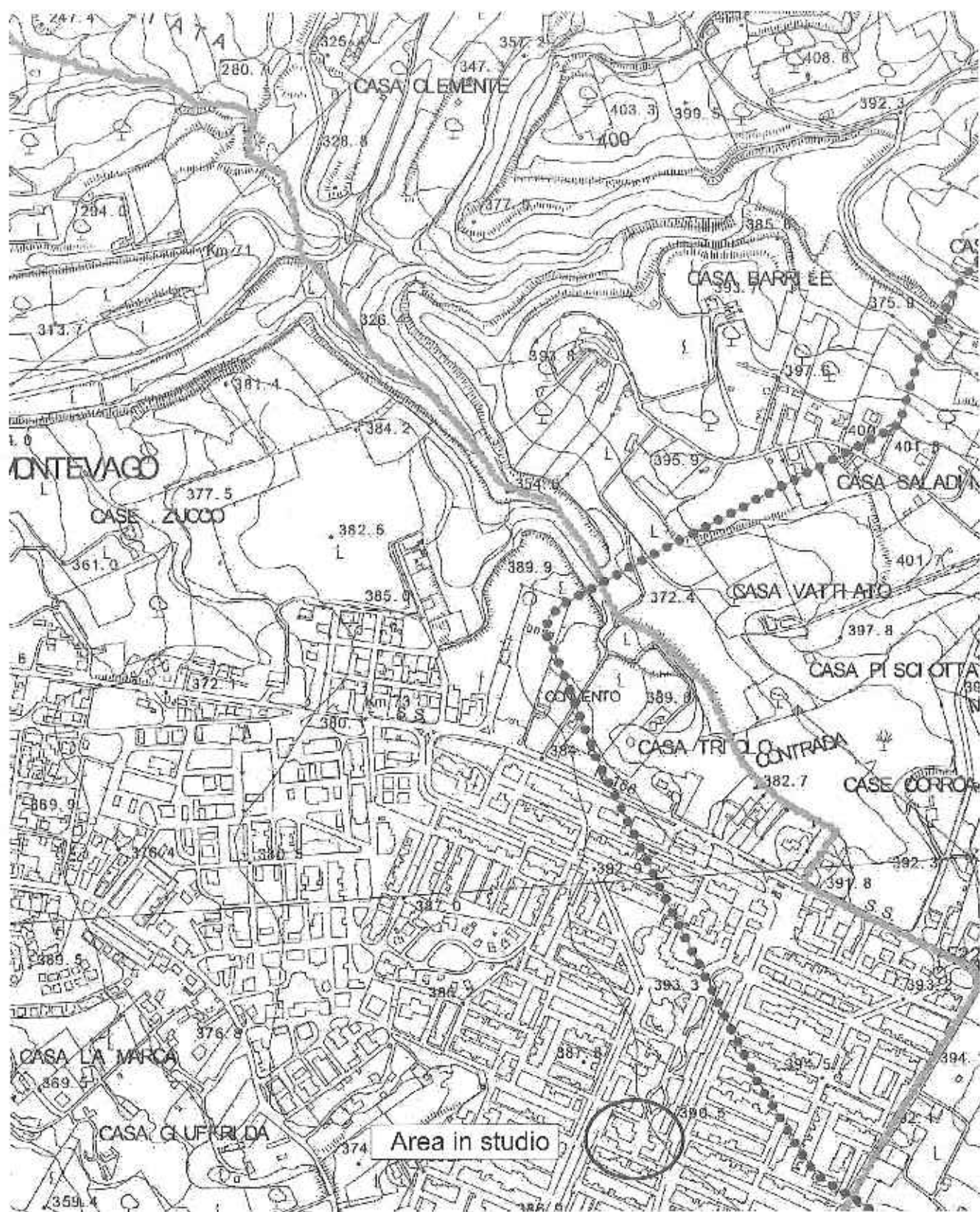
FENOMENI FRANOSI

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scontrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamenti lenti
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

- Limite bacino idrografico del F. Belice
- Limiti comunali



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio A "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(PAI P.I.L. TRAMUTATO CON MODIFICHE DELLA LEGGE 22/99)

Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 29

COMUNI DI

Montevago - Pantano - Salsomaggiore - Santa Margherita Belice

Scala 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

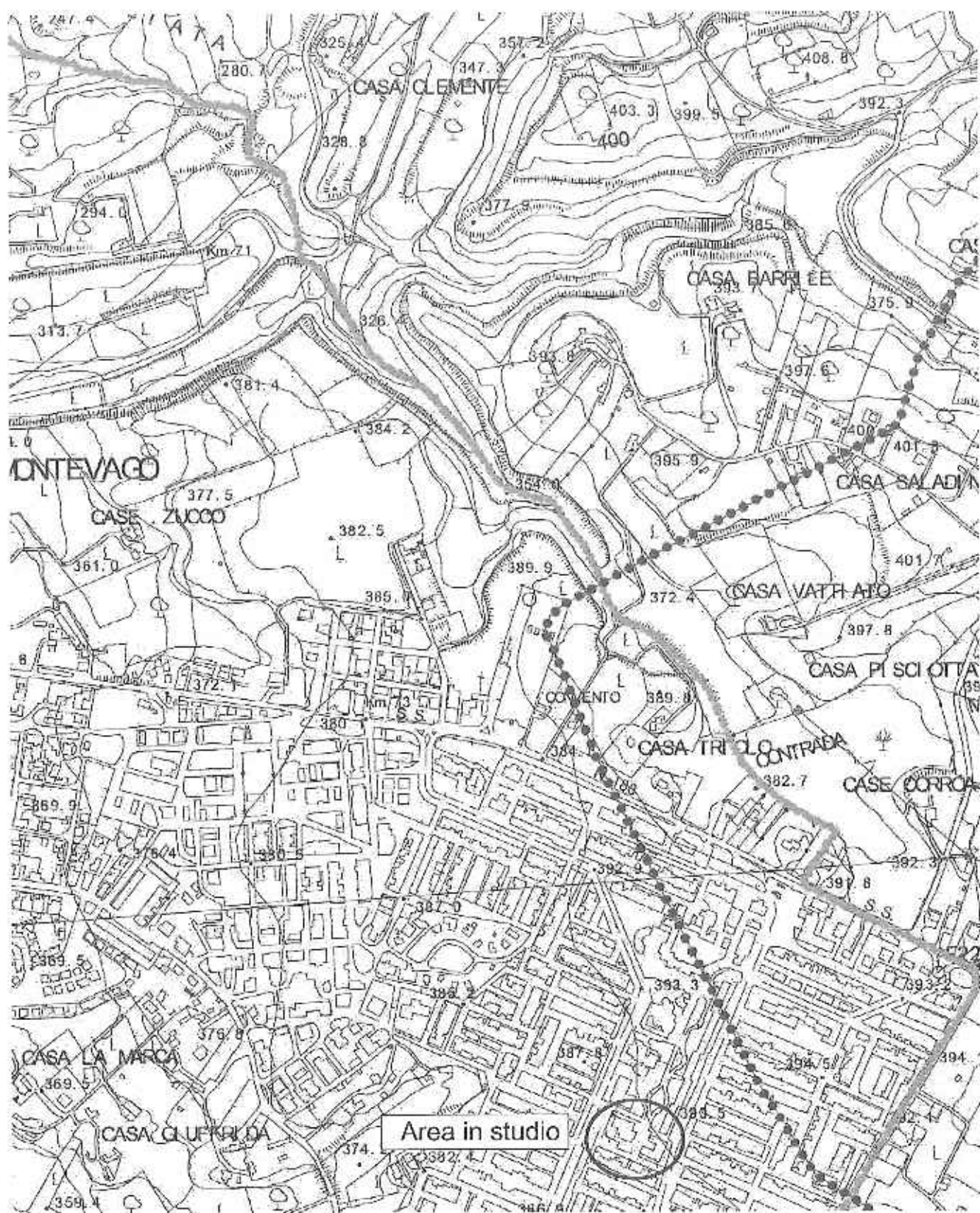
LIVELLI DI PERICOLOSITA'

	P0 molto basso
	P1 moderato
	P2 medio
	P3 elevato
	P4 molto elevato

LIVELLI DI RISCHIO

	R1 moderato
	R2 medio
	R3 elevato
	R4 molto elevato

	Limite bacino idrografico del F. Belice
	Limiti comunali



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E COPERTURA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(DECRETO 15878 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA LEGGE 52/1994)

Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 29

COMUNI DI

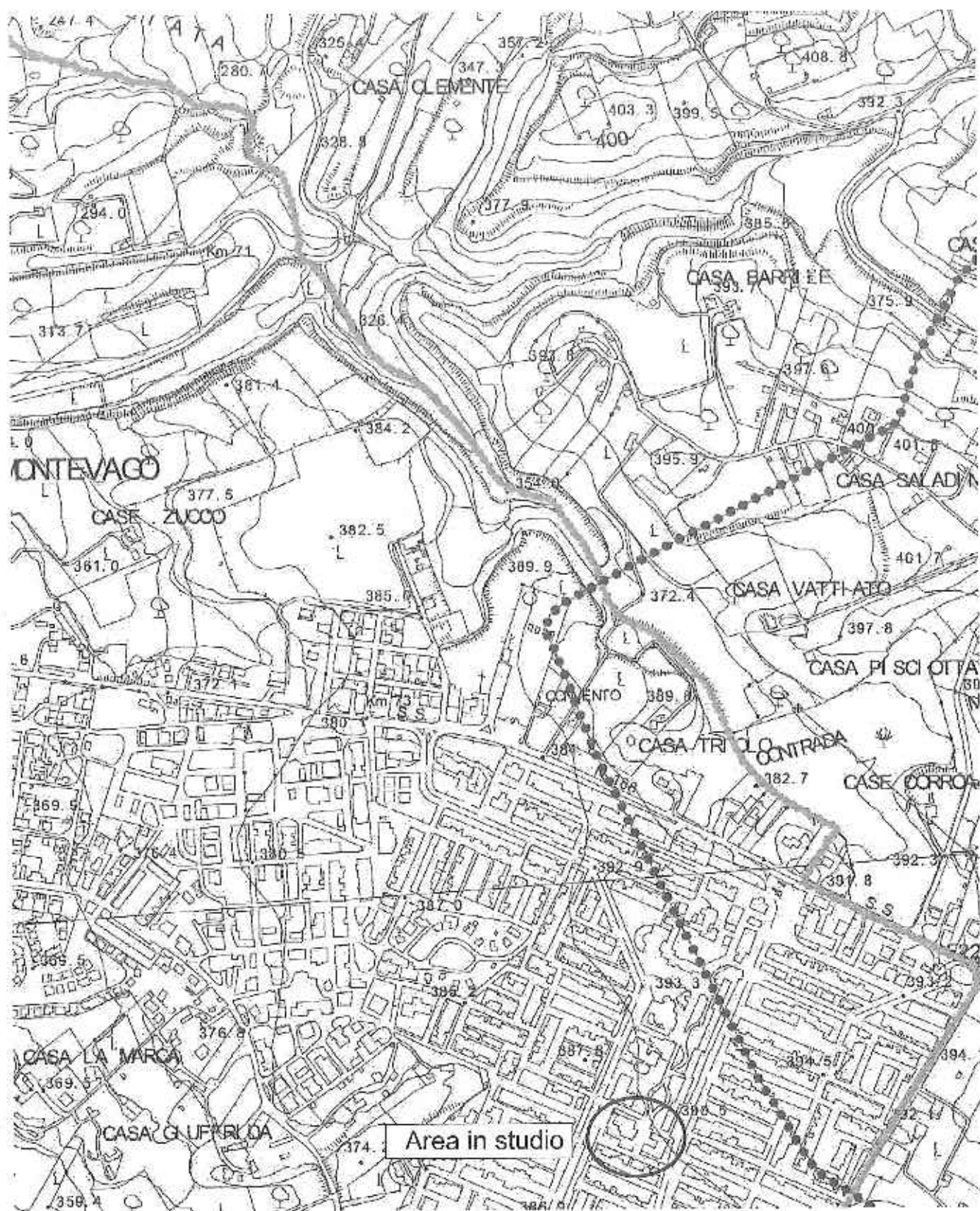
Montevago - Partanna - Salaparuta - Santa Margherita Belice
Scala 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

- | | |
|---|---|
|  | R1 Rischio moderato |
|  | R2 Rischio medio |
|  | R3 Rischio elevato |
|  | R4 Rischio molto elevato |
|  | Limite bacino idrografico del F. Belice |
|  | Limite comunale |



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

PIÙ A RISCHIO DI INONDATIONI E DI DANNI DA ALLUVIONI

Bacino Idrografico del Fiume Belice (057)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 29

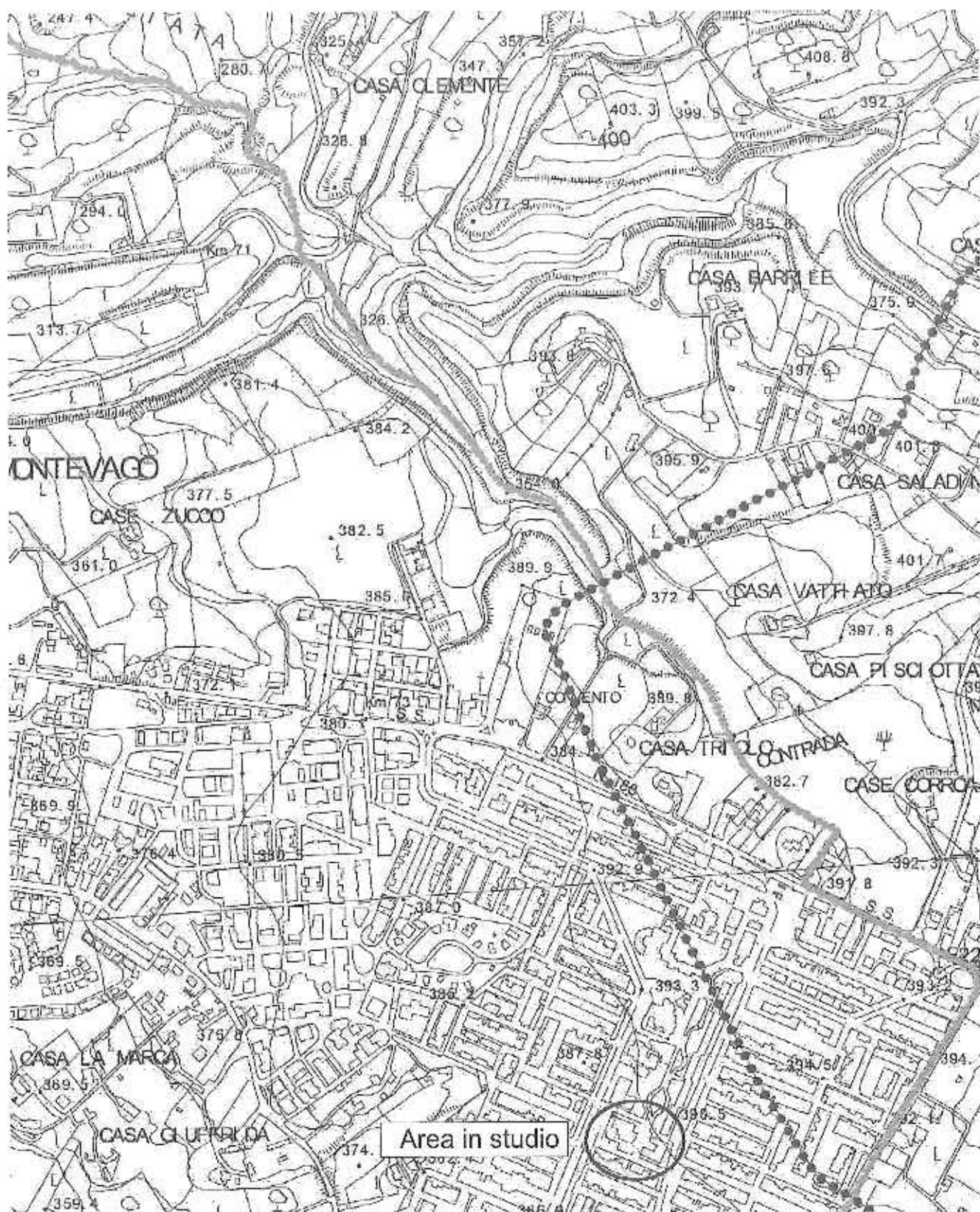
COMUNI DI
Montevago - Patù - Salaparuta - Santa Margherita
Scala 1:10,000



Anno 2005

LEGENDA

-  P1 Pericolosità moderata
-  P2 Pericolosità media
-  P3 Pericolosità elevata
-  Siti di attenzione
-  Limite bacino idrografico del F. Belice
-  Limite comunale



4. INDAGINI UTILIZZATE PER IL PRESENTE STUDIO

Per la ricostruzione della serie stratigrafica locale e del modello geologico ed idrogeologico e per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di sedime sono stati utilizzati i dati acquisiti nell'ambito di altri lavori eseguiti dal sottoscritto sugli stessi tipi di terreni ed i risultati riportati nella relazione geologica-tecnica, geofisica ed idrogeologica, redatta dal Dott. Geol. Leonardo Mauceri, a supporto per la partecipazione all'Avviso Pubblico per l'aggiornamento annuale del Piano del fabbisogno regionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2015-2017, e la conferma dell'attualità del Piano Annuale 2016, di cui all'art 10 del D.L. 12 settembre 2013, n. 104, convertito in legge 8 novembre 2013 n. 128, recante misure urgenti in materia di Istruzione, Università e Ricerca "Progetto Esecutivo per la Ristrutturazione, Efficientamento Energetico, Miglioramento Sismico, Manutenzione Straordinaria, Abbattimento delle Barriere Architettoniche della Scuola Primaria Eleonora Gravina con annesso Refettorio Scolastico Sezione Associata Montevago (AG) facente parte dell'Istituto Comprensivo G. Tomasi di Lampedusa di Santa Margherita di Belice (AG), Codice Meccanografico AGIC80800E, fornita dal Committente.

In particolare sono stati utilizzate n. 2 prove penetrometriche dinamiche denominate PP01 e PP02 le cui ubicazioni sono visibili nella figura di seguito allegata.

Di seguito è riportato quanto indicato nella relazione geologica del Dott. Geol. Leonardo Mauceri.



Le prove penetrometriche dinamiche sono state effettuata con PENETROMETRO DINAMICO DL030 10 (Medium), ubicati tenendo conto della sistemazione definitiva dell'area di progetto, ritenendo che, le prove eseguite, così com'è sono state ubicate, possano soddisfare l'intera area dal punto di vista stratigrafico e geomeccanico.

Le caratteristiche strumentali sono le seguenti:

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Penetrometro DL 030 10 (Medium)	
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta	0.20 m
Sezione della punta conica	10 cm ² ;
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste al metro	2.4 Kg/m
numero dei colpi per ogni approfondimento di	10 cm = 10/N

La prova consiste nel registrare il numero dei colpi (N) necessari ad infliggere una quantità costante delle aste (10 cm). Pertanto, riportando su un diagramma in ascisse il valore (N) ed in ordinate la profondità di indagine espressa in metri, si è ricavato il profilo penetrometrico allegato relativo alla prova eseguita, il cui andamento evidenzia senza soluzione di continuità, le variazioni litologiche e di consistenza dei terreni attraversati in funzione del numero di colpi.

PROVA PENETROMETRICA - PP01 (profondità - m 1,30)

Lungo la verticale del sondaggio sono stati riscontrati i seguenti litotipi:

❖ **LIVELLO N° 01** (da p.c. ad un max di - 1,10 m). Si tratta di una coltre di terreno agrario e materiale di riporto. Spessore variabile da 0,00 m a 1,10 metro.

❖ **LIVELLO N° 02** (da 1,10 fino ad un max di 1,30 m). Si tratta di calcarenite sabbiose da poco cementate a ben cementate.

✓ **PROVA PENETROMETRICA - PP02 (profondità - m 1,80)**

Lungo la verticale del sondaggio sono stati riscontrati i seguenti litotipi:

❖ **LIVELLO N° 01** (da p.c. ad un max di - 0,70m).

Si tratta di una coltre di terreno agrario e materiale di riporto. Spessore variabile da 0,00 m a 0,70 metro.

❖ **LIVELLO N° 02** (da 0,70 fino ad un max di 1,60 m). Si tratta di terreno di riporto e terreno di alterazione.

❖ **LIVELLO N° 03** (da 1,60 fino ad un max di 1,80 m).

Si tratta di calcarenite sabbiose da poco cementate a ben cementate.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 01

Committente: COMUNE DI MONTEVAGO
 Cantiere: PROGETTO COSTRUZIONE SCUOLA ELEMENTARE
 Località: MONTEVAGO

Caratteristiche Tecniche-Strutturali Sonda: DPM (DI.030 10)(Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso massa battente	20 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,9 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punto	N(10)
Coeff. Correlazione	0,761
Rivestimento/linghi	Si
Angolo di apertura punta	60 °

RESPONSABILE
 DOTT. LEONARDO MAUCERI

PROVA nr. N°01

Siramento utilizzato...

DPM (DL030 10) (Medium)

Prova eseguita in data

21/03/2015

Profondità prova

1,30 mt

Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammmissibile con riduzione Hemmiier - Olandesi (KPa)	Pres. ammmissibile Hemmiier - Olandesi (KPa)
0,10	1	0	0,857	0,28	0,33	11,03	16,37
0,20	12	0	0,855	3,36	3,93	167,93	196,50
0,30	14	0	0,863	3,68	4,38	184,01	229,25
0,40	18	0	0,801	4,72	5,69	236,02	294,75
0,50	18	0	0,799	4,71	5,89	235,47	294,75
0,60	16	0	0,797	4,18	5,24	208,81	262,00
0,70	16	0	0,795	4,17	5,24	208,33	262,00
0,80	14	0	0,793	3,64	4,38	181,87	229,25
0,90	14	0	0,792	3,44	4,35	172,19	217,54
1,00	18	0	0,790	4,42	5,39	220,89	279,70
1,10	21	0	0,738	4,82	6,35	240,82	326,31
1,20	54	0	0,836	10,68	16,78	543,88	839,09
1,30	60	0	0,833	11,83	18,65	591,61	932,32

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.01

LIVELLO N°01 - TERRENI DI ALTERAZIONE

LIVELLO N°02 - CALCARENITE

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Gibbs & Holtz 1957	41,62
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Gibbs & Holtz 1957	73,56

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Sowers (1961)	31,14
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Sowers (1961)	40,15

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Bowles (1982) Sabbia Media	12,85
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Bowles (1982) Sabbia Media	28,63

Modulo Edometrico

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	4,95
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	11,43

Classificazione AGI

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Meyerhof ed altri	17,36
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Meyerhof ed altri	18,67

Peso unità di volume saturo

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m³)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,93
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,52

Modulo di Poisson

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	11,21	1,10	11,21	(A.G.I.)	0,33
Strato 2	43,38	1,30	43,38	(A.G.I.)	0,27

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	G (Mpa)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Ohnaka (Sabbie pulite)	61,81
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Ohnaka (Sabbie pulite)	220,54

Velocità onde

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Ohla & Goto (1978) Lini	92,596
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Ohla & Goto (1978) Lini	136,036

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ²)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Navfac 1971-1982	2,36
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Navfac 1971-1982	7,31

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	11,21	1,10	11,21	Robertson 1983	2,20
Strato 2	43,38	1,30	43,38	Robertson 1983	8,51

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n°02

Committente: COMUNE DI MONTEVAGO
 Cantiere: PROGETTO SCUOLA ELEMENTARE
 Località: MONTEVAGO

Caratteristiche Tecniche Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DEN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,9 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,761
Rivestimento/ungoli	Si
Angolo di apertura punta	60 °

**RESPONSABILE
 DOTT. LEONARDO MAUCERI**



PROVA ... Nr.02

Strumento utilizzato...
Prova eseguita in data
Profondità prova
Falda non rilevata

DPM (DI.036.10) (Medium)
21/03/2015
1.80 m

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivelamento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	1	0	0.887	0.28	0.33	14.03	16.37
0.20	1	0	0.855	0.28	0.33	13.99	16.37
0.30	1	0	0.853	0.28	0.33	13.98	16.37
0.40	1	0	0.851	0.28	0.33	13.98	16.37
0.50	1	0	0.849	0.28	0.33	13.98	16.37
0.60	3	0	0.847	0.83	0.98	41.61	49.12
0.70	5	0	0.815	1.38	1.64	69.20	81.97
0.80	15	0	0.793	3.90	4.91	194.86	243.62
0.90	18	0	0.792	4.43	5.59	221.39	279.70
1.00	18	0	0.790	4.42	5.59	220.89	279.70
1.10	17	0	0.788	4.16	5.28	208.16	264.16
1.20	15	0	0.786	3.67	4.66	183.26	233.08
1.30	14	0	0.783	3.41	4.35	170.67	217.54
1.40	18	0	0.783	1.98	2.59	118.97	145.70
1.50	19	0	0.781	4.61	5.90	230.64	295.24
1.60	22	0	0.730	4.99	6.84	249.40	311.85
1.70	55	0	0.628	10.73	17.09	536.65	651.63
1.80	80	0	0.626	11.68	18.65	583.94	722.32

SIIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.02

LIVELLO N°01 – TERRENO AGRARIO
LIVELLO N°02 – TERRENO DI ALTERAZIONE
LIVELLO N°03 – CALCARENITE

Densità relativa

	Napt	Prof. Stato (m)	Napt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Stato 1	1,42	0,70	1,42	Gibbs & Holtz 1957	5,02
Stato 2	13,19	1,60	13,19	Gibbs & Holtz 1957	43,4
Stato 3	43,76	1,80	43,76	Gibbs & Holtz 1957	71,99

Angolo di resistenza al taglio

	Napt	Prof. Stato (m)	Napt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Stato 1	1,42	0,70	1,42	Sowers (1961)	28,4
Stato 2	13,19	1,60	13,19	Sowers (1961)	31,69
Stato 3	43,76	1,80	43,76	Sowers (1961)	40,25

Modulo di Young

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Bowles (1982) Sabbia Media	—
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Bowles (1982) Sabbia Media	13,82
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Bowles (1982) Sabbia Media	28,81

Modulo Edometrico

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Begemann 1973 (Ghiaia con sabbia)	2,98
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,35
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	11,51

Classificazione AGI

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAME NTE
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (KN/m ³)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Meyerhof ed altri	16,44
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Meyerhof ed altri	17,95
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Meyerhof ed altri	18,77

Peso unità di volume saturo

	N _{spt}	Prof. Strato (m)	N _{spt} corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m ³)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,24
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,52

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	1,42	0,70	1,42	(A.G.I.)	0,35
Strato 2	13,19	1,60	13,19	(A.G.I.)	0,33
Strato 3	43,76	1,80	43,76	(A.G.I.)	0,27

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Mpa)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Ohsaki (Sabbie pulite)	8,86
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Ohsaki (Sabbie pulite)	72,02
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Ohsaki (Sabbie pulite)	222,36

Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Ohia & Goto (1978) Limi	59,357
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Ohia & Goto (1978) Limi	109,809
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Ohia & Goto (1978) Limi	145,715

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ²)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Navfac 1971-1982	0,13
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Navfac 1971-1982	2,77
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Navfac 1971-1982	7,35

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	1,42	0,70	1,42	Robertson 1983	0,28
Strato 2	13,19	1,60	13,19	Robertson 1983	2,59
Strato 3	43,76	1,80	43,76	Robertson 1983	8,58

Ad integrazione dei dati in nostro possesso è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche direttamente nell'area interessata dal progetto, di seguito illustrata.

5. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA ESEGUITA PER IL PRESENTE STUDIO

Per la caratterizzazione sismica locale è stato eseguito, nell'ambito del presente studio, n. 1 sondaggio di sismica passiva a stazione singola denominati "TI" la cui ubicazione è visibile nella "Planimetria con l'ubicazione dell'indagine di sismica passiva a stazione singola" allegata.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSr), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSr sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella Figura 1 si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (ρ_1 e ρ_2) e le velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

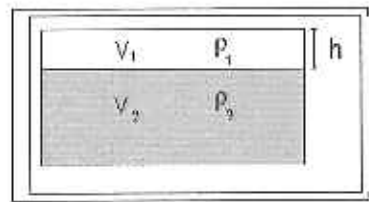


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSr mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;

- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato "Tromino", dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:
 - ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
 - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,

- ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore ad 2;
 - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

- ⇒ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒ a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\nu} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio V_s .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione:

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante:

$$\nu = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

da cui si ricava

$$\nu = 4 f_r h$$

Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

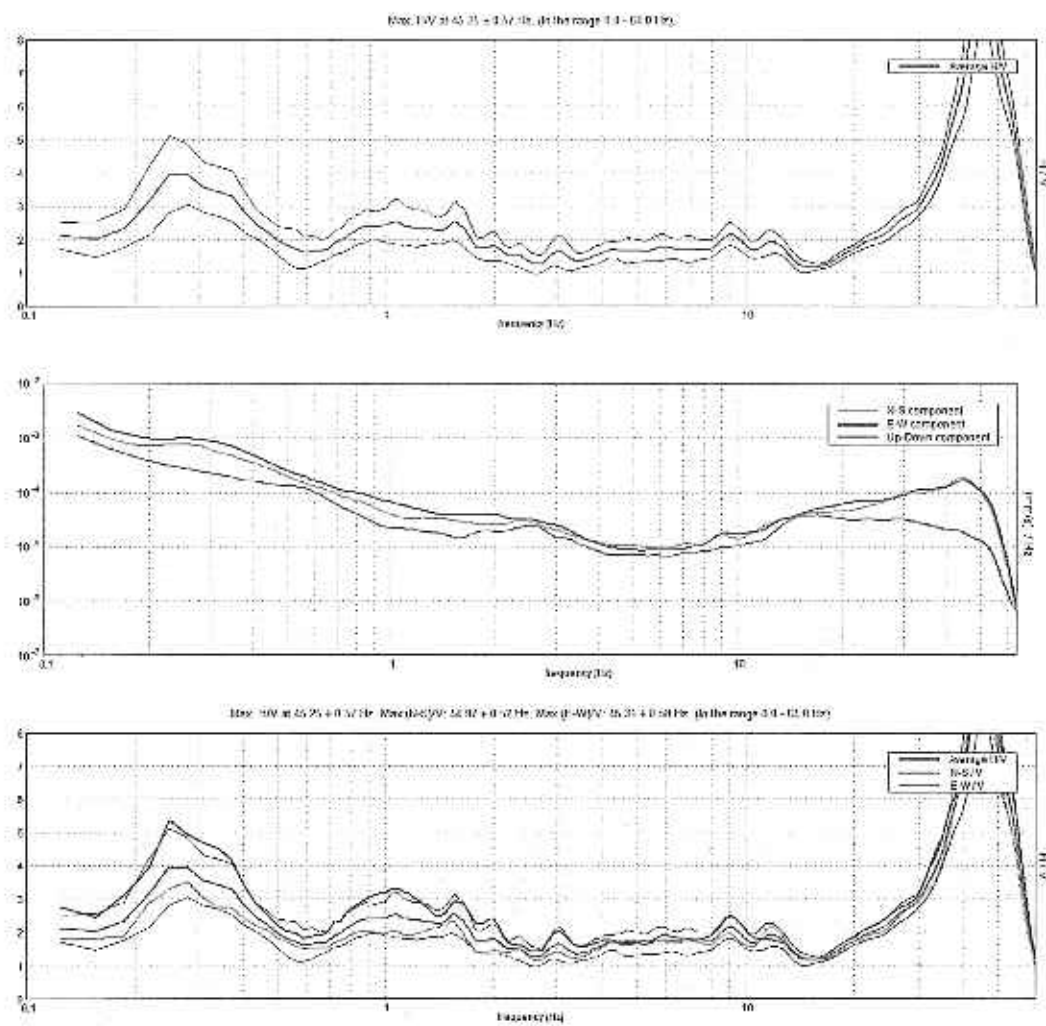
CARTA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE



- T1 Indagine di sismica passiva a stazione singola
- Area in studio

Scala 1/5.000

Sondaggio T1



Documentazione fotografica

Sondaggio T1



5.1 Stima delle velocità delle onde S

I dati sperimentali ricavati dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio V_s .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione:

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

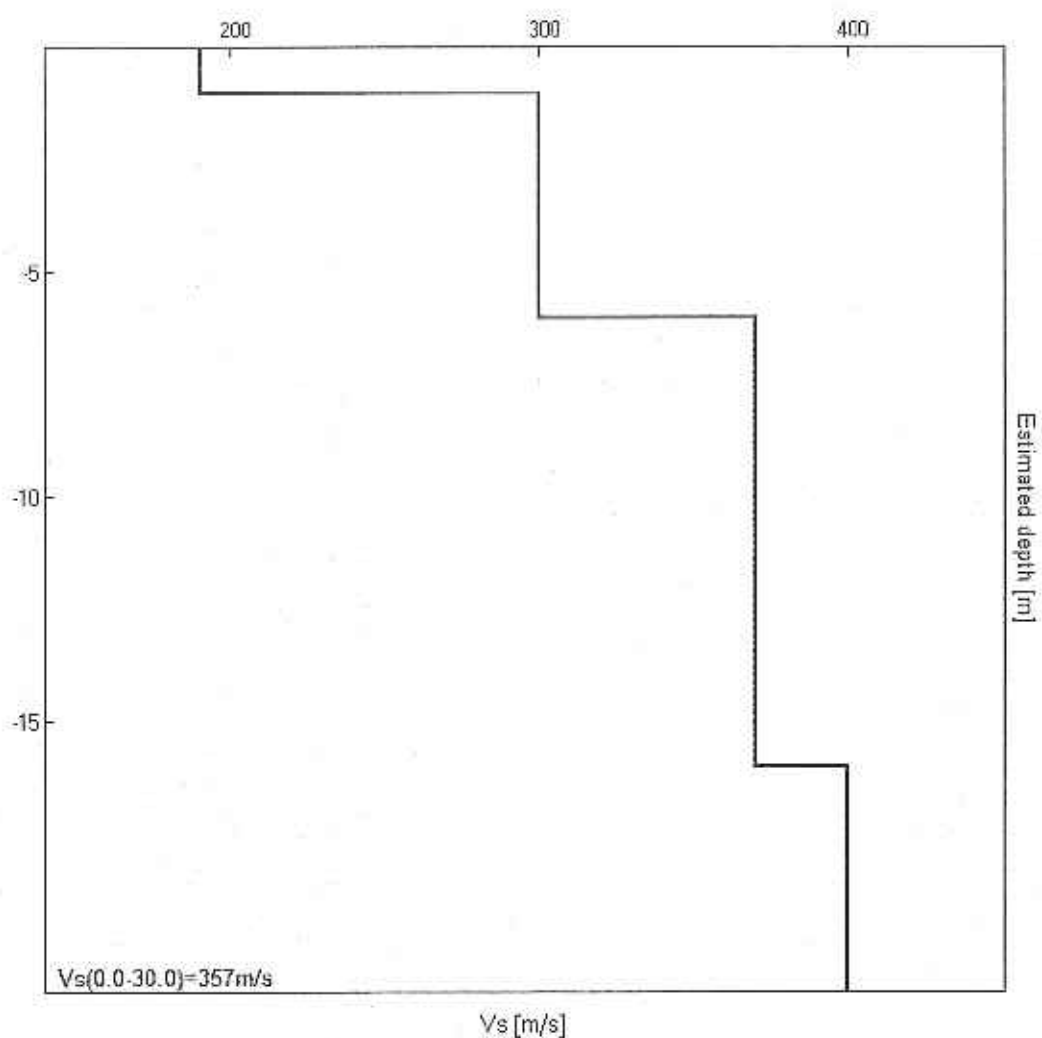
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori delle velocità delle onde trasversali per i primi 30 m di profondità dal piano compagna, registrate durante l'esecuzione dei sondaggi.

Sondaggio T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.00	190	C	C (Vs30=357 m/s)
1.00-6.00	300	C	
6.00-16.00	370	B	
16.00-30.00	400	B	



6. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

Da quanto desumibile dalle indagini in nostro possesso e da quelle eseguite nell'ambito del presente studio, come visibile dalle carte e dalle sezioni geologiche allegate, i terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in studio sono: *a) Terreno di riporto; b) Terreno vegetale; c) Formazione Agrigento; d) Formazione Marnoso Arenacea del Belice.*

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dai dati ricavati dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni.

a) Terreno di riporto: si tratta di depositi sabbiosi, limo-sabbiosi e limosi, scarsamente addensati, contenenti elementi lapidei di natura calcarenitica di varie dimensioni da millimetriche a centimetriche. Non interessa il terreno di fondazione della struttura in quanto è stato asportato durante la costruzione della scuola.

b) Terreno vegetale: Si tratta di limi sabbiosi e sabbie limose, scarsamente addensate e scarsamente consistenti di colore rossastro. Non interessa il terreno di fondazione della struttura in quanto è stato asportato durante la costruzione della scuola.

c) Formazione Agrigento: calcareniti più o meno sabbiose con intercalati, a più livelli, da argille e marne. Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche di questi terreni la loro valutazione è stata fatta tramite l'esperienza maturata su lavori eseguiti in zona. Sulla base di questi risultati si possono consigliare i seguenti parametri fisico-meccanici per l'intero complesso:

$$\varphi' = 28^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc.}$$

7. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia $\sigma = u$, viene $\tau_f = 0$ e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a

sfuggire mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle V_{s30} .

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio V_s .

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ❖ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- ❖ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- ❖ frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1- S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico $\times 100$ e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatic-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per } FC > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{cIN} = \frac{q_c}{P_a} \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vu}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{cIN})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato $(N_{1,60})_{cs}$, si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vu}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{s1})_{cs} - V_{s1}} - \frac{1}{(V_{s1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse

di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{0,72} \right)^{3,1}}$$

Vista la natura litologica dei terreni presenti meglio specificati nel capitolo precedente, le condizioni di cui alla normativa vigente possono ritenersi soddisfatte e può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni anche se la falda presente è abbastanza superficiale.

A dimostrazione di quanto detto si ricorda che l'area è stata soggetta a fenomeni sismici anche di rilievo e non si sono osservate problematiche legate a liquefazione.

8. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2. Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica" e confermata dalla Regione Sicilia (DGR 408 del 19/12/2003), come visibile nella carta allegata tratta dal sito del D.P.C. (Dipartimento della Protezione Civile).

Esiste nella letteratura scientifica (Baratta 1934, De Panfilis 1959, Cosentino, Mulone 1985, Barberi 1985) tutta una serie di notizie relative ad eventi sismici che hanno avuto i loro epicentri in zone vicine all'area in oggetto o che si sono risentite nell'abitato di Montevago.

Le prime notizie di eventi che in qualche maniera si sono avvertite nella zona risalgono al 1593 e ricordano un terremoto con epicentro Corleone, successivamente altre notizie riportano di terremoti nel 1724 e 1740.

Nel 1816-17 una serie di scosse sismiche con epicentro a Sciacca, Menfi e Sambuca di Sicilia sono state avvertite anche a Montevago.

Nel 1897 una nuova scossa sismica interessa Corleone, nel dicembre del 1909 una forte scossa con intensità pari al VII° grado si verificò con epicentro nella zona di Camporeale.

Un'intensa attività sismica si è verificata tra il 18 ed il 20 novembre 1954, con area epicentrale localizzata nei pressi dell'abitato di Grisi; la scossa principale, di intensità valutata del VI° grado della scala Mercalli, fu registrata negli osservatori di Palermo e Messina; successivamente nel 1956 un movimento sismico a carattere locale ha interessato nuovamente il territorio di Grisi.

Nel 1968 si è registrato il terremoto più importante della zona risentito a Palermo con intensità pari al VI°. In quella occasione una vasta area situata a cavallo della Valle del Belice fu interessata da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime negli abitati di Gibellina, Salaparuta, Montevago, Poggioreale, S. Margherita Belice, Salemi, Partanna, Menfi, mentre danni minori, ma sempre notevoli, si ebbero a Montevago.

Dagli studi di questo evento sismico e dalla zonizzazione dei danni si evince con chiarezza che i manufatti che hanno subito danni sono tutti ubicati nelle zone alluvionali e/o palustri, ora riempite, dove evidentemente la presenza di terreni a scarsa o scarsissima consistenza ha creato fenomeni di consolidamento a seguito delle sollecitazioni sismiche.

Dove il terreno di sedime era costituito dal complesso calcarenitico non vi sono stati danni se non a quei manufatti che dimostravano una evidente carenza costruttiva.

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare, nei siti interessati da edificazione, le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed-rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti appartengono alla *Categoria C* - "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

9. CONCLUSIONI

Da quanto detto precedentemente in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche si evince che:

- l'area è costituita da calcareniti più o meno sabbiose con intercalati, a più livelli, argille e marne, afferenti alla Fm. Agrigento. Detti terreni sono ricoperti da uno strato di spessore variabile tra 1.10 m e 1.60 m di terreno di riporto e terreno vegetale. I terreni sopra indicati poggiano sulla Fm. Marnoso Arenacea del Belice, che non affiora nell'area in studio ma costituisce il substrato argilloso ed impermeabile.
- da un punto di vista geomorfologico le condizioni di stabilità sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio;
- il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatto dall'A.R.T.A. (Servizio 4 "Assetto del Territorio e Difesa del suolo") esclude l'area da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico ed idraulico;
- Dai dati acquisiti dalle misure eseguite all'interno del pozzo indicato nella carta geologica, che si trova ad una quota pari a 389,8 m.l. m., si evince che le acque infiltratisi vanno a ricaricare la falda freatica il cui livello piezometrico si trova ad una quota pari a circa 383,8 m s.l.m. ovvero a circa 6.0 m dal piano calpestio. Si mette in evidenza che durante i periodi di intense piogge, detto livello, può raggiungere quota pari a 384,8 m s.l.m.;
- ai sensi del DM 17/01/2018 la categoria di suolo a cui appartengono i terreni presenti è la *Categoria C* - "*Depositi di terreni a grana*

grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s”;

- i terreni non danno luogo a fenomeni di liquefazione e di amplificazione in caso di sisma.

Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



