COMUNE DI L'AQUILA

PROVINCIA DI L'AQUILA

LAVORI CONSEGUENTI AL SISMA DEL 6 APRILE 2009

LAVORI DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DI EDIFICI E.R.P.

SITO: **VIA MILONIA n° 23-27**

AGGREGATO: Id CTR nn. 4905529 e 4905589

RIFERIMENTI CATASTALI: **CC di L'AQUILA, Fg. n. 69, Mappale 713**

RICHIEDENTE: **COMUNE DELL'AQUILA - SETTORE RICOSTRUZIONE PUBBLICA**

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Data	STUDIO DI GEOLOGIA DOTT. GEOL. SILVIO TATONI Via dei Farnese n°8 - 67100 L'Aquila Tel: 0862-318381 Fax:0862-1965998 Cell: 345-7105075 e-mail: tatoni.silvio@yahoo.it
Gennaio 2014	

Sommario

PREMESSA 2

RELAZIONE GEOLOGICA

INQUADRAMENTO MORFOLOGICO 4

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 8

INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE 9

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 12

RELAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL PROFILO DI SOTTOSUOLO

CAMPAGNA INDAGINI 15

INDAGINE SISMICA 16

Indagine sismica di tipo MASW 16

Indagini sismiche con registrazione di microtremori in campo libero 17

Risultati Indagine Sismica 18

INDAGINE GEOGNOSTICA 18

Sondaggio 18

Prove Penetrometriche SPT 19

Prove Penetrometriche Superpesanti 19

Risultati prove geotecniche 20

MODELLO GEOLOGICO 21

MODELLO GEOTECNICO 22

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA 24

CONCLUSIONI 26

ALLEGATI

ALLEGATO 1 CARTA TECNICA, scala 1:5.000

ALLEGATO 2 FOTO AEREA

ALLEGATO 3 STRALCIO CARTA GEOLOGICA

ALLEGATO 4 STRALCIO CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 3° LIVELLO

ALLEGATO 5 REPORT INDAGINE SISMICA

ALLEGATO 6 REPORT INDAGINE PENETROMETRICA

ALLEGATO 7 REPORT INDAGINE GEOGNOSTICA

ALLEGATO 8 PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA

PREMESSA

Il presente Studio, redatto dal sottoscritto Dott. Geol. Silvio Tatoni, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo con il n° 141, su incarico del Comune dell'Aquila Settore ricostruzione pubblica, consiste nella relazione geologica, sismica e caratterizzazione geotecnica a supporto del progetto per i lavori di demolizione e ricostruzione di un edificio E.R.P. danneggiato dal sisma del 6 Aprile 2009. I fabbricati oggetto dell'intervento, identificati con Id CTR nn. 4905529 e 4905589, sono situati nella città di L'Aquila, zona residenziale di Pettino, in via Milonia e censiti nel CC di L'Aquila, Fg n. 69, Mappale n. 713.

Il lavoro, nel rispetto della normativa vigente, è stato organizzato in due relazioni:

Relazione geologica:

- rilievo geologico e morfologico dell'area;
- analisi geologica, morfologica ed idrogeologica sulla base anche delle indagini effettuate.

Relazione sismica e caratterizzazione geotecnica del profilo di sottosuolo:

- indagini geognostiche e indagini geofisiche;
- elaborazione dei dati derivanti dalle indagini sismiche e geotecniche;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Il lavoro è stato eseguito in conformità delle vigenti normative nazionali e regionali in materia (*D.M. 14.01.2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni 2008;* *Circolare 2 febbraio 2009 del Consiglio Superiore Lavori Pubblici – *Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008;* *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – *Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;* *O.P.C.M. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*"; *D.M. 11.03.1998; *D.M. 29.05.1895; *L. 2 febbraio 1974, n.64 "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*"; * Leggi regionali in materia).

Il presente elaborato ha lo scopo di descrivere la situazione geologica d'insieme e di valutare le caratteristiche sismiche, stratigrafiche e geotecniche del sito in esame. A tal fine, è stato dapprima effettuato un rilevamento speditivo volto ad una prima caratterizzazione dell'area, quindi, tenendo conto della possibilità di ricostruire esaustivamente tramite rilevamento di superficie l'assetto geologico – stratigrafico del sito, della disponibilità di dati derivanti da altri lavori e della ottima disponibilità di bibliografia scientifica specialistica, è stata condotta, ai sensi del Par. 6.2.2 Cap. 6 delle NTC 2008, una specifica campagna geognostica, la cui disposizione è stata condizionata dall'assetto urbanistico dell'area e dalla intensa presenza di sottoservizi.

RELAZIONE GEOLOGICA

INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

L'area indagata ricade nel quadrante 139-II della carta topografica della Regione Abruzzo, scala 1:25.000, ed è posta nella parte settentrionale della città di L'Aquila, in località Pettino, ad una quota di circa 667 m s.l.m. (Figure 1 e 2).

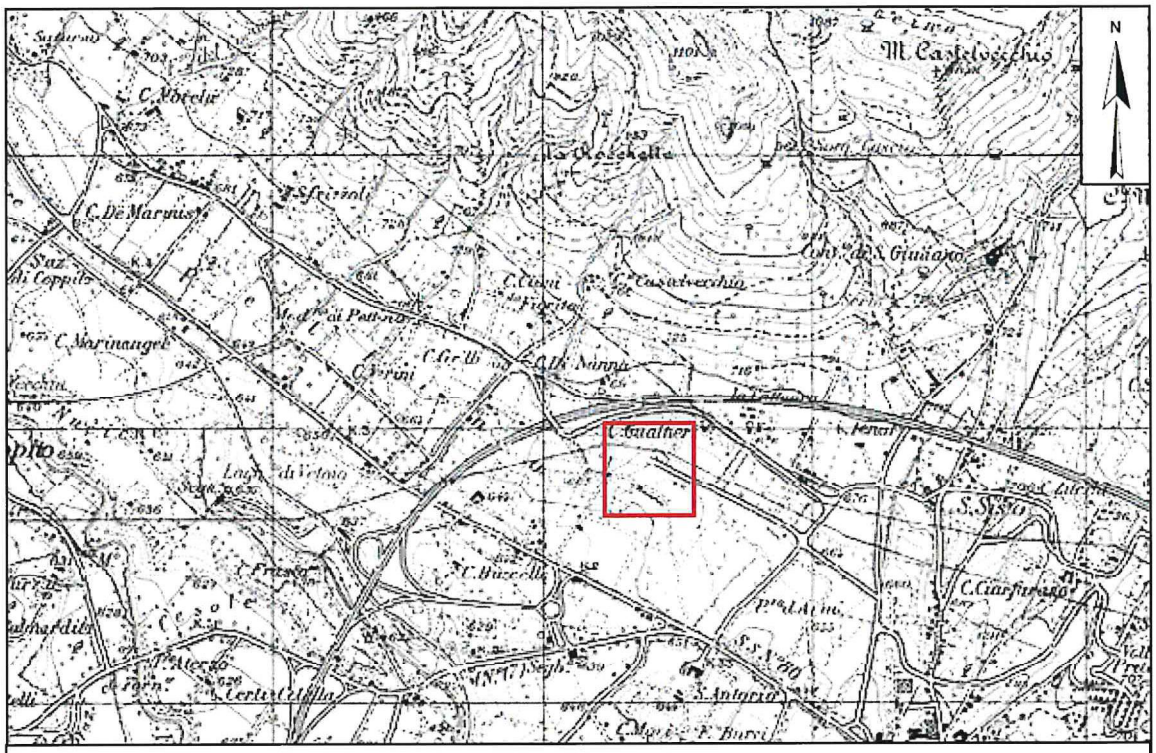


Figura 1 – Stralcio carta topografica, scala 1:25.000, con ubicazione dell'area (riquadro rosso)

Figura 2 – Foto aerea, scala 1:20.000, con ubicazione dell'area (riquadro rosso)

Dal punto di vista geomorfologico, l'area ricade nel settore occidentale dell'ampia depressione, denominata Conca dell'Aquila, che si estende in direzione NW-SE da Pizzoli a Navelli (*Bertini et al.; 1992*).

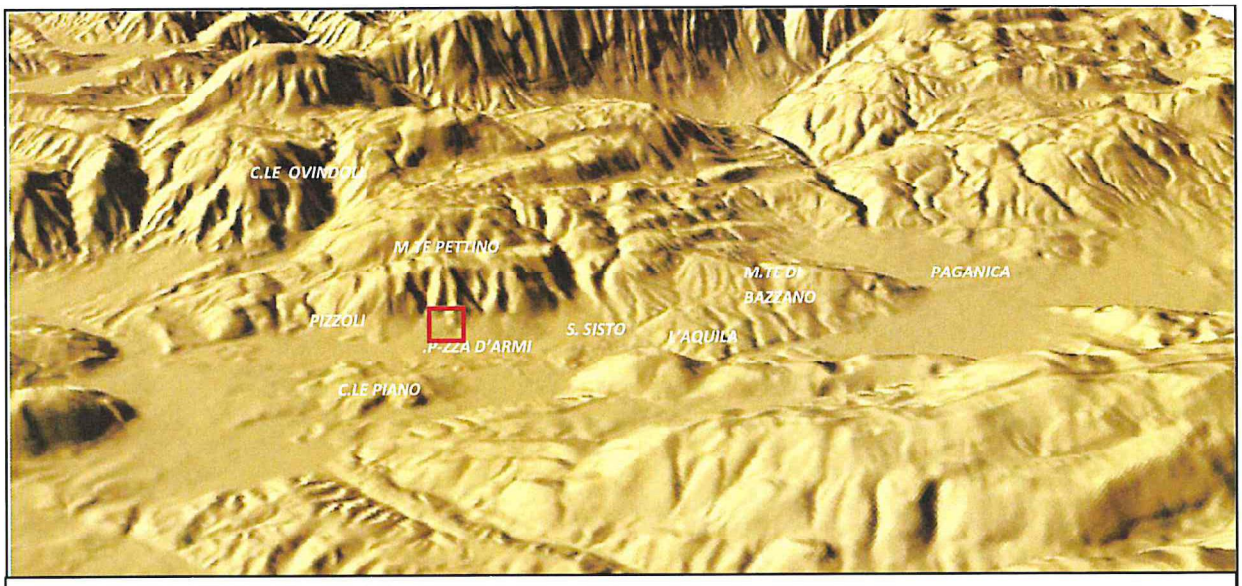


Figura 3 – Immagine tridimensionale dell'area della città de L'Aquila con ubicazione dell'area (riquadro rosso)

Si tratta di un'estesa depressione di origine tettonica racchiusa tra alti rilievi formati prevalentemente da rocce calcaree e, subordinatamente, da calcari marnosi, di età meso-cenozoica. La morfologia generale dell'area in studio è stata impostata dall'assetto tettonico sulla quale hanno operato gli agenti modellatori, in particolare lo scorrimento concentrato delle acque superficiali. L'azione delle acque fluviali si è esplicata sotto forma sia erosiva che deposizionale. Tali meccanismi si sono alternati in fasi successive. Le fasi erosive, caratteristiche dei periodi aridi, hanno asportato, parzialmente o totalmente, i depositi formatisi nei periodi alluvionali. In particolare l'azione erosiva è stata intensa dopo la colmatazione del lago Villafranchiano (Fluvio-lacustre inf.; Bosi e Bertini, 1970), infatti sono stati quasi totalmente asportati i depositi del fluvio-lacustre inferiore, che pure avevano raggiunto una quota di colmatazione di 800-850 m. Alla fase erosiva che ha smantellato i depositi del Lago Aquilano è succeduta, nel Pleistocene medio-superiore, una nuova fase deposizionale fluvio-lacustre, la cui superficie di colmatazione si attesta fra 650 e 690 m rispetto alla topografia attuale (Bosi e Bertini, 1970). Nel corso dell'Olocene, in seguito al succedersi delle fasi climatiche aride e umide, tale superficie è stata successivamente incisa e alluvionata più volte da un sistema idrografico prodromico di quello attuale.

A settentrione dell'area in studio il paesaggio si caratterizza per l'allineamento, con direzione W-E, dei rilievi di La Rocchetta (953 m s.l.m.), Monte Castelvecchio (1098 m s.l.m.) e Colle Nocelle (906 m s.l.m.). Tale dorsale è incisa da una serie di valloni che scendono verso sud con direzione NW–SE e NE–SW ed ospitano corsi d'acqua minori a carattere torrentizio. La Valle di San Giuliano si sviluppa con direzione NE–SW tra Monte di Castelvecchio (1098 m s.l.m.) ad ovest e Colle Nocelle (906 m s.l.m.) ad est.

Il sito investigato è situato sulle pendici nord-orientali della dorsale M. Pettino-M. Castelvecchio, la cui culminazione è a quota 1147 m s.l.m., che degrada con una pendenza da moderata a blanda, verso la sottostante piana (figura 3). In particolare in corrispondenza del sito in oggetto il pendio naturale presenta una blanda pendenza, circa 2-3°, in direzione SW, pertanto è ascritto alla **categoria Topografica T1** (Tab. 3.2.VI delle NTC 2008).

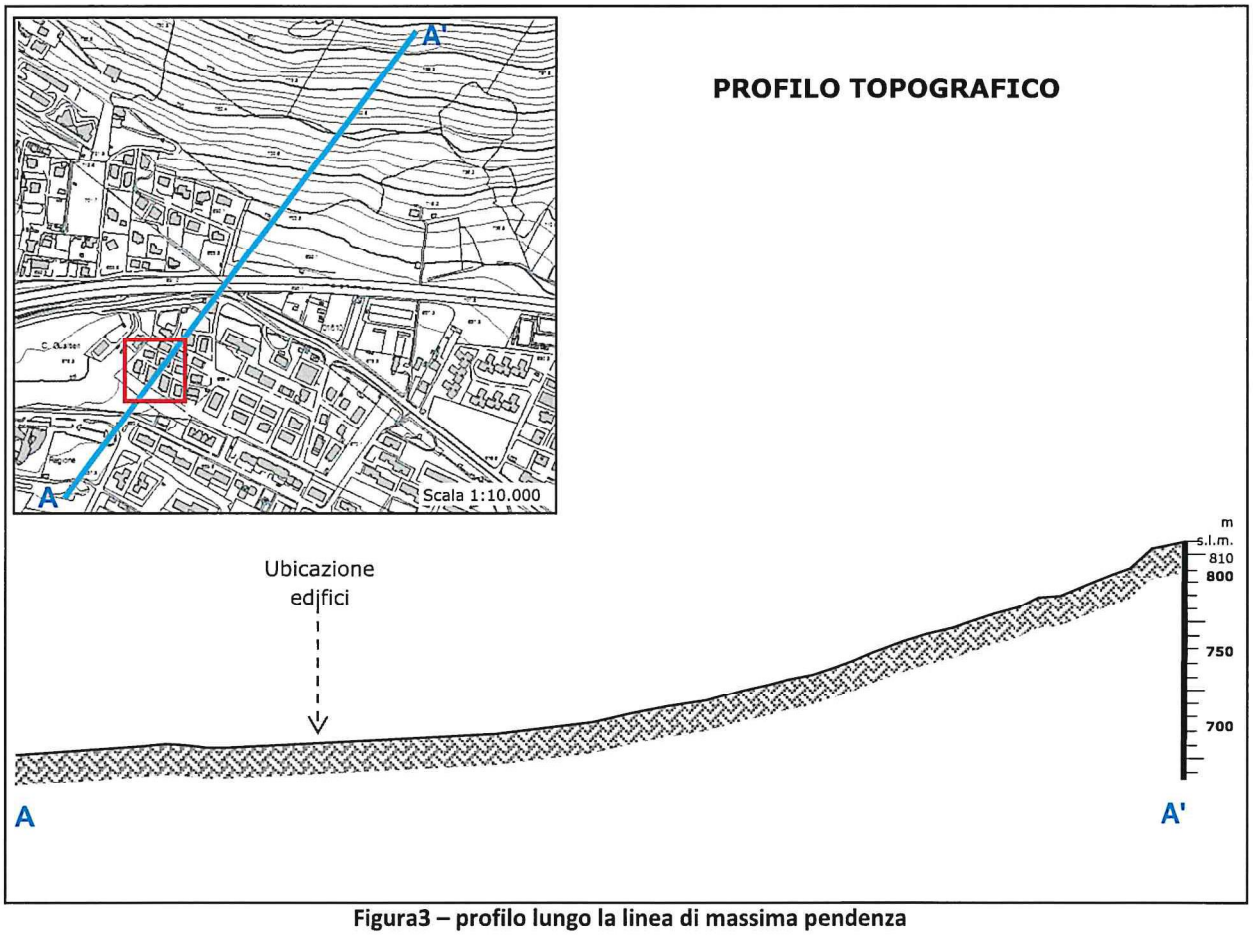


Figura3 – profilo lungo la linea di massima pendenza

I principali agenti morfologici che hanno modellato l'area in esame sono i fenomeni fluvio-gravitativi, che hanno formato le conoidi più o meno coalescenti e la fascia detritica, costituita da detriti di falda e dalla copertura detritico-colluviale, che caratterizza tutta la zona pedemontana. Quest'abbondante presenza di materiale detritico è da mettere in relazione con la faglia bordiera di M. Pettino, a direzione WNW-ESE, che borda il versante e che ha intensamente fratturato i litotipi carbonatici costituenti i rilievi. Nelle aree in cui la superficie del suddetto lineamento tettonico emerge in superficie è evidente una scarpata di faglia in roccia che è stata interpretata da vari autori come una scarpelet, cioè come una scarpata che si forma per la riattivazione cosismica di una faglia in superficie in occasione di forti terremoti. L'evidenza morfologica della faglia è anche data dalla presenza di un ampia fascia cataclastica interessata da fenomeni di erosione accelerata e caratterizzata da forme pseudocalanchive.

Nel passato il principale agente modellatore dell'area era il ruscellamento superficiale sia concentrato sia diffuso, attualmente tale ruolo è conteso dall'azione antropica, sotto forma di edificazione e urbanizzazione, che interferisce con i meccanismi morfogenetici e maschera le forme originarie. La funzione di intercettamento e convogliamento delle acque superficiali viene svolta dalle strade asfaltate. Il ruscellamento diffuso è ancora attivo, ma i suoi effetti sono fortemente limitati dalle costruzioni e dalle altre opere antropiche.

Dall'inventario dei fenomeni franosi dell'Abruzzo (Progetto IFFI, D'Alessandro *et alii*, 2007) di cui uno stralcio è riportato in figura 4 è possibile osservare la presenza di diversi scorrimenti rotazionali e traslativi, a N e a NE dell'area d'interesse, ma che non coinvolgono la stessa.

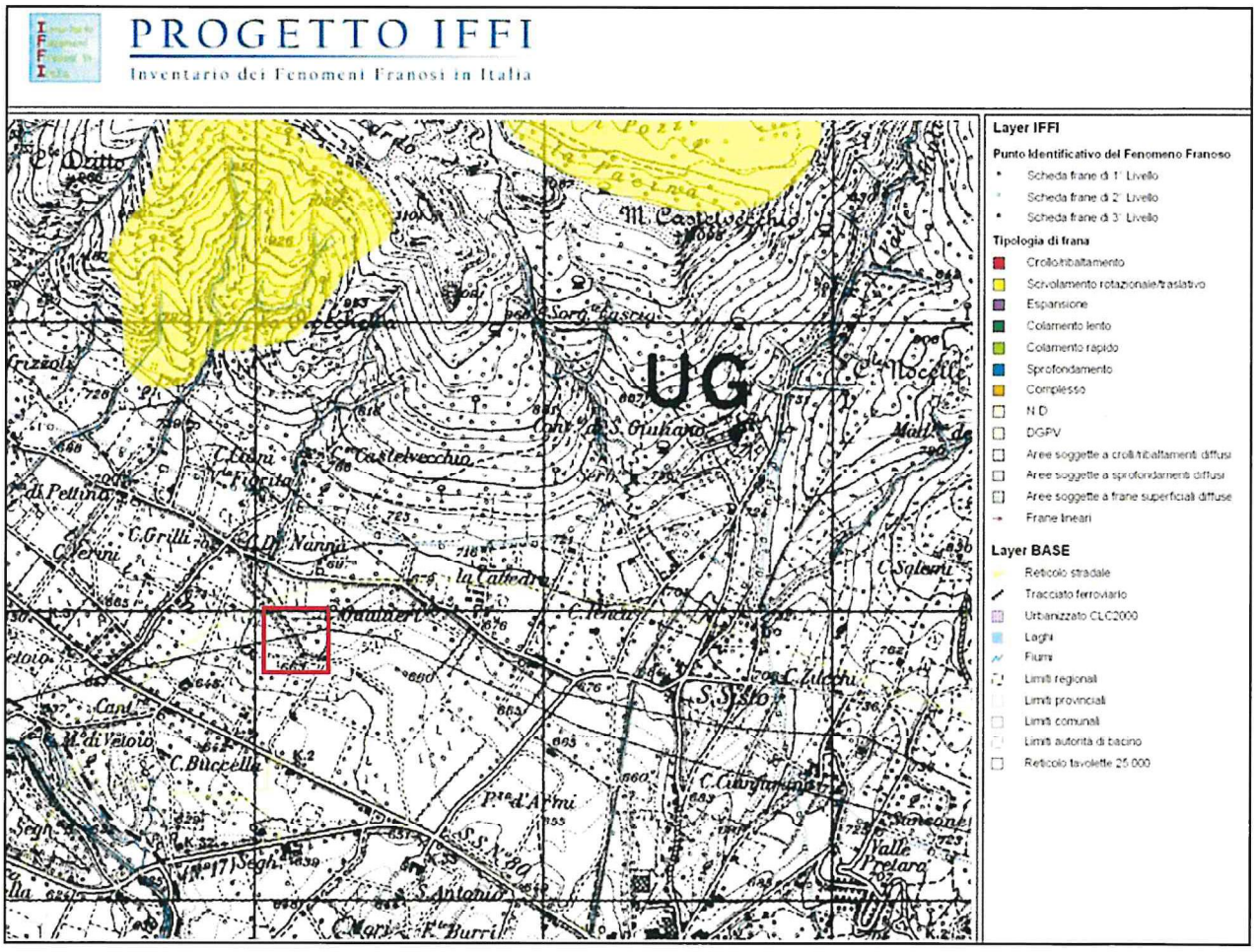


Figura 4- Stralcio Carta dei fenomeni franosi dell'Abruzzo, progetto IFFI

Il rilevamento non ha evidenziato nell'area investigata tracce o indizi che indichino processi di instabilità in atto, pertanto il sito è definito stabile. A ulteriore conferma di tale valutazione l'area in progetto è riportata come bianca nel Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) (L.R. 18.5.1989) di cui uno stralcio è riportato in figura 5.

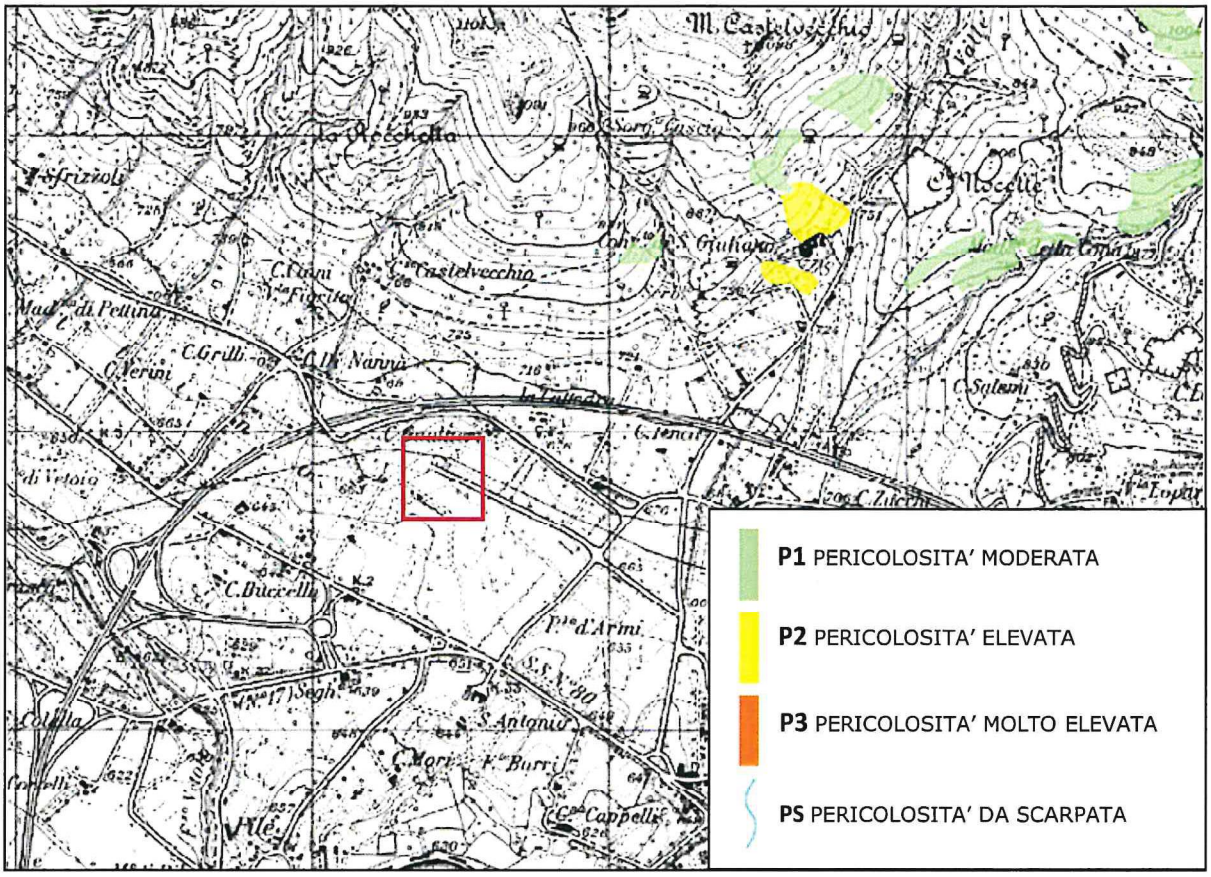


Figura 5 – Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico – Stralcio Carta della Pericolosità da frana

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame è situata sul bordo nord-orientale del bacino di L'Aquila corrispondente al versante meridionale della dorsale di M. Pettino-M. Castelvecchio. Tale versante è costituito dalle rocce, prevalentemente calcaree e subordinatamente calcareo-marnose, del substrato carbonatico (Miocene inferiore-Giurassico). Tali terreni sono delimitati, alla base del versante (alla quota di circa 770 m s.l.m.) da un importante faglia bordiera, nota come faglia di M. Pettino, immergente verso la depressione tettonica con un rigetto di circa 1000 m. Il blocco ribassato, a sud della faglia, costituisce il basamento geologico profondo dell'intera conca aquilana, sepolto da una coltre di depositi fluvio-lacustri, alluvionali e di versante del Quaternario. Tale substrato affiora localmente in aree di limitata estensione, come in località Sfrizzoli (tra Pettino e Cansatessa) e al di là del F. Aterno a Nord di Coppito. La faglia bordiera genera uno spettacolare versante di faglia, la cui genesi ed evoluzione geomorfologia sono legate all'attività della faglia stessa. Tale faglia è classificata, dalla letteratura scientifica, come "attiva" e il suo stato di attività è testimoniato anche dalla dislocazione dei depositi presenti nella zona pedemontana del versante; infatti scarpate di faglia interessano detriti di falda ed conoidi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene. Nel caso di riattivazione della faglia si può avere il movimento dei blocchi di tetto e letto, tali azioni sismiche possono interessare anche l'area oggetto dell'intervento.

Alla base del versante è presente un'ampia fascia detritica con conoidi più o meno coalescenti, costituita da detriti di falda e dalla copertura detritico-colluviale, consistente in alternanze di ghiaie, sabbie e argille variamente intercalate. Dalla letteratura scientifica risulta che tale fascia detritica, il cui spessore non è definibile dal rilevamento di campagna, poggia nella parte inferiore sui depositi fluvio-lacustri del Pleistocene medio-superiore, mentre nella parte alta direttamente sul substrato calcareo. Essendo presenti sul versante a monte numerosi impluvi che in passato veicolavano enormi quantità di materiale detritico, è probabile la presenza all'interno della fascia detritica di paleocanali riempiti di materiale con caratteristiche anche differenti dal quelle del contesto.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

Dalla visione della carta geologica, a scala 1:6.000, redatta dall'Università di L'Aquila all'interno dello studio di Microzonazione Sismica dell'area aquilana, promosso e coordinato dal Dipartimento della Protezione civile insieme alla Regione Abruzzo, visionabile sul sito www.protezione.civile.it, e di cui uno stralcio è riportato in figura 6 risulta che l'assetto stratigrafico generale dell'area è, dal più recente al più antico, il seguente:

- **Limi di via Milonia**: formazione prevalentemente limoso-argillosa bruna con talora piccoli minerali vulcanici rimaneggiati per uno spessore di oltre 10-25 m. Il loro comportamento geologico-tecnico è coesivo (Pleistocene sup.).

- **Depositi di conoide del Monte Pettino**: Si tratta di ghiaie calcaree da addensate a ben addensate, talora da debolmente a ben cementate con stratificazione piano-parallela e immersione coincidente con quella del pendio. Nella parte prossimale sono presenti clasti calcarei eterometrici con diametri compresi tra 2 e 10 cm, non mancano elementi di maggiori dimensioni (fino a oltre 30 cm). In genere i clasti sono piuttosto immaturi (da subangolosi a subarrotondati) e le ghiaie che si presentano di aspetto caotico non strutturate sono sia clasto- che fango-sostenute; le prime presentano un grado di cementazione variabile, le seconde sono caratterizzate da una matrice sabbiosa piuttosto grossolana di colore rosato e ocraceo-giallognolo che caratterizza in generale le parti stratigrafiche più alte. Nella parte intermedia delle conoidi gli episodi fango-sostenuti sono più frequenti e la matrice diventa limoso-sabbiosa, mentre i clasti subarrotondati aumentano in percentuale. Inoltre le ghiaie sono talora organizzate in spesse bancate talora distinte per differente granulometria, separate da livelli di sedimenti di suolo bruno-rossastri, da superfici erosive o di tipo cut and fill. Nella zona distale le ghiaie e le sabbie si interdigitano con i sedimenti della pianura alluvionale dell'Aterno quali argille e limi sabbiosi e argillosi.

Si rinvengono intercalati alle ghiaie, sia in affioramento che in sondaggio, livelli metrici di brecce calcaree ben cementate talora carsificate e differenti livelli di tephra: alcuni sabbiosi con biotite, altri limosi con pirosseni di colore bruno. Inoltre in tutte le porzioni della fascia pedemontana affiora un deposito (tephra misto pedogenizzato) spesso fino a 40-50 cm ricco di minerali vulcanici e con minuti clasti calcarei. Le quote degli affioramenti vanno da circa 750 m a 650 m. Il loro comportamento geologico-tecnico è variabile da granulare a coesivo e da cementato a litoide (Pleistocene medio-superiore).

- **Brecce di S. Giuliano:** Brecce calcaree a frammenti irregolari metrici clasto-sostenute, a matrice rosata, ben cementate e di aspetto massivo; affiorano nel pendio del M. Pettino da Case Castelvecchio al convento di S. Giuliano, appoggiate in forte discordanza sulla formazione mesozoica della Maiolica; sono in contatto tettonico con le Brecce dell'Aquila (Pleistocene medio-superiore). Il loro comportamento geologico-tecnico è granulare.

- **Brecce dell'Aquila:** brecce da cementate a scarsamente cementate e ghiaie ben addensate talora anche matrice-sostenute che costituiscono un corpo geologico ben definito, grosso modo tabulare, dello spessore da alcune decine di metri a un massimo di 50 m. I clasti sono calcarei, calcareo-marnosi e subordinatamente silicei estremamente eterometrici (dal centimetro fino a grossi blocchi che possono raggiungere dimensioni metriche); la struttura delle brecce e delle ghiaie è caotica e di aspetto massivo; i clasti sono da subangolosi a subarrotondati tra loro in parte giustapposti (brecce clasto-sostenute), in parte isolati in abbondante matrice (brecce fango-sostenute) generalmente limoso-sabbiosa di natura calcitica con un colore variabile dal giallastro, al grigiastro, al verdognolo. A seguito di processi di natura secondaria le brecce si presentano con un grado di cementazione estremamente variabile. All'interno di uno stesso affioramento queste possono assumere un aspetto francamente lapideo oppure presentarsi dotate di una scarsa coesione, dovuta alla matrice interposta tra i clasti (Pleistocene medio).

- **Maiolica detritica e Calciruditi a Fucoidi:** Calcari fango sostenuti biancastri e grigi in strati sottili e medi con selce nera a cui si intercalano orizzonti intra- e bio-clasti e tipici packstones grigi a ooidi (Maiolica detritica). Calcareniti e calciruditi bioclastiche in strati spessi talora parzialmente ricristallizzati con selce, orbitoline e rudiste (Calciruditi a fucoidi) (Cenomaniano p.p. – Titonico sup.).

- **Corniola e Calcari diasprini detritici:** Calcari fango – sostenuti in strati sottili con liste di selce e intercalazioni calcarenitiche. Tale formazione costituisce il tetto della faglia del M. Pettino che ivi risulta fortemente cataclasata e dolomizzata (Lias medio).

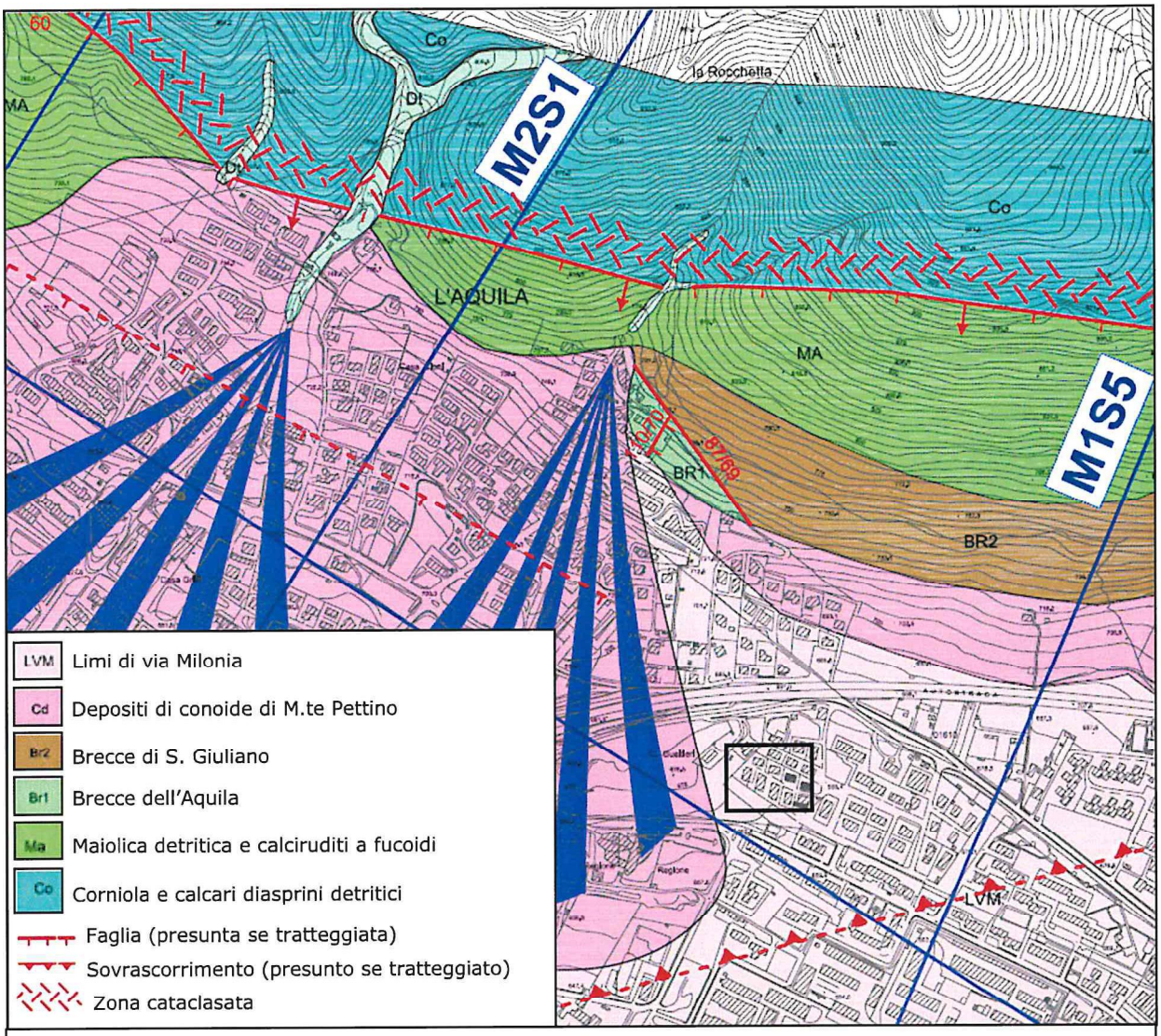


Figura 6 – Stralcio carta geologica della Macroarea 2 (Pettino-Cansatessa) redatta dal DPC (Studi MSZ, 2009)

Gli edifici in esame ricadono all'interno della formazione dei Limi di Via Milonia (Pleistocene superiore) (figura 6), che affiorano nella zona compresa fra l'autostrada A24 il fosso di S. Giuliano e la S.S. n. 80, da quota 700 m a 650 m s.l.m., in una zona poco acclive che si differenzia morfologicamente da quella delle conoidi del M. Pettino. Si tratta probabilmente della porzione distale dell'edificio della conoide, caratterizzata dalla deposizione di sedimenti pelitici quali sabbie medie, fini, silt e argilla. Costituisce il terreno di fondazione degli edifici oggetto dell'intervento in progetto.

Lo spessore di questi limi supera in alcuni punti i 30 m di spessore e tende a ridursi procedendo verso monte. Nella zona esaminata anche grazie alla disponibilità di indagini effettuate da altri professionisti (DH2-DH3-DH4, Dott.ssa Geol. Adele Agnelli; DH1, Dott. Geol. Gianluca Fugaro; DH7 DPC, Studi di microzonazione sismica), è stato possibile ricostruire la geometria del deposito (figura7).

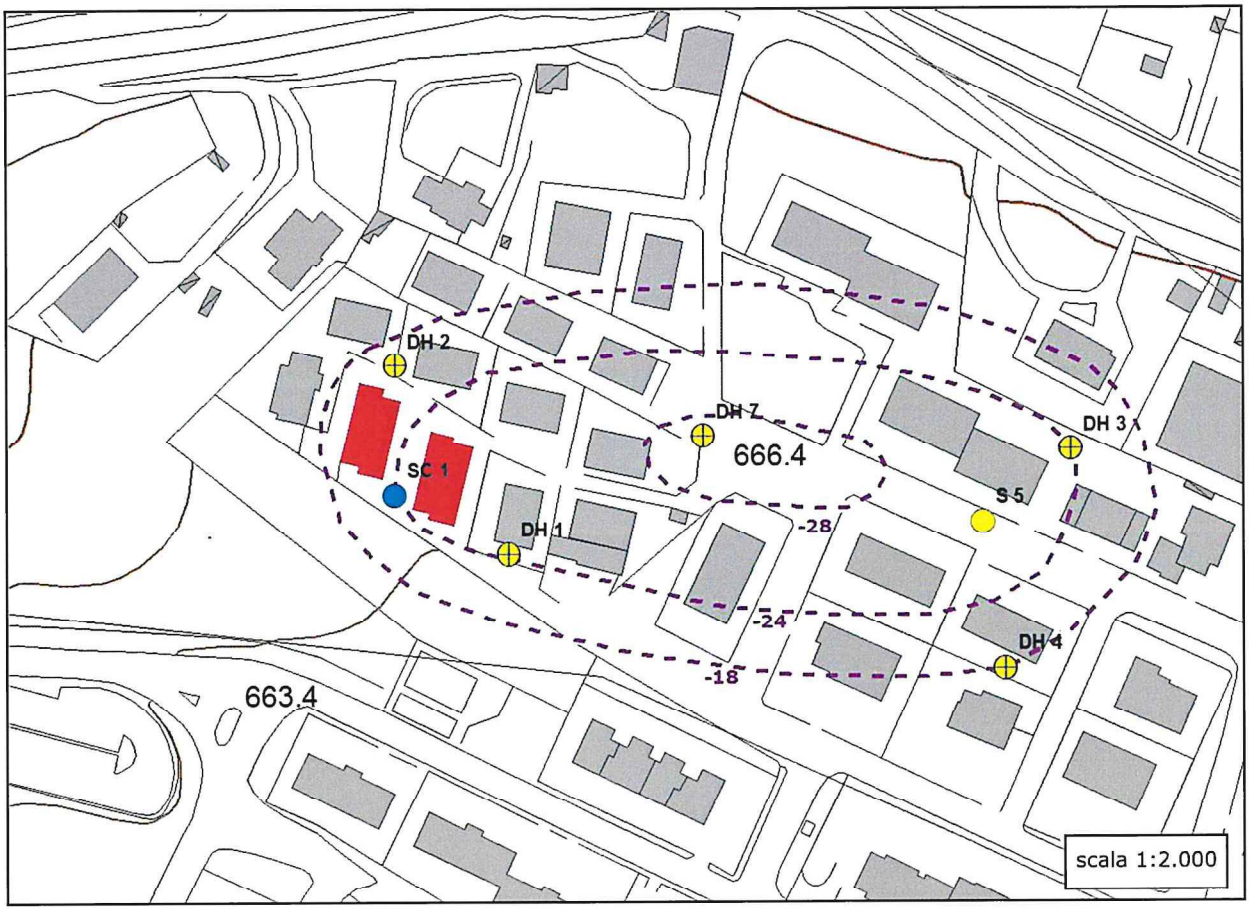


Figura 7 – Andamento del letto del deposito dei "limi di via Milonia"

Sulla base di tali dati si identifica un canale il cui depocentro è ubicato poco ad est del sito in esame, in prossimità del sondaggio DH7.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'Appennino centrale, la cui ossatura è costituita da una catena a falde e sovrascorrimenti vergenti a NE, formatasi a partire del Miocene superiore in relazione all'apertura del Mar Tirreno, è stato sottoposto, tra il Pliocene superiore e il Quaternario, a un regime geodinamico estensionale responsabile fra l'altro della nascita di una serie di conche intramontane, la cui evoluzione è testimoniata dall'intensa sismicità. Queste depressioni, condizionate dall'attività di faglie distensive principali orientate NW-SE ed E-W, immergenti a SW, e connesse con altre di trasferimento orientate NE-SW, sono state colmate da una spessa sequenza di depositi detritici clastici continentali di ambiente lacustre, fluviale e di versante. Sono bordate da estesi sistemi montuosi calcarei che presentano alta permeabilità per fessurazione e carsismo e che quindi vanno a rappresentare, dal punto di vista idrogeologico, gli acquiferi regionali principali. I massicci sono bordati oltre che dai depositi di riempimento delle conche anche dalle formazioni flyschoidi a bassa permeabilità che fungono da aquiclude degli acquiferi carsici. Questi ultimi contengono le falde regionali che alimentano a bassa quota sporadici gruppi di sorgenti ad

elevata portata che si generano per affioramento della falda basale. I deflussi sotterranei sono guidati dalla disposizione e dall'andamento altimetrico del limite di permeabilità fra il complesso carbonatico (acquifero regionale) e quello terrigeno dei flysch tamponanti (aquiclude regionale). La presenza di faglie principali all'interno dei massicci carsici provoca l'accostamento di litologie a permeabilità diverse e la presenza di rocce di faglia che possono favorire o meno il drenaggio del deflusso sotterraneo, in funzione dello spessore, del grado di cementazione e della granulometria della fascia cataclastica. I depositi clastici di riempimento delle conche presentano valori di permeabilità più bassi di quelli dei massicci carsici, ma non trascurabili almeno in relazione alla loro trasmissività e capacità di immagazzinamento. Meno evidente è il contributo delle strutture carbonatiche meridionali, qui costituite dai litotipi del Complesso calcareo – marnoso, in accordo con il loro assetto orografico tettonico e litologico.

Dal punto di vista idrogeologico l'area ricade nel Complesso Idrogeologico dei depositi detritici di limitato spessore (Fig. 8), caratterizzati da notevole eterogeneità e da spessore limitato. L'idrografia superficiale è rappresenta dal Fiume Aterno.

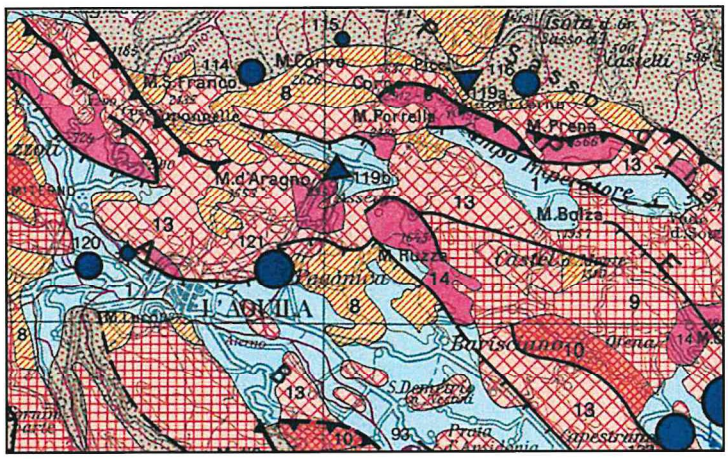


Figura 8 – Stralcio Carta Idrogeologica dell'Italia Centale (Boni et al., 1986)

Per quanto concerne l'idrogeologia locale, essa risulta strettamente legata alla tipologia dei depositi affioranti. In particolare nell'area dell'intervento affiorano depositi limoso argillosi, caratterizzati da una permeabilità da media a bassa in ragione della + o - abbondante percentuale di frazione fine.

I pozzi presenti nell'area (presenti a quote comprese tra 570 e 590 m s.l.m.) captano l'acquifero carbonatico ad una profondità di circa 230 m s.l.m., con falda in pressione che risale fino a circa a 200 m nel settore NW.

Il sondaggio effettuato per la redazione del presente lavoro è risultato anidro ad una profondità di 25 m dal p.c..

Pertanto sulla base di tali dati e non essendo presenti sorgenti nelle immediate vicinanze, anche in ragione dell'assetto stratigrafico sopra delineato, si ritiene di poter escludere nel sito d'intervento la presenza di una falda significativa entro i primi 30 m di profondità dal p.c., ma non si esclude la formazione di falde effimere stagionali legate alle precipitazioni meteoriche.

RELAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL PROFILO DI SOTTOSUOLO

CAMPAGNA INDAGINI

Al fine di definire il modello geologico, sismico e geotecnico del sito, nel mese di dicembre 2013 è stata condotta una campagna indagini consistita nell'esecuzione di indagini sismiche di superficie e di indagini geotecniche. In particolare sono stati effettuati:

- N. 2 stendimenti sismici tipo M.A.S.W.
- N. 1 registrazione di microtremori (HVSR)
- N. 1 prova penetrometrica DPSH
- N.1 sondaggio geognostico spinto a 25 m di profondità dal p.c.
- N. 5 prove SPT in foro di sondaggio.

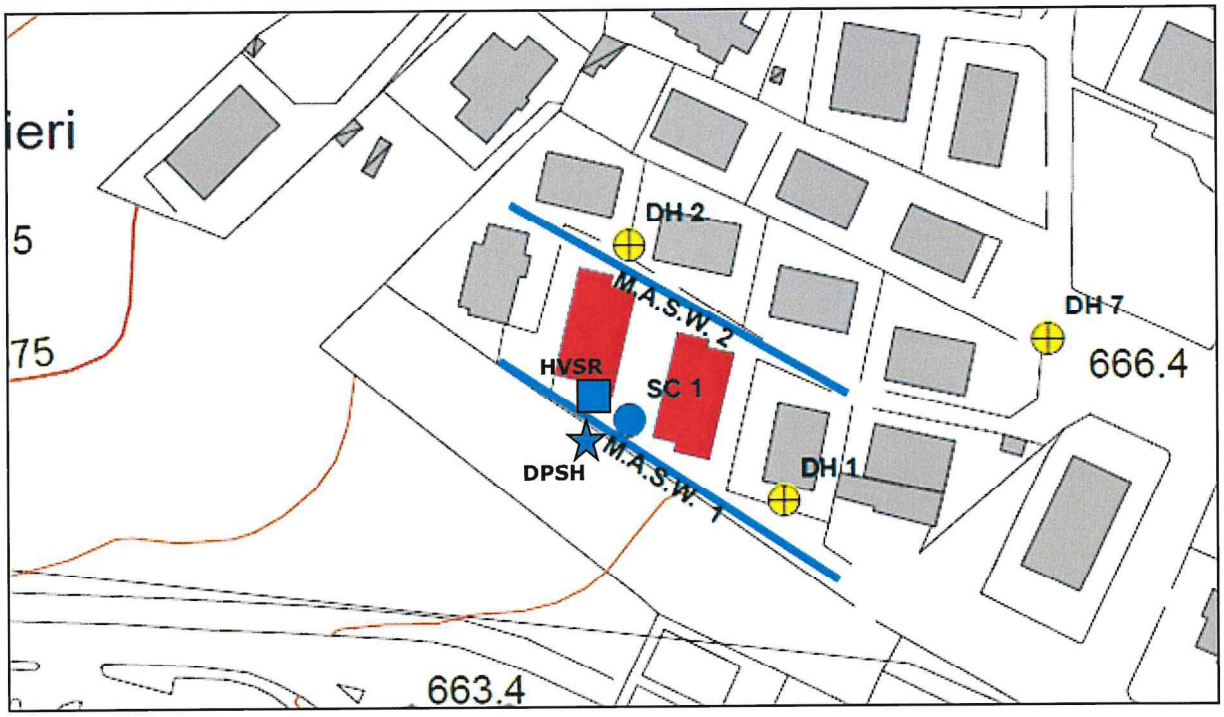


Figura 9 – Carta delle Indagini scala 1:1.000 (in blu indagini effettuate per il presente elaborato; in giallo indagini effettuate per altre ditte)

INDAGINE SISMICA

Per definire il modello sismico di sottosuolo rappresentativo del sito oggetto dell'intervento è stata eseguita in adiacenza all'aggregato edilizio in esame, dalla ditta GEOLOGICA snc di Roma, una indagine sismica consistita in due prove MASW, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione e una registrazione di microtremori (HVSR), per la determinazione delle frequenze fondamentali di risonanza del terreno del sito d'indagine.

Per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata, alla modalità d'esecuzione delle misure sperimentali, all'elaborazione delle stesse, si rimanda ai relativi report che costituiscono parte integrante del presente lavoro.

Indagine sismica di tipo MASW

È stata eseguita una indagine sismica tramite 2 stendimenti M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), la cui ubicazione è riportata in figura 10.

Gli scopi di tali indagini sono riassumibili nel seguente modo:

1. definizione delle velocità di propagazione delle onde P ed S;
2. calcolo del parametro Vs30 (D.M. 14/01/2008)-

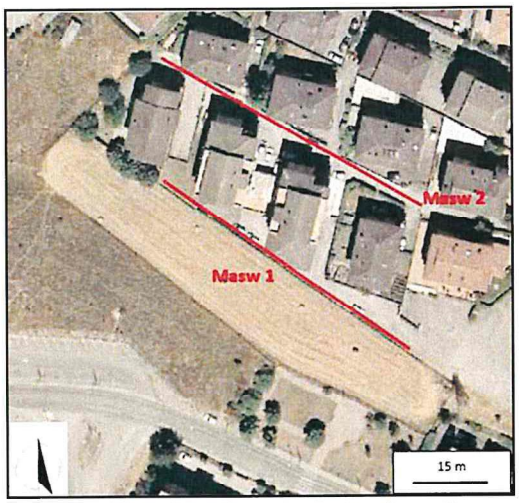


Figura 10 – ubicazione degli stendimenti

Le due prove MASW sono state acquisite attraverso stendimenti lunghi 62,5 m e con 24 geofoni, posizionati a una distanza intergeofonica di 2,5 m.
I risultati dell'indagine mostrano un profilo delle velocità Vs caratterizzato da un aumento progressivo di velocità con la profondità (figura 11). Questo profilo di velocità è assimilabile ad una sequenza stratigrafica caratterizzata da depositi limoso-argillosi di copertura poggianti su depositi sabbioso-ghiaiosi a diverso grado di addensamento. Di seguito è riportata una schematizzazione del profilo di velocità ottenuto.

M.A.S.W. 1		M.A.S.W. 2	
Profondità (m)	**Velocità Vs (m/sec)**	**Profondità (m)**	**Velocità Vs (m/sec)**
0,0-4,9	248	0,0-5,0	251
4,9-14,8	274	5,0 – 15,0	301
14,8-30,0	281	15,0 - 30,0	310

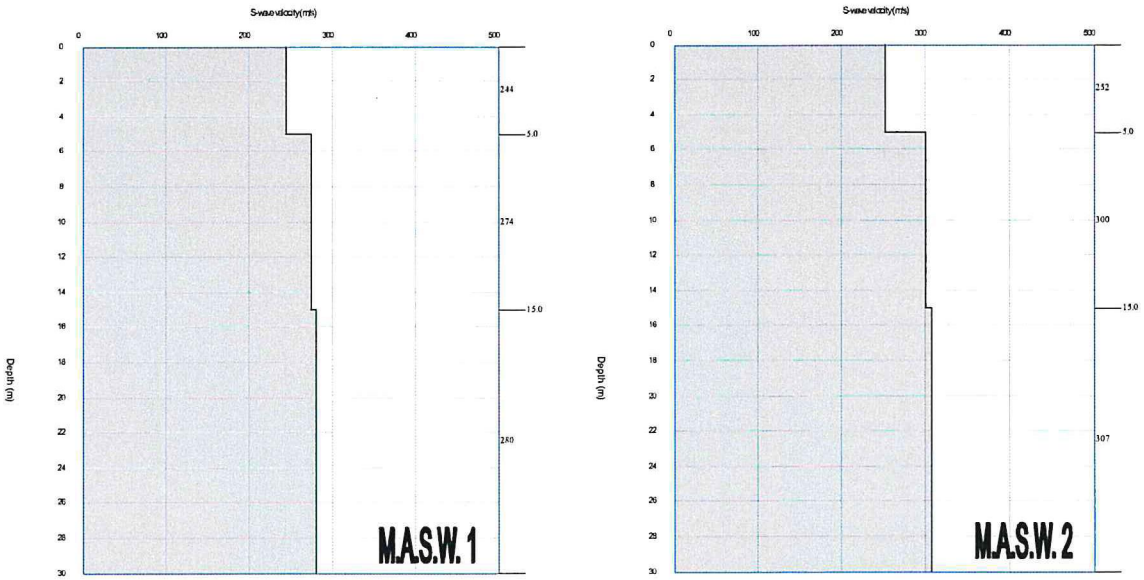


Figura 11– Variazioni delle onde di taglio Vs con la profondità.

Indagini sismiche con registrazione di microtremori in campo libero

Al fine di individuare la frequenza fondamentale di risonanza dei terreni che costituiscono l'area di sedime, è stata eseguita un'indagine sismica con registrazione di microtremori in campo libero, la cui ubicazione è riportata in figura 12. L'acquisizione dati è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale compatto, TROMINO Micromed S.p.a., dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, che permettono la registrazione del microtremore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 200. La durata della misurazione è stata di 16 minuti, l'analisi è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz e intervallo di campionamento di 20 secondi ed è stata orientata la componente longitudinale N-S verso nord al fine di valutare eventuali amplificazioni polarizzate.

Fig. 12: Ubicazione del punto di misura su stralcio di ortofoto.

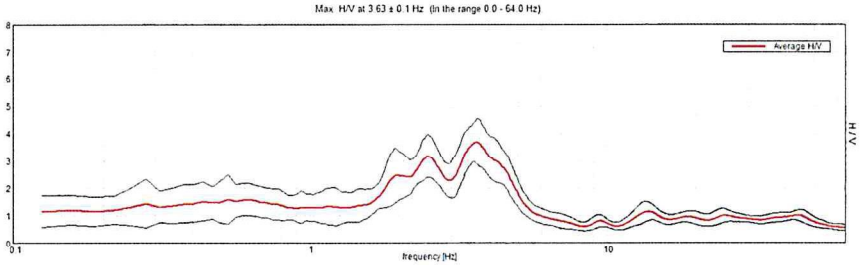


Fig. 13. Diagramma H/V relativo alla misura di microtremore

Risultati Indagine Sismica

Il profilo di Vs30, derivante dall'indagine di sismica tipo MASW, mostra che i terreni costituenti il sottosuolo investigato appartengono ad ***alla categoria di suolo C.*** Si specifica che il valore di Vs30 è stato calcolato dall'attuale piano campagna.

Indagine	Profondità di calcolo	Vs30	Categoria di suolo
MASW 1	Attuale piano campagna	272 m/sec	C
MASW 2	Attuale piano campagna	295 m/sec	C

Il grafico H/V delle registrazione (fig. 13) è caratterizzato dalla presenza di un picco alla frequenza di 3.63 Hz.

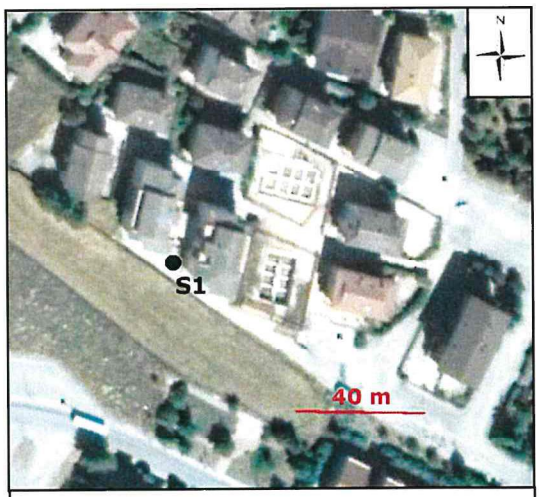
Analisi	Max H/V (Hz)	f_0	A_0	DIRECTIONAL H/V	Percentuale della traccia analizzata (%)
T1	3.63 ± 0.1 Hz	3.63 ± 0.1 Hz	3.71	E-W	81

Per ulteriori chiarimenti sulla metodologia adottata e sui dati è possibile fare riferimento alla relazione sismica.

INDAGINE GEOGNOSTICA

Sondaggio

È stato effettuato 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità di 25 m dal p.c. dalla ditta GEO L'AQUILA s.r.l..



Coordinate geografiche:
Lat. N 42° 21' 59,6"
Long. E 13° 22' 136,2"

Il sondaggio denominato S1 è stato eseguito a partire dalla quota di 666 m s.l.m., nel sondaggio per una profondità di 25 m dal piano campagna sono stati riscontrati i litotipi sotto indicati:

- 0,0-0,60 m: RIPORTO a granulometria grossolana
- 0,60-23,80 m: LIMO ARGILLOSO a tratti debolmente sabbioso di colore bruno, bruno rossastro e marrone. Presenti livelli con

inclusi frammenti calcarei spigolosi; più numerosi nella parte bassa dello strato.

- 23,80-25,0 m: FRAMMENTI CALCAREI in matrice sabbioso-limosa di colore avana

Prove Penetrometriche SPT

Nel corso del sondaggio S1 sono state eseguite 5 prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) direttamente in foro. Tale prova consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione nel terreno di una punta metallica, infissa nel terreno mediante percussione di un'apposita testa battente lasciata cadere da un altezza di 70 cm. La procedura operativa consiste nel misurare il numero di colpi di maglio necessari a far avanzare la punte per tre tratti, ciascuno della lunghezza di 15 cm, contando i colpi necessari per far avanzare lo strumento. Nei calcoli viene considerata la somma dei valori relativi ai secondi e terzi avanzamenti e l'indice misurato viene indicato con il simbolo NSPT.

$$N_{SPT}=N_2+N_3$$

Le cinque prove penetrometriche sono state eseguite alla profondità di 3,00 m, 6,00 m, 9,00 m, 12,00 m e 15,00 m dal p.c., il numero di colpi (N_{SPT}) necessari all'avanzamento della punta in tratti successivi di 15 cm sono riportati, per ciascuna prova, nella tabella 5:

Sondaggio	Profondità di prova (m)	N_1 Colpi/15 cm	N_2 Colpi/15 cm	N_3 Colpi/15 cm	N_{SPT}
S1	3,00	4	4	6	10
	6,00	3	4	5	9
	9,00	4	6	6	12
	12,00	6	6	7	13
	15,00	6	8	10	18

Risultati prove penetrometriche

Prove Penetrometriche Superpesanti

Per la caratterizzazione geotecnica dell'area di sedime dell'edificio in esame è stata eseguita un'ulteriore prova penetrometrica dinamica continua con penetrometro superpesante (DPSH) del tipo Meardi, dalla ditta di prospezioni geognostiche GEO LOGICA snc di Roma, la cui ubicazioni è riportata in figura 14.

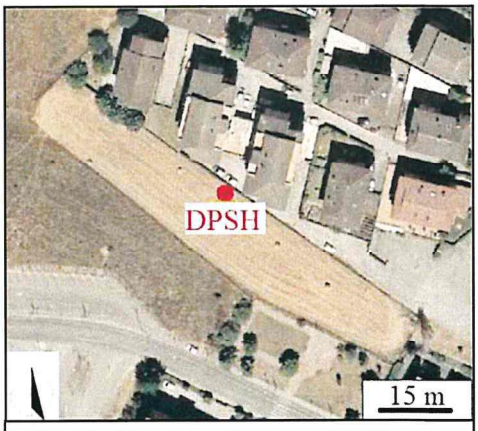


Fig.14. Ubicazione indagine DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infissione di una punta d'acciaio nel terreno mediante aste sollecitate in testa da una massa battente di peso di 73 Kg che cade con frequenza standard da

un'altezza di 0,75 m. Essa permette di caratterizzare la natura di un orizzonte investigato mediante un campo di utilizzo molto vasto. Tramite la misura del numero di colpi per avanzamento di 30 cm della punta si ottiene un profilo continuo di resistenza. In particolare attraverso la prova penetrometrica si ottengono le seguenti utili indicazioni: spessore dello strato caratterizzato da omogeneità geomeccanica; consistenza e/o addensamento del terreno, sua attitudine a ricevere determinati carichi e capacità portante di massima.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione ed il relativo numero di colpi (N_{SPT}) necessari all'avanzamento della punta in tratti successivi di 30 cm sono riportati nei certificati di prova allegati al presente elaborato.
La prova penetrometrica a ha raggiunto la profondità dal p.c. di 11,10 m.

Risultati prove geotecniche

Utilizzando le elaborazioni delle indagini sismiche e geognostiche sono stati calcolati con l'utilizzo di relazioni empiriche i parametri fisico-meccanici dei terreni.
La ricostruzione del modello geologico evidenzia che le fondazioni degli edifici esaminati interagiscono principalmente con il terreno limoso argilloso a carattere coesivo.

Parametri fisici
Il peso di volume saturo è stato individuato in funzione della Vs dello strato e della profondità di metà strato con la relazione: $\gamma = 8{,}32 \log Vs - 1{,}61 \log z$ (Mayne2006).
L'angolo di attrito "φ" è stato stimato sulla base dei parametri ottenuti, dei dati provenienti da altri lavori, e dalla letteratura, non essendo possibile estrapolare questo dato dalle prove eseguite.

Parametri di resistenza
Il valore di coesione non drenata "Cu", è stato individuato tramite la relazione di Sanglerat:
c (kg / cmq) = 1,00 NSPT valida per argille limose.

Parametri di elasticità per piccole deformazioni
Il modulo di taglio a piccole deformazione G_0, non rappresentativo degli stati deformativi dei terreni sottoposti ai carichi di progetto e dal quale sono stati successivamente calcolati i parametri elastici alla medie e elevata deformazioni, è stato calcolato a partire dalla velocità delle onde di taglio Vs e della densità sismica del terreno $\rho = \gamma_{sat}/g$ (g accelerazione di gravità) tramite la formula:

$$G_0 = \rho \, Vs^2$$

I parametri geotecnici medi del deposito limoso presente nel sito d'intervento, calcolati o derivanti da altri studi, sono riassunti nella seguente tabella.

Vs m/s	N_{SPT} medio	γ t/m³	Φ °	Cu Kg/cm²	Ed Kg/cm²	G Kg/cm²
280	**12**	**1.82**	**25,3**	**1,2**	**60**	**1444,21**

caratteristiche fisico- meccaniche dei terreni a comportamento coesivo

Dalla prova penetrometrica (allegato 6), derivano i seguenti parametri:

m dal p.c.	litologia	Densità relativa	Cu (kg/cm²)	γ_{sat} (t/m³)	W (%)	e
0,0-2,7	Strato geotecnico 1	18,3	0,31	1,83	39	1,061
2,7-7,8	Strato geotecnico 2	44,0	1,00	1,97	28	0,750
7,8-11,1	Strato geotecnico 3	89,9	3,94	2,54	04	0,103

e (-) = indice dei vuoti

W % = contenuto d'acqua

Cu (kg/cm²) = coesione non drenata

Ysat (t/m³) = peso di volume saturo del terreno

MODELLO GEOLOGICO

Il riconoscimento delle formazioni, i dati derivanti dalle indagini sismiche in sito, la disponibilità di dati bibliografici molto dettagliati e di altre indagini eseguite nell'area, ha consentito di produrre un modello geologico in grado di sintetizzare l'assetto dell'area.

Sono stati individuati tre strati:

- **STRATO 1**: terreno di copertura e/o riporto caratterizzato da frammenti di laterizio e clasti grossolani in matrice sabbioso-limosa bruna.
- **STRATO 2**: **argilla limosa debolmente sabbiosa** di colare bruno rossastro. All'interno di questo strato sono presenti minuti frammenti calcarei; al contatto con lo strato sottostante aumenta la frazione sabbiosa, indice di un ambiente sedimentario a maggiore energia.
- **STRATO 3**: ghiaie e sabbie immerse in più o meno abbondante matrice limoso-sabbiosa a volte pseudocementate denominate in letteratura "**Brecce dell'Aquila**".

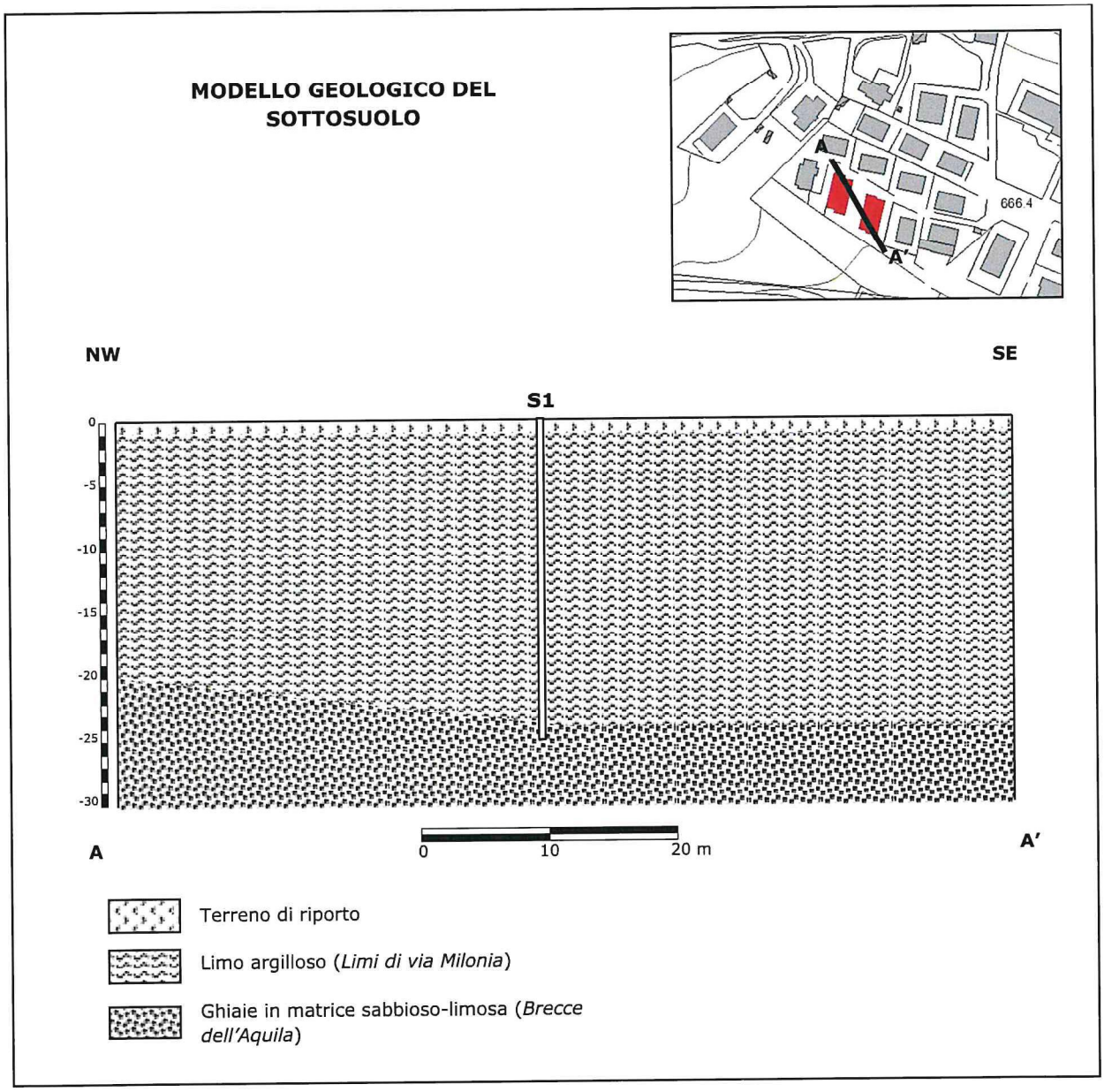


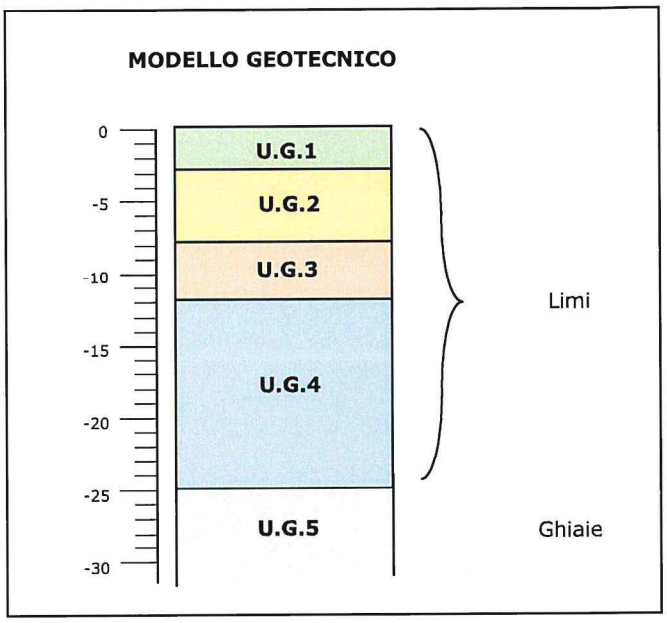
Fig. 15. Modello geologico

MODELLO GEOTECNICO

Le diverse indagini effettuate nel sito in esame hanno evidenziato una geometria piuttosto regolare caratterizzata dalla presenza di depositi di riempimento rappresentati da limi argilloso-sabbiosi di colore bruno-rossastro, noti in letteratura come "limi di via Milonia". Le prove effettuate su tali materiali portano ad operare una suddivisione all'interno di tale

formazione, tenendo conto dell'alterazione della porzione superficiale e del miglioramento delle qualità geotecniche con l'aumento della profondità e della compattazione del materiale. Pertanto i valori nominali dei parametri geotecnici di seguito riportati faranno riferimento a 4 distinte unità geotecniche.

In linea con quanto previsto dalle nuove NTC, al fine di poter eseguire le verifiche geotecniche relative alle condizioni di tipo GEO, vengono proposti i valori nominali medio - cautelativi dei terreni, desunti dall'insieme delle indagini svolte e corretti alla luce della bibliografia specialistica.



CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Parametri nominali medio cautelativi					
Unità geotecnica	**Profondità (m)**	***Φ***	***c'***	***Cu***	***γ_{sat}***
U.G.1	**0-3**	25	0,01	0,31	1,8
U.G.2	**3-8**	25	0,04	1,00	1,8
U.G.3	**8-12**	25	0,05	1,30	1,9
U.G.4	**12-25**	25	0,07	1,80	2,0
U.G.5	**25-**	35	-	-	2,2

Φ'= angolo di attrito efficace

c' (Kg/cm²) = Coesione drenata

γ_{sat}, (t/m³)= peso di volume saturo del terreno

Cu (kg/cm²)= coesione non drenata

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

Nel 2009 il 6 Aprile, un terremoto di Ml=5.8 (Mw= 6.3) ha colpito il settore appenninico aquilano (Valle dell'Aterno). Nei giorni successivi il 7 e il 9 Aprile due ulteriori eventi, rispettivamente con Ml=5.3 e Ml=5.1, hanno insistito sull'area. In particolare, la replica più forte ha interessato il settore meridionale della Media Valle dell'Aterno, in prossimità dei centri di San Martino d'Ocre, Fossa e San Felice d'Ocre. L'evento del 9 Aprile è stato invece localizzato più a nord presso Capitignano nelle immediate vicinanze del Lago di Campotosto, lungo una struttura di più limitata estensione. Fino ad oggi, la distribuzione in pianta delle repliche sottende un'area di oltre 50 km in direzione NW-SE ed ampia circa 10 km. La Valle dell'Aterno è interessata da diverse faglie attive ad andamento appenninico quali: Faglia di Paganica, responsabile dell'evento distruttivo del 6 aprile, Faglia di Monte Stabiata, Faglia di Colle Praticciolo, Faglia del Macchione, Faglia del Pettino, Faglia di Monte Marine, Faglia Rojo – Canetra e dintorni e faglie antitetiche NE-immergenti quali: Faglia di Bazzano, Faglia di Monticchio-Fossa e Faglia di Villa S. Angelo - Tione A. La faglia responsabile dell'evento distruttivo del 6 aprile è quella di Paganica, lunga circa 15 km, con evidenze superficiali per un tratto di oltre 3 km. L'area del Comune di L'Aquila, nel suo passato storico è stata caratterizzata da numerosi e tragici eventi sismici e recentemente dallo sciame sismico culminato nel terremoto del 6 aprile 2009. Tramite il Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI), Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV), indicando come area di riferimento L'Aquila.

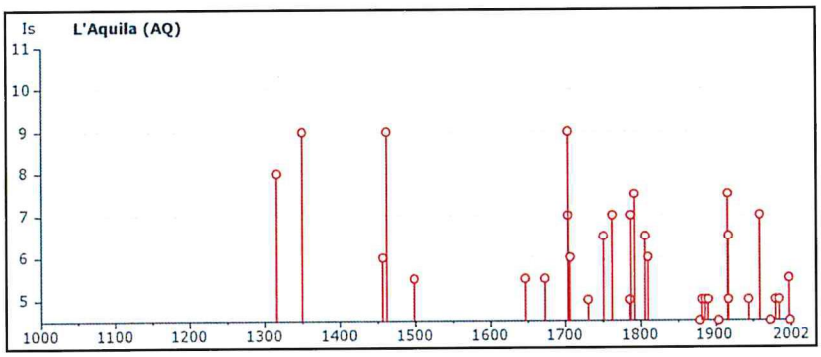


Figura 16 - Grafico illustrante la storia sismica del comune di L'Aquila (AQ) dal 1300 al 2002. Sulle ascisse sono riportate le intensità sismiche (Is) dei terremoti rilevati, mentre sulle ordinate sono riportati i riferimenti temporali espresso in anni

Con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008, il territorio Italiano è stato suddiviso in aree omogenee per il rischio sismico.

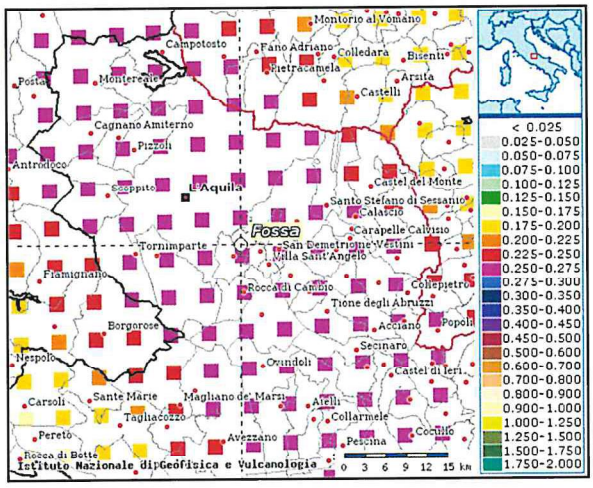


Figura 17 - Mappa interattiva di pericolosità sismica per la zona del Comune di Fossa, i colori della leggenda indicano le diverse accelerazioni del suolo
(http://esse1-gis.mi.ingv.it)

Il criterio adottato per tale suddivisione non è più legato a rigidi confini amministrativi come accadeva in passato, ma alla presenza di aree sismogenetiche attive, introducendo cosi un nuovo metodo di calcolo che considera la maglia elementare di riferimento come più preciso parametro per la classificazione sismica del territorio, in quanto tiene conto delle caratteristiche specifiche e consente di meglio stimare le accelerazioni di picco al suolo (ag), i fattori amplificativi degli spettri (Fo) ed i periodi Tc relativi a ciascun possibile sito, ossia i tre parametri da cui discende lo spettro di risposta usato nella determinazione delle azioni sismiche.

Quindi in base alle Norme Tecniche l'azione sismica di riferimento è definita per ogni sito sulla base delle sue coordinate. In figura 17 si riporta per la regione Abruzzo, il valore di ag su griglia con passo di 0,05°, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli con Vs_{30}>800 m/s.

Nel caso specifico del sito in esame, applicando il software GEOSTRU sas alla categoria di suolo e alla categoria topografica, si ottengono i valori di ag, in condizioni di terreno libero, per i diversi stati limite considerati ai sensi delle NTC 2008. Tale procedura è riportata per esteso nel report allegato. Per il sito in esame, individuato dalle coordinate (sistema WGS84) Lat: 42,3667100° e Log: 13,3767700°, i parametri sismici e spettri di risposta, per una struttura di classe II e vita nominale di 50 anni (tab. 2.4.1 e 2.4.2, D.M. 14 gennaio 2008), determinati con GeoStru PS (http://www.geostru.com/geoapp), sono riportati in tabella 1 e tabella 2.

Stato limite	Tr [anni]	Ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,400	0,272
SLD	50	0,104	2,332	0,281
SLV	475	0,261	2,363	0,346
SLC	975	0,334	2,400	0,364

Tabella 1- Valori dei parametri ag, Fo, Tc per i periodi di ritorno TR di riferimento considerando una classe d'uso dell'edificio *II (*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti ...*)* Cu = 1 e una vita nominale 50

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,024	0,037	0,097	0,114
kv	0,012	0,019	0,049	0,057
Amax [m/s²]	1,158	1,527	3,400	3,996
Beta	0,200	0,240	0,280	0,280

Tabella 2-Coefficienti sismici stabilità pendii e fondazioni

CONCLUSIONI

Il presente studio è stato suddiviso in due relazioni, una prima geologica in cui sono riportati gli inquadramenti geologico, geomorfologico e idrogeologico ed una seconda di caratterizzazione sismica e parametrizzazione geotecnica dei litotipi interessati dalle opere.
In riferimento a quanto emerso nei paragrafi precedenti, la situazione dell'area dal punto di vista geologico e geognostico può essere riassunta nei seguenti punti.

Contesto geografico, geologico e tettonico

Gli edifici in studio sono ubicati nel Comune di L'Aquila, in zona Pettino. La stratigrafia è stata ricostruita sulla base del rilevamento e del sondaggio geognostico realizzato. Al di sotto del materiale di riporto sono presenti materiali a comportamento coesivo identificati come "Limi di via Milonia".

Morfologia e stabilità geomorfologica

Da un punto di vista morfologico il sito è posto in un'area antropizzata, caratterizzata da una blanda pendenza ricadente nel contesto di una zona pedemontana di raccordo con la piana alluvionale sottostante. Il rilevamento ha escluso problemi connessi a fenomeni gravitativi. In base alle condizioni topografiche il sito ricade, ai sensi della tab. 3.2.VI delle NTC 2008, nella Categoria Topografica T1.

Idrografia superficiale e profonda

Al di sotto del sito non è stata riscontrata la presenza di una falda acquifera superficiale in grado di interagire in fase statica o dinamica con la struttura in progetto, come evidenziato dal sondaggio S1. Ciò permette di omettere la verifica alla liquefazione ai sensi della condizione 4 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle D.M. 14.01.2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni 2008.*

Indagini sismiche e categorie di suolo

Ai sensi del O.P.C.M. 3274 e del D.M. 14.01.2008, il terreno di sedime dell'aggregato è attribuito alla **Categoria di Suolo C.** Dall'analisi dei microtremori HVSR è risultato che la **frequenza fondamentale di risonanza del terreno d'indagine** è di 3.63 ± 0.1 Hz, con componente orizzontale dominante N-S.

Microzonazione sismica

Dalla Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica di Livello 3 (Macroarea 2 Pettino-Cansatessa), risulta che il sito in esame è esterno alla fascia di rispetto per la faglia attiva e capace di Pettino. Per la fascia di territorio a cui appartiene il sito è stato calcolato un fattore di amplificazione FA=1,8.

Il Tecnico Incaricato

L'Aquila, gennaio 2014

Dott. Geol. Silvio Tatoni

Dott. Geol. SILVIO TATONI ORDINE DEI GEOLOGI

BIBLIOGRAFIA

- Beneo E. (1940) - Tettonica della valle dell'Aterno (Abruzzo). Boll. Uff. Geol. It., vol. 65, 14 pp., Roma.
- Bertini T. & Bosi C. (1970) - Geologia della media valle dell'Aterno. Mem. Soc. Geol. It., 9, 719-777.
- Bertini T., Bosi C. & Galadini F. (1989) - La conca di Fossa-S. Demetrio dei Vestini. In "Elementi di tettonica pliocenico-quaternaria ed indizi di sismicità olocenica nell'Appennino laziale-abruzzese". Guida all'escursione della S. G. I. Esa Grafica. Roma
- Bertini T., Farroni A. & Totani G. (1992) - Idrogeologia della conca aquilana. Pubbl. DISAT, Università dell'Aquila, 92/6, 28 pp
- Bertini T., Totani G., Cugusi F. & Farroni A. (1992) - Caratterizzazione geologica e geotecnica dei sedimenti quaternari del settore occidentale della conca aquilana. Pubbl. DISAT, Università de L'Aquila, 92/7, 27 pp
- Bertini T. & Bosi C. (1993) - La tettonica quaternaria della conca di Fossa (L'Aquila). Il Quaternario, 6(2), 293- 314.
- Vezzani L. & Ghisetti F. (1998) - Carta geologica dell'Abruzzo (Scala 1:100.000). S.EL.CA., Firenze
- Guida Geologica Regionale della Regione Abruzzo a cura della Società Geologica Italiana
- Tallini M., Lorè A., Reale E., Scozzafava M. & Magaldi D. (2002) – Geologia del Quaternario e Pianificazione territoriale della piana intramontana L'Aquila-Scoppito (Italia centrale). GEAM, Geoingegneria ambientale e mineraria, n. 1, 55-67.XXXIX.
- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., e Tondi E. (eds.), (2000) - *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*. GNDT, Gruppo Nazionale per la Difesa di terremoti, spec. publ., Roma, 62. pp.
- Petitta M. & Tallini M., 2000 - Studi idrogeologici preliminari ad una valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della piana L'Aquila-Scoppito. Quaderni DISAT, Università dell'Aquila, 3/2000, pp. 33.
- Paolo Boncio, Debora Paola Tinari, Giusy Lavecchia, Francesco Visini & Giuliano Milana - *The instrumental seismicity of the Abruzzo Region in Central Italy (1981-2003): Seismotectonic Implications* - *Ital.J.Geosci.* (Boll.Soc.Geol.It.), Vol. 128, No. 2 (2009), pp. 00-00, 9 figs
- Lavecchia et al. 2006 - *Studio della pericolosità sismica della regione Abruzzo*
- APAT (2006) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 359 L'Aquila. S.EL.CA., Firenze. Bagnaia R., Blumetti A.M., De Luca G., Gorini A., Marcucci S., Marsan P., Milana G., Salvucci R. & Zambonelli

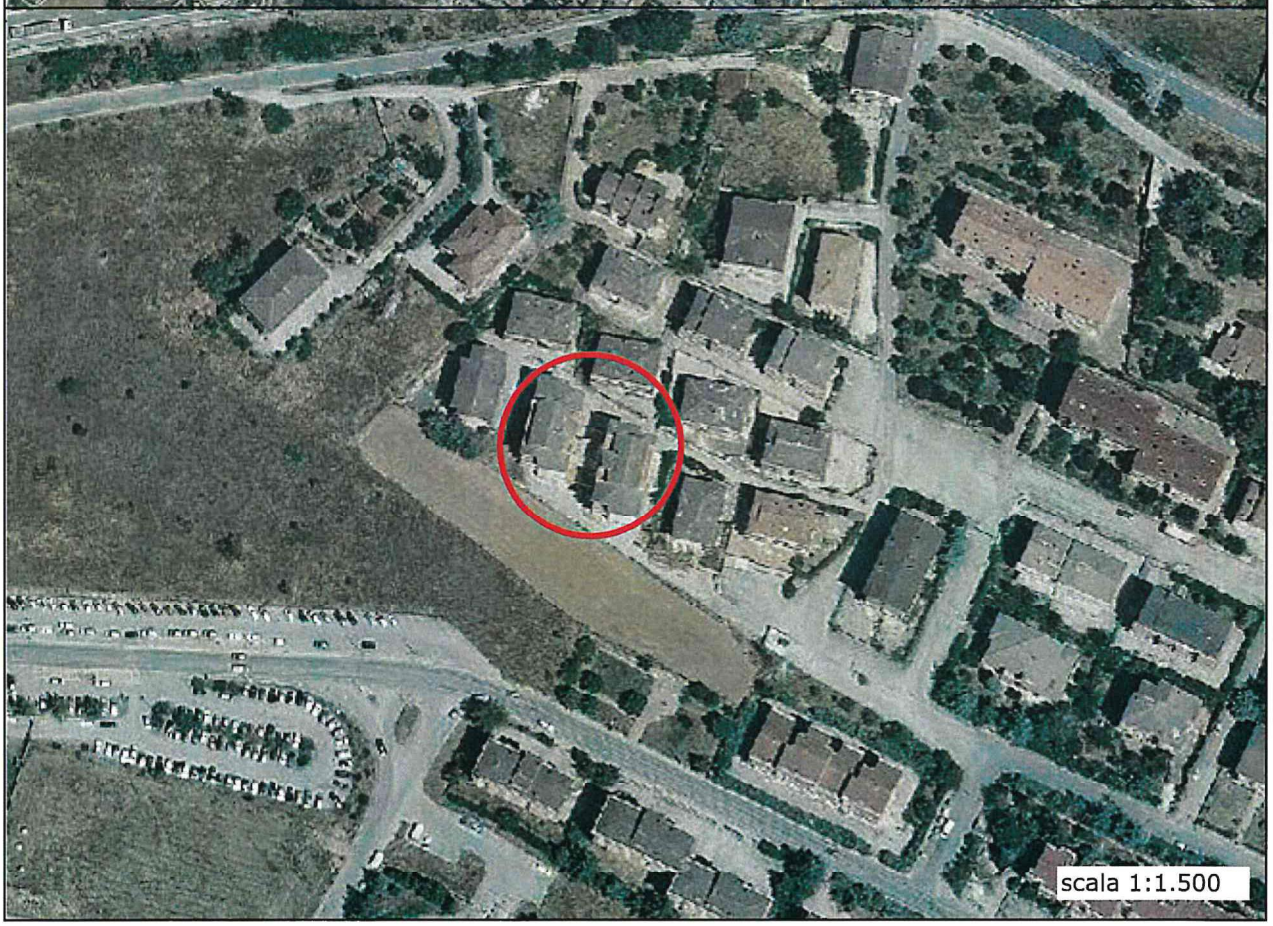
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) - *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana.* Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- Tallini M., Berarducci R., Del Monaco F., Di Eusebio F., Durante F., Gaudiosi I., Restaino L., Totani G., Amoroso S., Monaco P., Totani F. (2011) - Dati ed indagini per il modello del sottosuolo dell'area "asse centrale" del Comune dell'Aquila. DISAT Università dell'Aquila
- EMERGEO Working Group in collaborazione con CNR-IGAG, DiMSAT e Università degli Studi Roma TRE - *Rilievi geologici nell'area epicentrale della sequenza sismica dell'Aquilano del 6 aprile 2009* - (Quaderni di geofisica n. 70).

ALLEAGATO 1

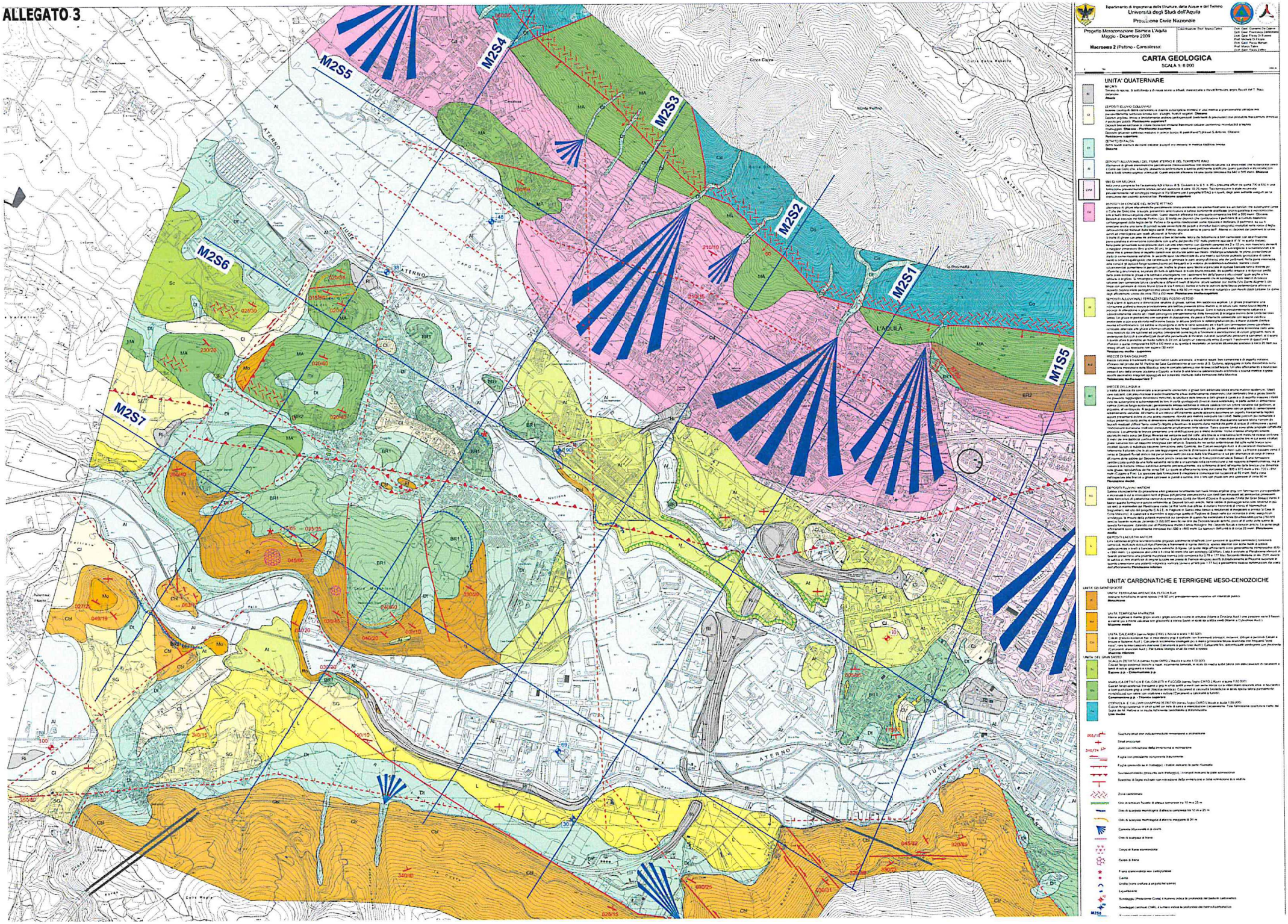
CARTA TECNICA della REGIONE ABRUZZO

ALLEGATO 2

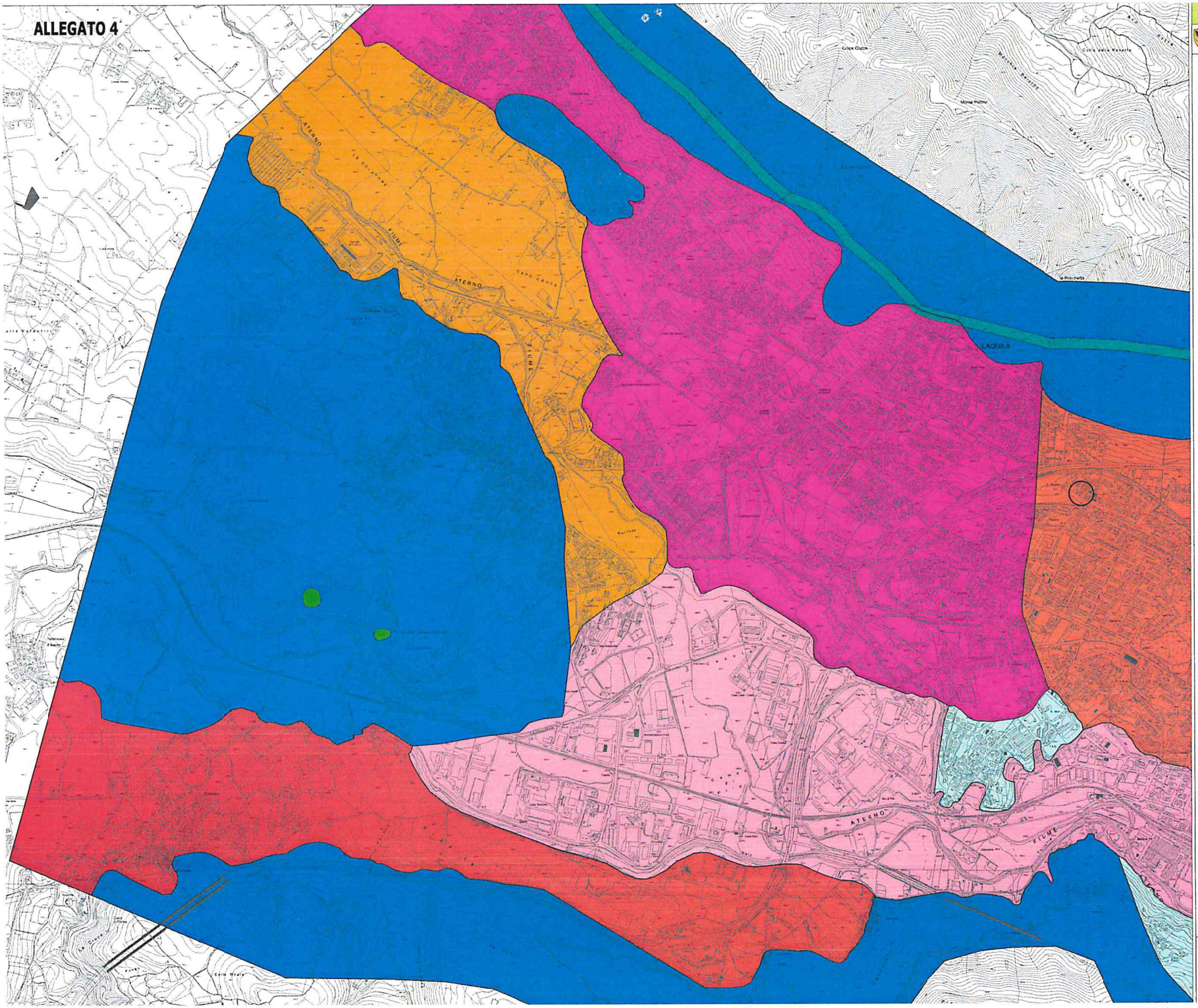
FOTO AEREA



ALLEGATO 3


M2S5
M2S4
M2S3
M2S2
M2S1
M2S6
M2S7
M1S5
L'AQUILA
ATERNO
FIUME
Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno
Università degli Studi dell'Aquila
Protezione Civile Nazionale
Progetto Microzonazione Sismica L'Aquila
Maggio - Dicembre 2009
Macroarea 2 (Pristino - Camarda)
CARTA GEOLOGICA
SCALA 1: 6.000
UNITA' QUATERNARE
UNITA' CARBONATICHE E TERRIGENE MESO-CENOZOICHE

ALLEGATO 4



Macroarea 2

Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno
Università degli Studi dell'Aquila
Protezione Civile Nazionale

Carta di Microzonazione sismica
Pettino - Cansatessa

ZONE STABILI

FA = 1

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

In questa area le analisi effettuate con le simulazioni numeriche indicano amplificazioni solo per frequenze basse (0.4/0.8 Hz). Sulle frequenze più alte invece, non si riscontrano amplificazioni. I dati strumentali (registri) confermano pienamente quanto preliminarmente registrato: un'amplificazione parte frequenza più alta soltanto in alcune aree (tutte quelle sul dente sinistro). Si ricorda comunque che le stazioni accelerometriche dell'Aquila hanno registrato per il mainshock accelerazioni di picco circa uguali a 0.7 g

FA = 1.2

FA = 1.7

FA = 1.8

FA = 1.9

FA = 2.0

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

FMT

FA

SCALA 1: 6.000

Coordinatore: Prof. Marco Tallini

Dott. Geol. Gian Paolo Cavinato
Dott. Geol. Giovanni De Catenzi
Dott. Geol. Francesco Del Monaco
Prof. Michele Di Filippo
Dott. Geol. Paolo Marsan
Ing. Tito Sanò
Prof. Marco Tallini
Dott. Geol. Paolo Zaffiro

ALLEGATO 5

REPORT INDAGINE SISMICA

INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

INDICE

Introduzione

Metodologie d'indagine e strumentazioni utilizzate

Prospezioni sismiche in metodologia MASW

3.1 Cenni teorici sul metodo

3.2 Modalità di acquisizione

3.3 Elaborazioni

Conclusioni

ALLEGATI

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono riportate le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di 2 indagini sismiche con la metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), effettuate in Via Antica Arischia (Via Milonia 23 e 27), Comune de L'Aquila.

La campagna di indagini è stata eseguita nel mese di Dicembre 2013, su incarico del Geol. Silvio Tatoni.

Scopo delle indagini è stato quello di calcolare, per le aree in oggetto, il parametro Vs30 con cui classificarne sismicamente il suolo ai fini della normativa tesa a garantire un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e successive modificazioni; D.M. 14.01.2008), desumendolo dall'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Le prove sono state effettuate seguendo le linee guida proposte dalla Associazione delle Società Di Geofisica, ASG, di cui la Geo Logica s.n.c. è membro, e comunque in accordo con le norme riportate.

Nelle pagine seguenti saranno descritte le caratteristiche della metodologia d'indagine, le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

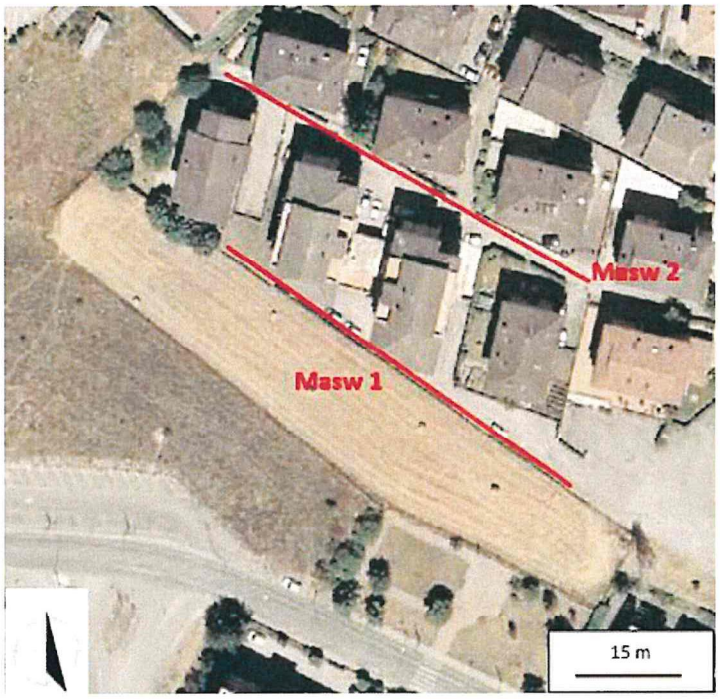


Fig. 1 – Ubicazione degli stendimenti sismici su foto aerea, google maps.

2. METODOLOGIE D'INDAGINE E STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

Sono state effettuate delle indagini simiche con metodologia Masw.

Le ubicazioni delle prove effettuate sono riportate nel paragrafo relativo.

NORMA DI RIFERIMENTO:
Eurocodice 7,8; O.P.C.M. 3274; NTC 14-01-08

STRUMENTAZIONE:
Sismografo Geode Geometrics, set di geofoni Geostuff 4,5 Hz

SOFTWARE DI ANALISI:
Seisimager SW

OPERATORI:
Geol. Stefano Maselli; Geol. Dario Tulli

ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI:
Geol. Luca Colantuono.

Fig. 2 -Strumenti utilizzati per le indagini.

3. PROSPEZIONI SISMICHE IN METODOLOGIA MASW

3.1 CENNI TEORICI SUL METODO

Le prove MASW permettono di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato meccanicamente.

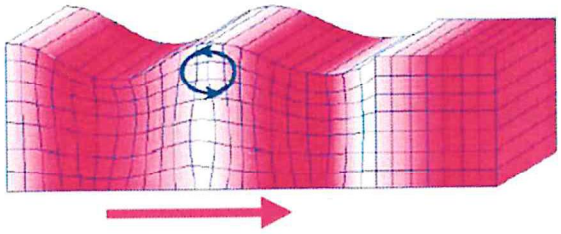


Fig. 3 – Schema di propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde stesse e la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a 0.92Vs; in un mezzo disomogeneo, quale i litotipi della superficie terrestre, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e 0.92Vs.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh hanno una buona risoluzione e non sono limitati dalla presenza di inversioni di velocità in profondità come avviene nel metodo a rifrazione.

La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla Vp e dalla densità, è funzione sopratutto della Vs, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. 3274/03.

Dall'analisi della curva di dispersione delle onde di Rayleigh (variazione della loro velocità di fase in funzione della lunghezza d'onda o della frequenza) è possibile, tramite il processo d'inversione determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità.

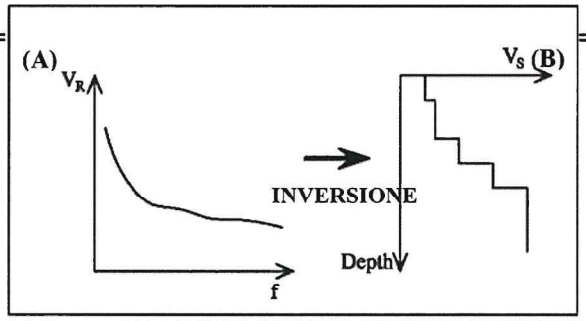


Fig. 4 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (A) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (B) ricavato tramite inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (Vs) e hanno un grado di incertezza nella determinazione della Vs<20%.

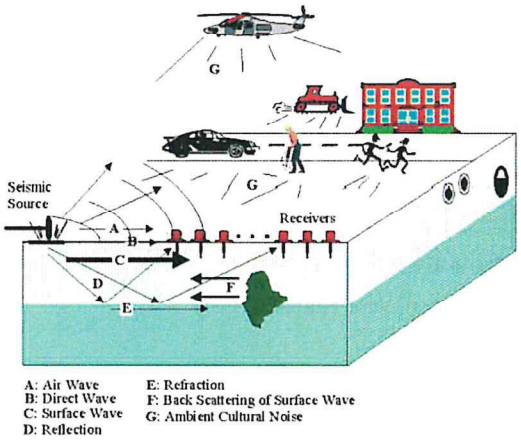


Fig. 4 – Schema delle possibili sorgenti di onde sismiche nel suolo e loro tipologia.

Il metodo di indagine sismico MASW è caratterizzato da un tipo di acquisizione "attivo", le onde superficiali vengono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da geofoni posti a distanze regolari l'uno dall'altro (distanza intergeofonica).

La tecnica MASW, indagando bande spettrali con frequenze elevate, fornisce informazioni sulla parte più superficiale del sottosuolo nel sito indagato.

L'acquisizione in tecnica MASW consente di ottenere uno spettro nella banda di frequenze maggiori di 4,5 Hz e permette una ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio con le profondità.

3.2 MODALITA' DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei dati in campagna in metodologia MASW è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

a)Sismografo:

Per l'acquisizione dei dati della prova MASW è stato utilizzato un sismografo GEODE Geometrics a 24 canali, gestito da un computer portatile, con le seguenti caratteristiche:

PARAMETRI TECNICI:

- *24 bit di risoluzione*
- *Larghezza di banda (1.75 Hz – 20000 Hz)*
- *Intervallo di campionamento da 0.02 ms..*
- *Range dinamico di sistema 144 dB*
- *16000 campioni per traccia*
- *Accuratezza del trigger 1/32 del passo di campionamento*

b) Sistema energizzante:

Come sorgente energizzante nell'acquisizione MASW è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg, battente su una piastra metallica.

c) Trigger:

Nell'acquisizione MASW il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell'istante in cui il sistema energizzante colpisce la base di battuta determinando l'inizio della registrazione.

d) Sistema di ricezione:

Per la ricezione delle onde superficiali durante le prospezioni sismiche sono stati utilizzati 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

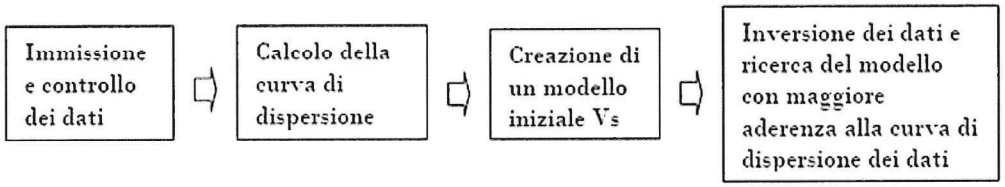
3.3 ELABORAZIONE DATI

L'energia delle onde superficiali decade esponenzialmente con la profondità.

Le onde più lunghe (periodo lungo e basse frequenze) viaggiano più in profondità dando informazioni sulle velocità delle strutture più profonde, mentre le onde più corte (periodo corto e più alte frequenze) viaggiano più in superficie dando informazioni più dettagliate sulle strutture più apicali.

Il risultato finale della fase di acquisizione con la metodica MASW è costituito da una serie di files in formato SEG-2; la qualità del segnale durante l'acquisizione è stata tenuta sotto controllo con un'analisi visuale delle registrazioni.

Successivamente i dati MASW sono stati processati separatamente mediante un software specifico, il SeisImager/SW, secondo il seguente schema di flusso:

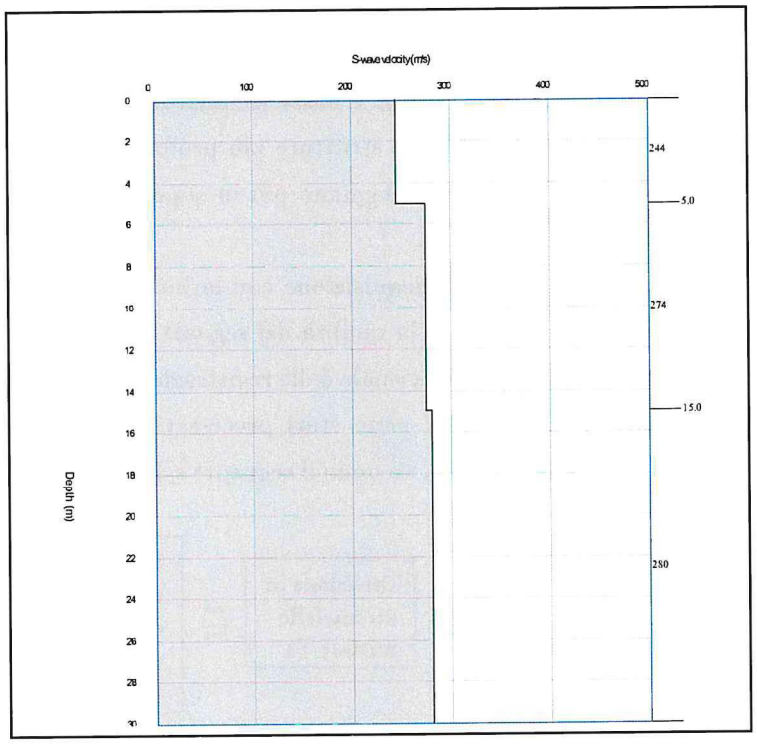


La curva di dispersione ottenuta dalla elaborazione dei dati ha mostrato il tipico contenuto in frequenze per le acquisizioni MASW.

La curva così ottenuta è stata utilizzata per generare un modello iniziale delle Vs da sottoporre ad inversione per ottenere il valore del Vs30 ai fini dell' O.P.C.M. 3274 e del D.M. 14.01.2008.

Il dato finale, evidenziato di seguito, è stato ottenuto sottoponendo il nuovo modello iniziale combinato mediante iterazioni di calcolo per la ricerca della migliore aderenza alla curva di dispersione dei dati.

MASW1



MASW2

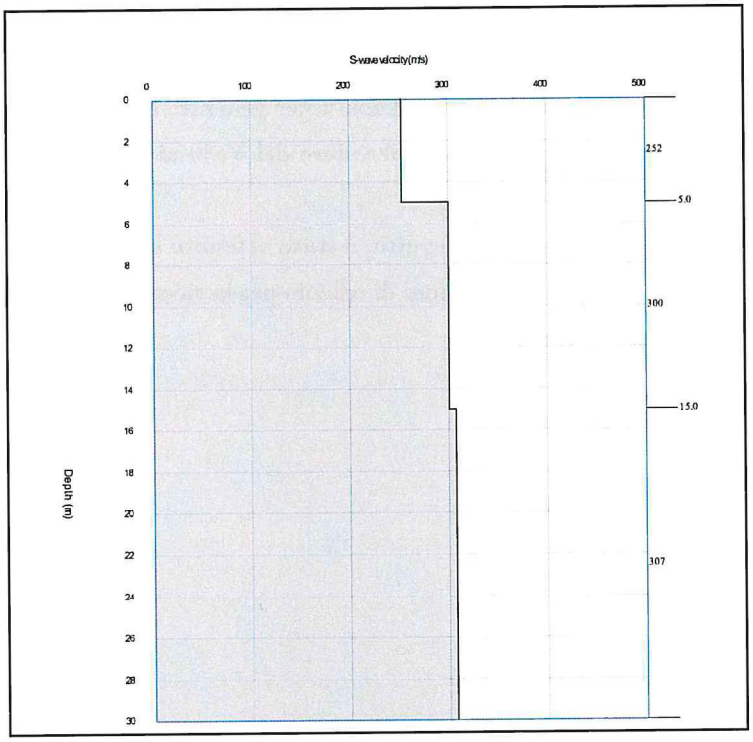


Fig. 5 – Variazioni delle onde di taglio Vs con la profondità.

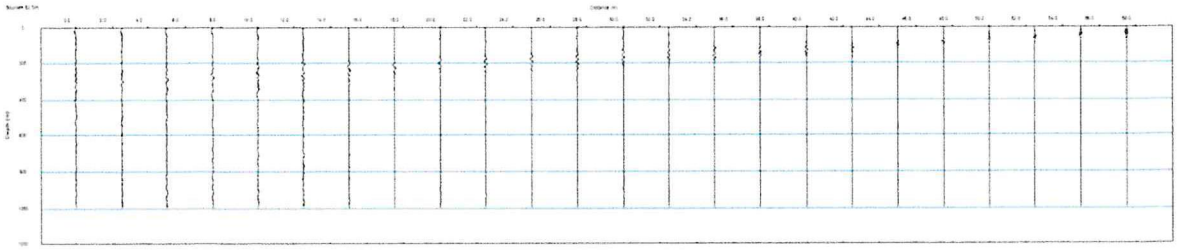
4. CONCLUSIONI

Nella seguente tabella sono riassunti per le stese sismiche effettuate le geometrie di acquisizione e i risultati ottenuti.

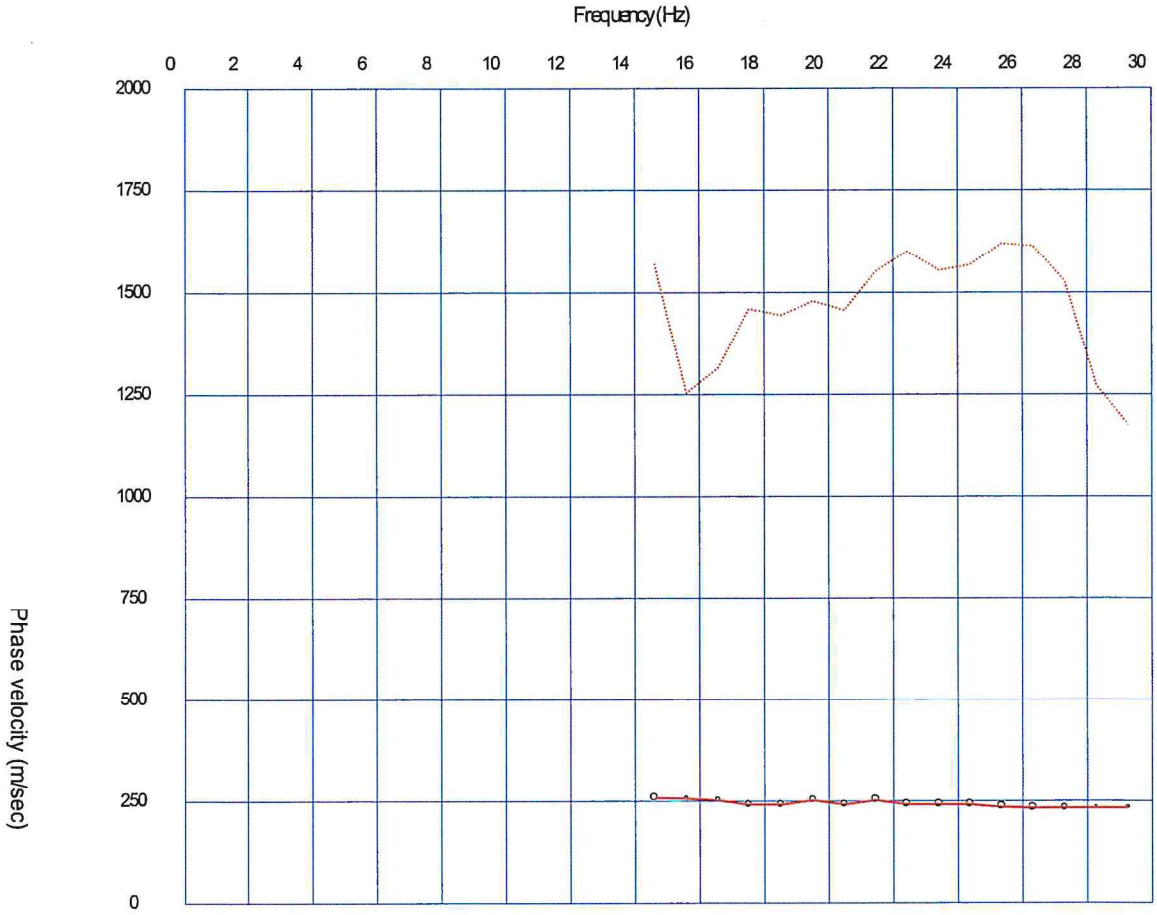
Sezione	Passo	Campionamento	Registrazione	Vs 30 media	Categoria di suolo
1	2.5	1 ms	1sec	272	C
2	2.5	1 ms	1sec	295	C

ALLEGATI

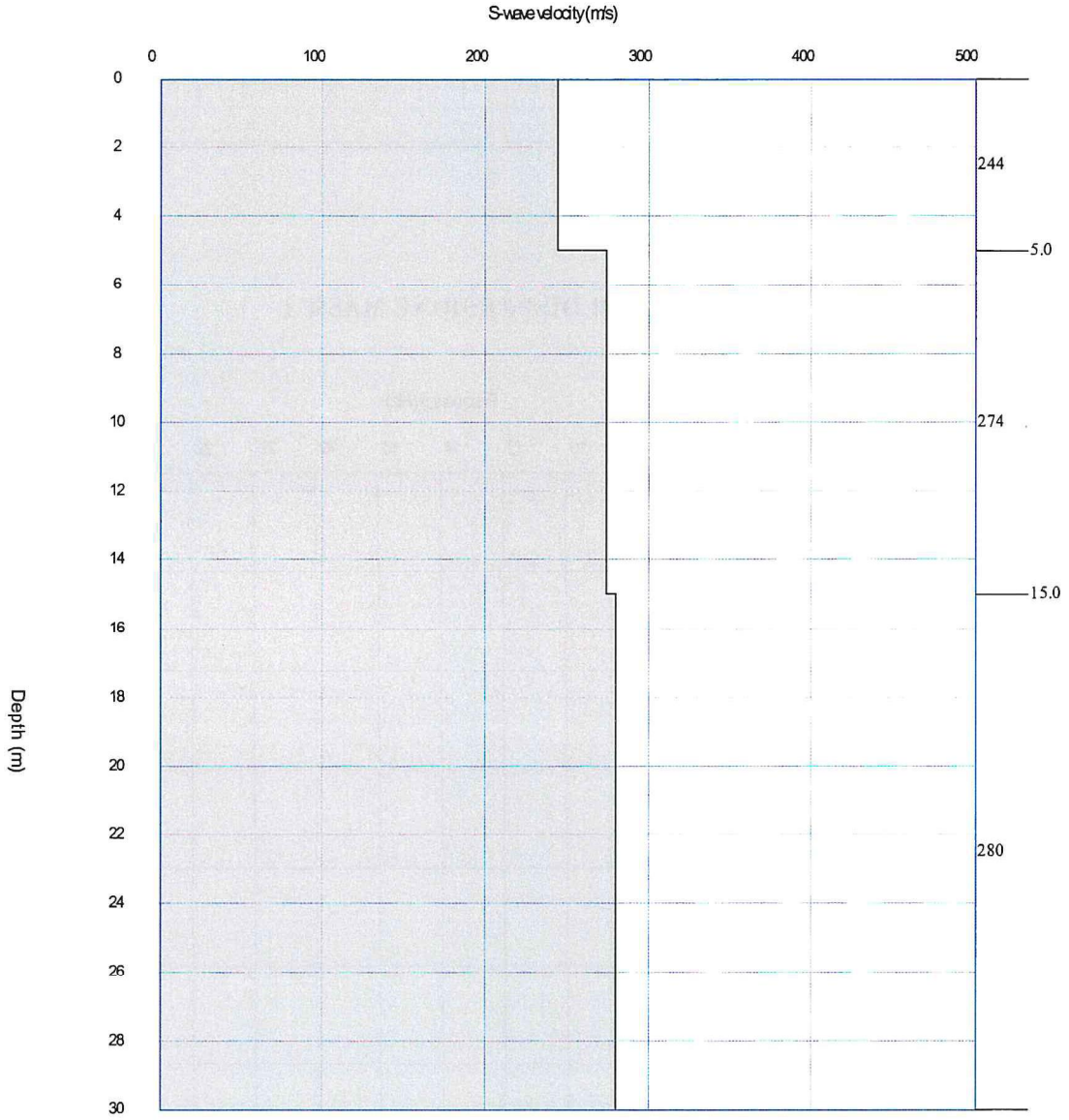
ACQUISIZIONE MASW 1



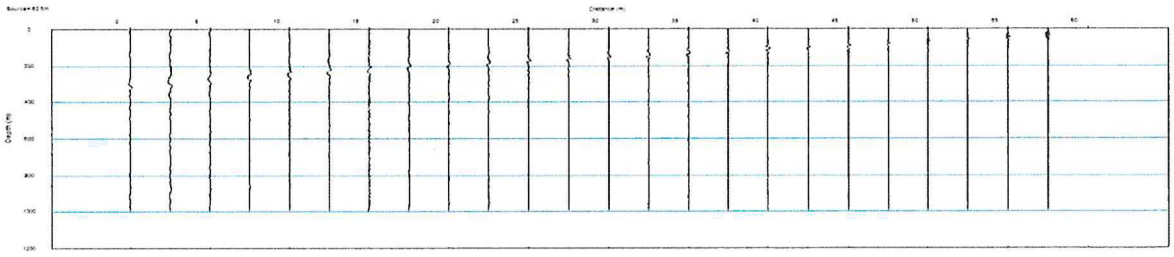
CURVA DI DISPERSIONE MASW 1



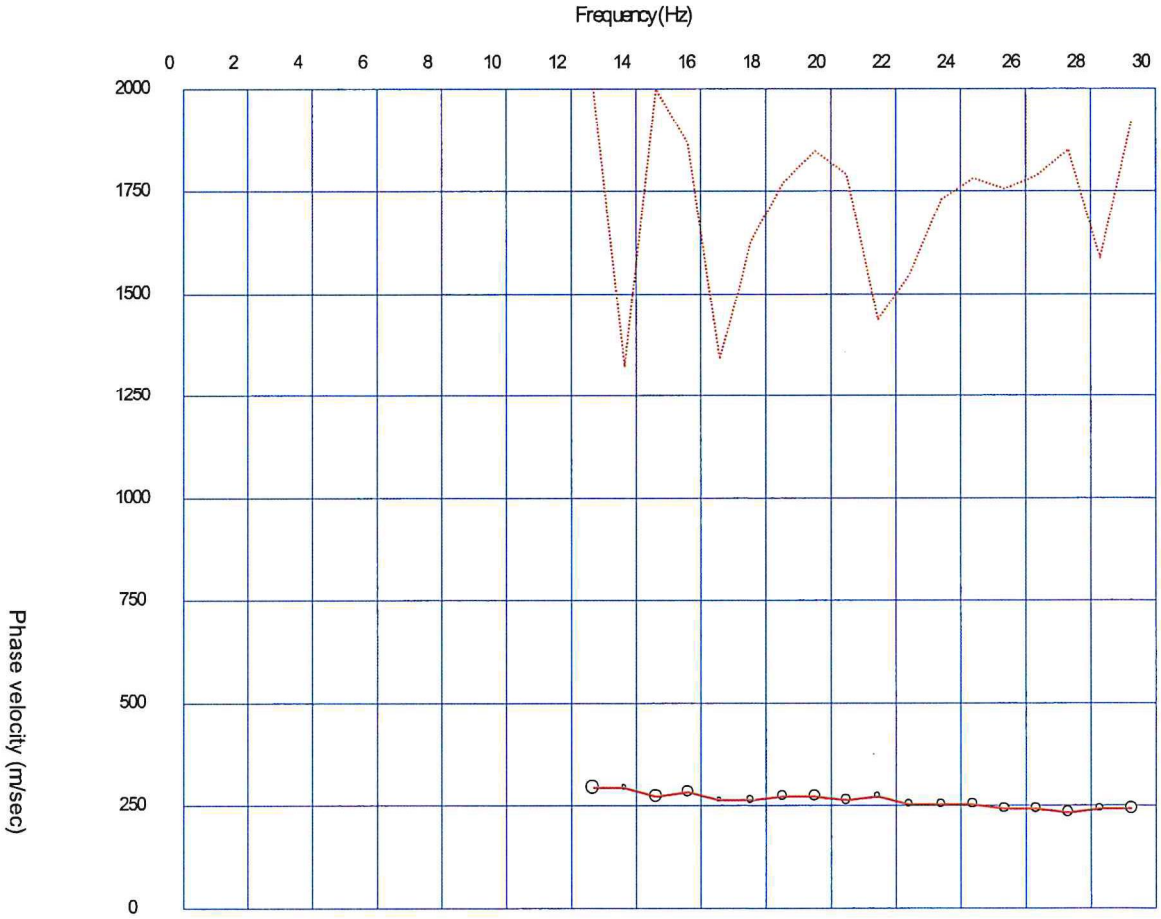
VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO VS
CON LA PROFONDITÀ MASW 1



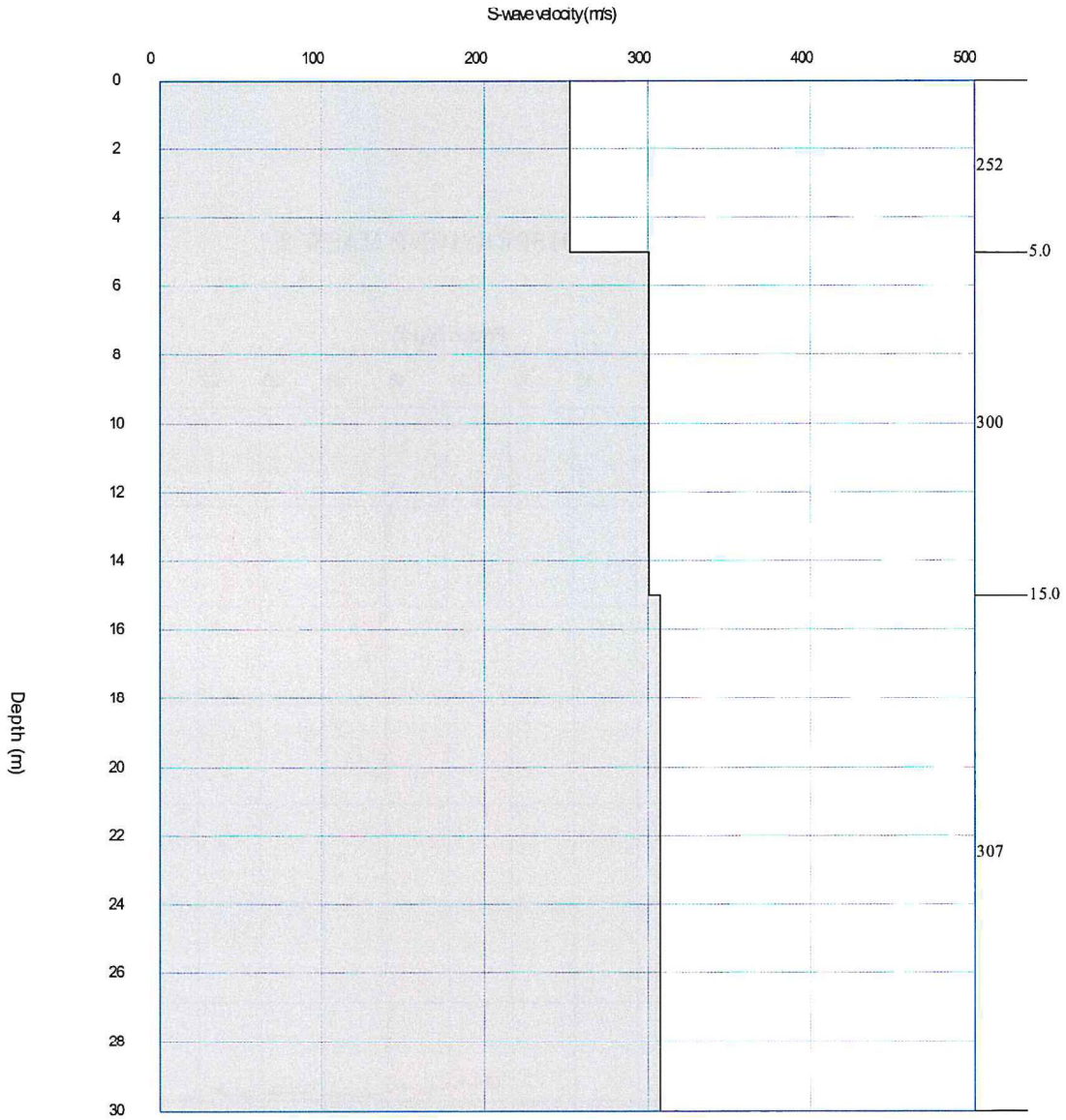
ACQUISIZIONE MASW 2



CURVA DI DISPERSIONE MASW 2



VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO VS CON LA PROFONDITÀ MASW 2



Documentazione fotografica

Stendimento Masw 1

Stendimento Masw 2

Indagini sismiche con registrazione di microtremori in campo libero

INDICE

1. ***Introduzione*** Pag. 2

2. ***Registrazione Microtremori*** Pag. 2

2.1 Cenni teorici sul metodo di Nakamura Pag. 2

2.2 Modalità di acquisizione Pag. 3

2.3 Elaborazione dati Pag. 3

2.4 Considerazioni conclusive Pag. 5

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Geol. Silvio Tatoni, in Via Antica Arischia (Via Milonia 23 e 27) nel comune L'Aquila (AQ), sono state eseguite n. 1 indagine sismica con registrazione di microtremori in campo libero al fine di individuare la frequenza fondamentale di risonanza del terreno al sito d'indagine; in figura 1 è riportata l'ubicazione del punto di misura.

Fig. 1: Ubicazione del punto di misura su stralcio di ortofoto.

Il seguente rapporto tecnico illustra le tecniche utilizzate ed i risultati conseguiti.

2. Registrazione Microtremori

2.1 Cenni teorici sul metodo di Nakamura

La metodica di analisi dei rapporti spettrali (HVSR o Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura, si basa sulla misurazione del rumore sismico ambientale.

I microtremori sono vibrazioni continue del suolo, prodotte da sorgenti naturali o artificiali, di piccola ampiezza (1 – 10 nm) e costituite da onde superficiali quali le onde di Rayleigh ed in minor percentuale da onde di tipo Love.

Alla base di questo tipo di analisi c'è l'assunzione che i microtremori si propagano in strati superficiali di terreno sovrapposti ad un substrato rigido di roccia, che le sorgenti del microtremore sono superficiali e quindi viene trascurato qualsiasi contributo proveniente da sorgenti profonde, che le sorgenti superficiali non influiscono sulle caratteristiche del moto alla sommità del bedrock e che la componente verticale del moto non risente degli effetti di amplificazione da parte degli strati superficiali.

I rapporti tra le componenti orizzontali $RH(\omega)$ e verticali $RV(\omega)$, in superficie ed alla base dello strato sedimentario, sono dipendenti solo dall'altezza del moto dovuto alle sorgenti superficiali ed alle sorgenti alla base ed il loro rapporto spettrale darà:

$$RH(\omega)/RV(\omega) = Hs(\omega)/Hb(\omega) \times Vb(\omega)/Vs(\omega)$$

Empiricamente Nakamura ha evidenziato che alla base dello strato superficiale, e per tutte le frequenze, le ampiezze della componente orizzontale e della componente verticale sono all'incirca uguali, cioè rapporto pari ad 1, da cui si determina che la stima del fattore di amplificazione di sito $S(\omega)$ è data dal rapporto spettrale:

$$S(\omega) = Hs(\omega)/Vs(\omega)$$

La frequenza di risonanza è evidenziata al primo picco individuato dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei segnali registrati.

2.2 Modalità di acquisizione

L'acquisizione dati è stata effettuata con un tromografo digitale compatto, TROMINO Micromed S.p.a., a banda larga e ad alta sensibilità e costituito da una terna di velocimetri a breve periodo e smorzati criticamente orientati nelle tre direzioni dello spazio che permettono la registrazione di microtremori nel campo di frequenze compreso fra 0 e 200 Hz.

Le misurazioni sono state eseguite in condizioni di basso rumore ambientale e scegliendo una finestra temporale di 16 minuti per garantire stabilità al segnale e per filtrare eventuali fenomeni transienti.

Si è orientata la componente longitudinale N-S verso nord al fine di valutare eventuali amplificazioni polarizzate.

2.3 Elaborazione Dati

I dati registrati sono stati elaborati mediante un software dedicato (Grilla) e si è seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo teso alla standardizzazione e al miglioramento delle tecniche di microzonazione sismica usando il rumore ambientale.

L'interpretazione consente di correlare il valore di un eventuale picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock sismico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

I minimi della componente verticale vengono interpretati come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, in tal modo si può ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

I dati spettrali prodotti dalle elaborazioni numeriche vengono analizzati in genere entro l'intervallo 0.1 – 20.0 Hz, in quanto oltre tali limiti si ritiene che non vi siano frequenze significative dal punto di vista geologico-geotecnico.

L'analisi dei microtremori è stata utilizzata per fornire la frequenza di risonanza del terreno ai vari punti di misura nel sito di indagine nel range di frequenze comprese fra 0.0 e 64.0 Hz; in tabella 1 sono riportati, per ogni misura, i valori della frequenza di risonanza (Max H/V), la direzione della componente orizzontale dominante nell'H/V (DIRECTIONAL H/V) e la percentuale della registrazione utilizzata per essere in linea con i dettami di qualità SESAME.

La durata della misurazione è stata di 16 minuti, l'analisi è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz e intervallo di campionamento di 20 secondi.

Di seguito si riportano i grafici delle risultanze dell'analisi tromografica effettuata e quindi la curva H/V (HVSR); il grafico H/V TIME HISTORY che mostra le "finestre temporali" della traccia analizzate per l'elaborazione della curva H/V permettendo di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione e di eliminarle; il grafico DIRECTIONAL H/V che rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord dello strumento, e permette di vedere se una componente orizzontale è dominante sull'altra.

Infine il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA che mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S, E-O e Verticale).

Analisi	Max H/V (Hz)	f_0	A_0	DIRECTIONAL H/V	Percentuale della traccia analizzata (%)
T1	3.63 ± 0.1 Hz	3.63 ± 0.1 Hz	3.71	E-W	81

Tabella 1: Dati tromografia

2.4 Considerazioni conclusive

In Tabella 1 per l'analisi effettuata viene riportata la frequenza del picco del rapporto H/V individuato.

In particolare si può notare come il valore di f_0 si attesta ai 3.63 Hz.

Tutte le misure rispettano i criteri per la valutazione positiva della curva HVSR e di chiara valutazione del picco del rapporto H/V.

T1

Analisi qualitativa della misura secondo le linee guida SESAME 2005:

Max. H/V at 3.63 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

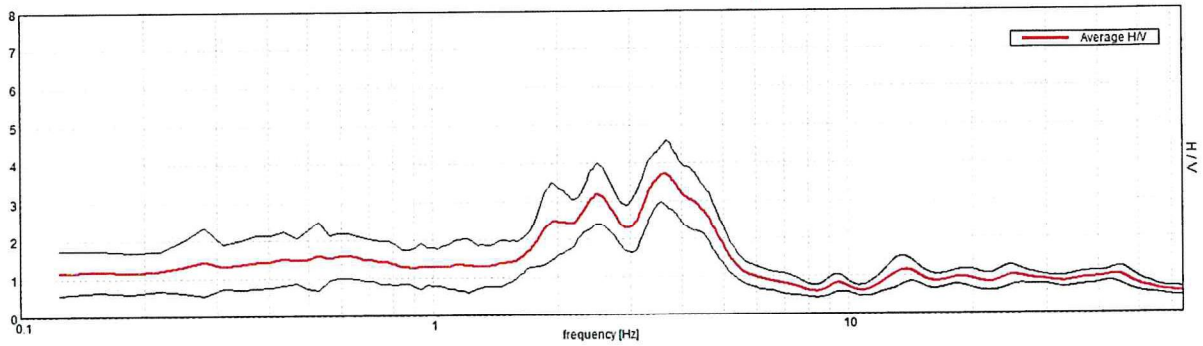
CRITERIA FOR A RELIABLE HVSR CURVE [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2827.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 175 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.71 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01319| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04782 < 0.18125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.395 < 1.58	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
σ_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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

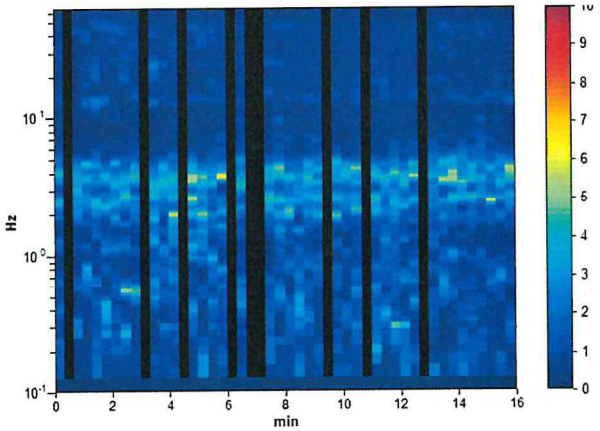
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

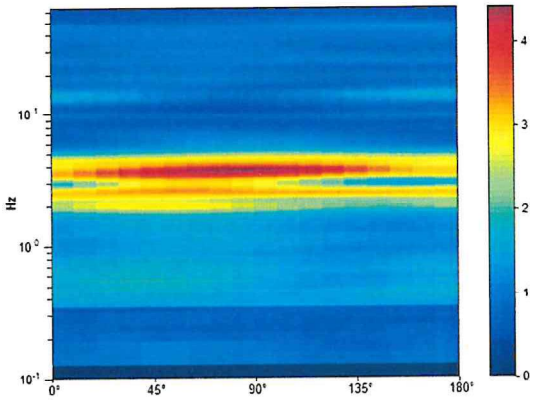
Max. H/V at 3.63 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



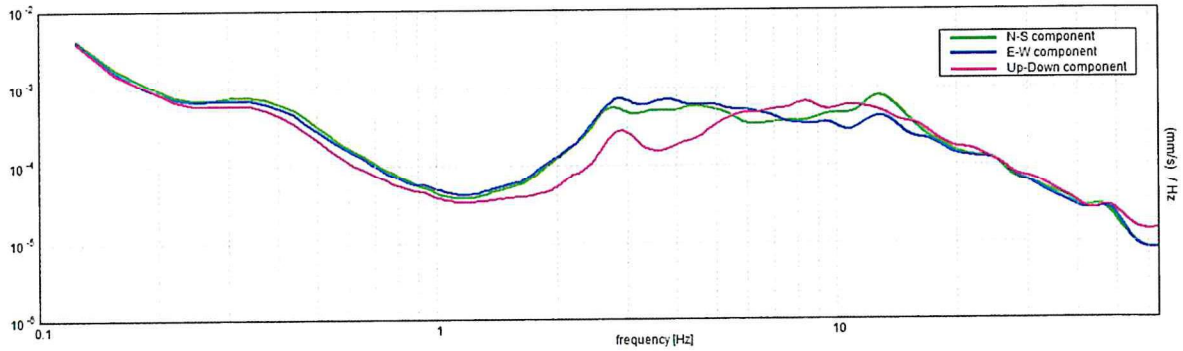
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



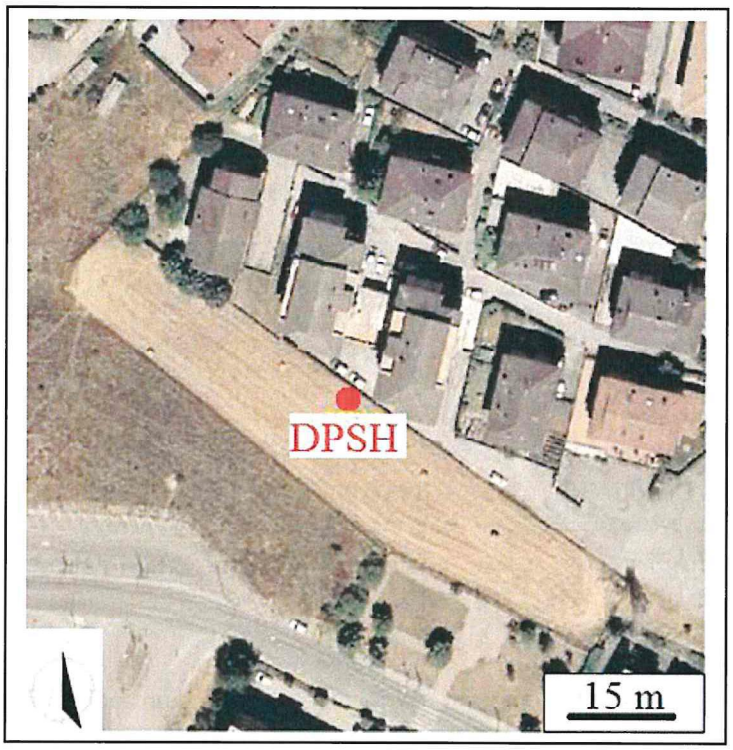
SINGLE COMPONENT SPECTRA



PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Nella presente perizia viene riportata l'elaborazione relativa all'esecuzione di un'indagine penetrometrica dinamica di tipo DPSH effettuata in Via Antica Arischia (Via Milonia 23 e 27), nel Comune de L'Aquila.

La campagna d'indagini è stata eseguita nel mese di Dicembre 2013, su incarico del Geol. Silvio Tatoni.



Ubicazione delle Indagini (da google maps)

Report fotografico

DPSH

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPSH (meardi)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DPSH (meardi)

PESO MASSA BATTENTE	M	=	73.00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	=	0.75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	=	25.00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	=	50.40 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A	=	20.00 cm²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α	=	60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	=	0.90 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	=	6.30 kg
PROF. GIUNZIONE 1ª ASTA	P1	=	0.60 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ	=	0.30 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	=	N(30) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO		
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q	=	$(MH)/(A\delta)$ = 9.13 kg/cm² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	βt	=	Q/Qspt = 1.165 (teoricamente : Nspt = βt N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A\, e\, (M+P)] = M^2 H N / [A\, \delta\, (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N
M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm² = 0.098067 MPa =~ 0,1 MPa 1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm² 1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- cantiere : Geol. Silvio Tatoni
- lavoro :
- località : L'Aquila, Via Antica Arischia_Via Milonia 23 e 27

- data prova : 03/12/2013
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 05/12/2013

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0.00	2.70	N	4.1	1	7	2.6	1.9	2.2	6.0	4	1.17	**5**
			Rpd	24.3	6	41	15.4	10.6	13.7	34.9	24		
2	2.70	7.80	N	14.5	10	20	12.2	3.4	11.1	17.9	14	1.17	**16**
			Rpd	71.5	48	105	59.9	18.3	53.2	89.9	69		
3	7.80	11.10	N	54.1	27	100	40.5	22.0	32.1	76.1	54	1.17	**63**
			Rpd	219.1	116	388	167.7	80.7	138.4	299.8	219		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento δ = 30 cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
β: Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico βt = 1.17) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	2.70	Strato geotecnico 1	5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	2.70	7.80	Strato geotecnico 2	16	44.0	31.8	315	1.97	1.55	1.00	1.97	28	0.750
3	7.80	11.10	Strato geotecnico 3	63	89.9	43.0	677	2.18	1.89	3.94	2.54	04	0.103

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa ø' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

Certificato: 219-13

GEO LOGICA s.n.c. GEOLOGIA AMBIENTE E TERRITORIO

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 1
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

- cantiere : Geol. Silvio Tatoni
- lavoro :
- località : L'Aquila, Via Antica Arischia_Via Milonia 23 e 27

- data prova : 03/12/2013
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 05/12/2013

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta
0.00 - 0.30	1	6.4	1	5.70 - 6.00	11	53.2	7
0.30 - 0.60	3	19.3	1	6.00 - 6.30	12	55.8	8
0.60 - 0.90	2	12.2	2	6.30 - 6.60	11	51.1	8
0.90 - 1.20	4	24.4	2	6.60 - 6.90	16	74.3	8
1.20 - 1.50	4	24.4	2	6.90 - 7.20	14	62.6	9
1.50 - 1.80	5	29.0	3	7.20 - 7.50	18	80.5	9
1.80 - 2.10	6	34.8	3	7.50 - 7.80	20	89.4	9
2.10 - 2.40	7	40.5	3	7.80 - 8.10	27	116.3	10
2.40 - 2.70	5	27.6	4	8.10 - 8.40	32	137.8	10
2.70 - 3.00	12	66.2	4	8.40 - 8.70	34	146.4	10
3.00 - 3.30	19	104.9	4	8.70 - 9.00	44	182.8	11
3.30 - 3.60	17	89.6	5	9.00 - 9.30	48	199.4	11
3.60 - 3.90	18	94.9	5	9.30 - 9.60	46	191.1	11
3.90 - 4.20	18	94.9	5	9.60 - 9.90	55	220.7	12
4.20 - 4.50	16	80.7	6	9.90 - 10.20	61	244.7	12
4.50 - 4.80	12	60.5	6	10.20 - 10.50	69	276.8	12
4.80 - 5.10	11	55.5	6	10.50 - 10.80	79	306.5	13
5.10 - 5.40	10	48.4	7	10.80 - 11.10	100	387.9	13
5.40 - 5.70	11	53.2	7				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (meardi)**
- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m - A (area punta)= **20.00** cm² - D(diam. punta)= **50.40 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

Certificato: 219-13

GEO LOGICA S.N.C. GEOLOGIA AMBIENTE E TERRITORIO

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 1
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

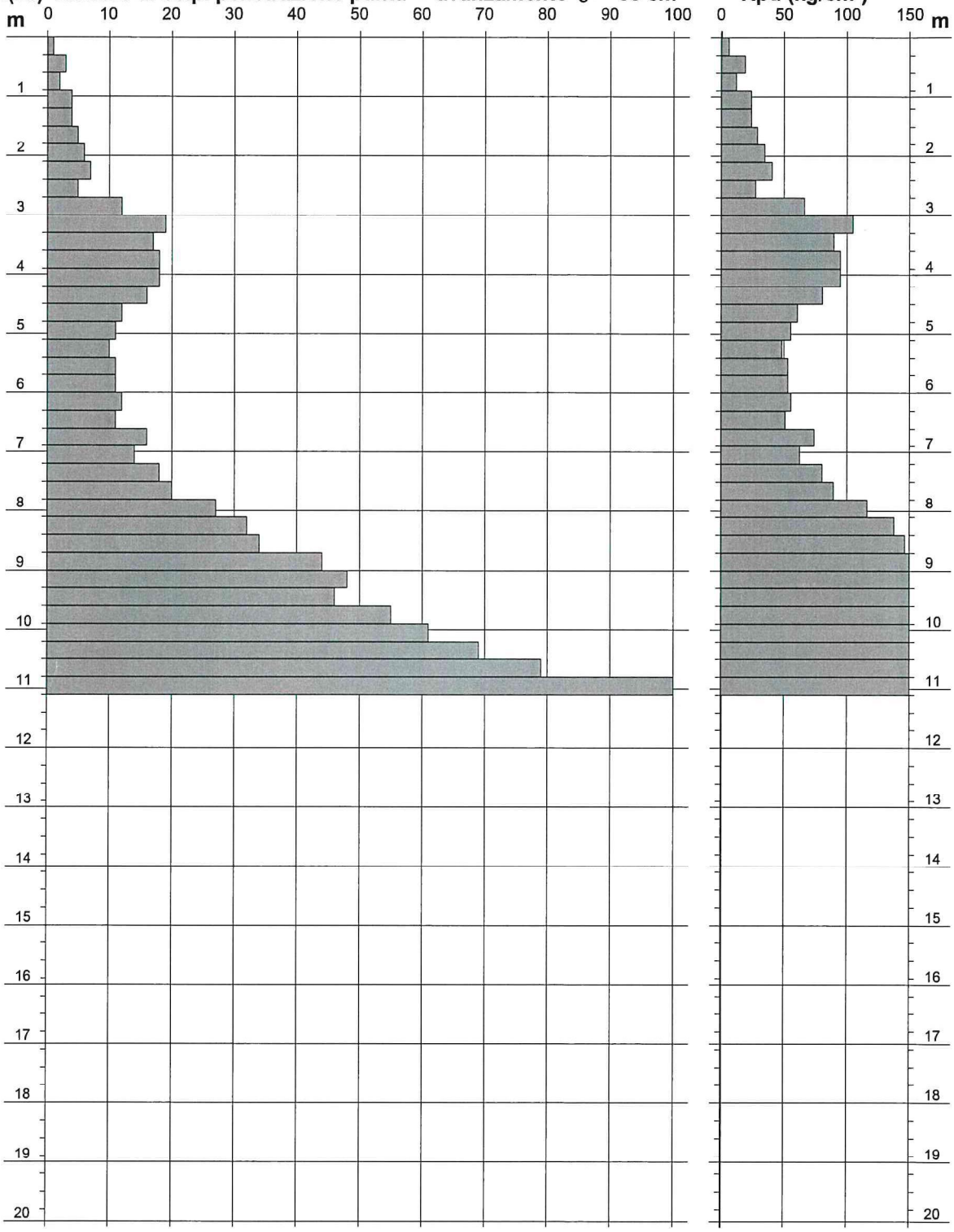
Scala 1: 100

- cantiere : Geol. Silvio Tatoni
- lavoro :
- località : L'Aquila, Via Antica Arischia_Via Milonia 23 e 27

- data prova : 03/12/2013
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 05/12/2013

- note :

N = N(30) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento δ = 30 cm **Rpd (kg/cm²)**



Certificato: 219-13

GEOLOGICA S.N.C. GEOLOGIA AMBIENTE E TERRITORIO

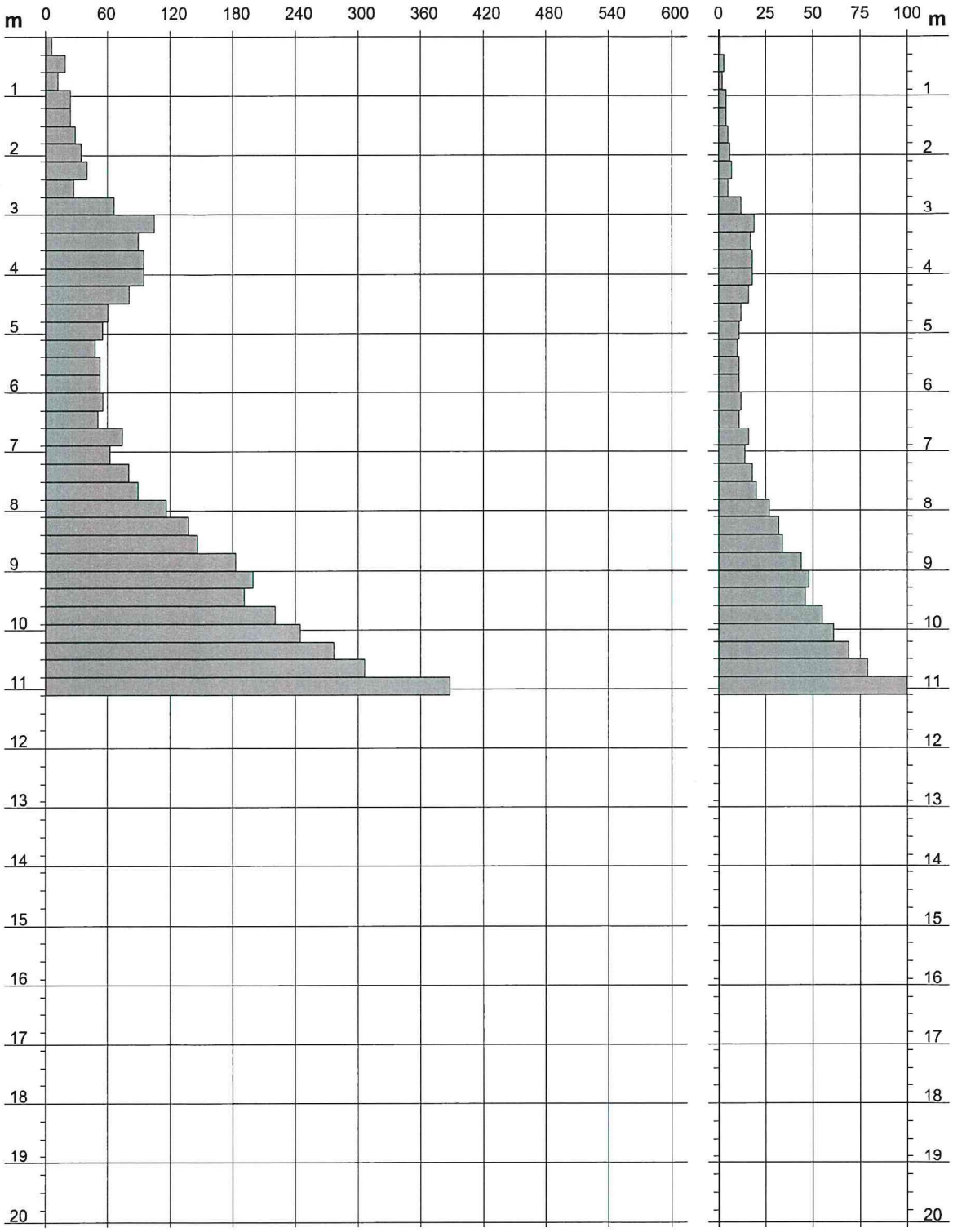
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 1
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

Scala 1: 100

- cantiere : Geol. Silvio Tatoni
- lavoro :
- località : L'Aquila, Via Antica Arischia_Via Milonia 23 e 27

- data prova : 03/12/2013
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 05/12/2013

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" **N = N(30) n° colpi δ = 30**



info@geo-logica.it

DOTT. GEOL. SILVIO TATONI

INDAGINE GEOGNOSTICA
PER LAVORI DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DI UN EDIFICIO E.R.P.
IN VIA A. ARISCHIA (VIA MILONIA 23 E 27) A L'AQUILA

DICEMBRE 2013

RAPPORTO D'INDAGINE

GEO L'AQUILA s.r.l. – via Casella n.14 - 67100 L'Aquila
Sede operativa: Nucleo Industriale loc. "S. Lorenzo" – Fossa (AQ) - 0862 755102

Nel presente rapporto sono riportati i risultati dell'indagine geognostica eseguita per i lavori di demolizione e ricostruzione di un edificio E.R.P. in via A. Arischia (via Milonia 23 e 27) a L'Aquila.

L'indagine, eseguita con la direzione tecnica del ***Dott. Geol. Silvio TATONI,*** è consistita nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità di 25 m e n.5 prove SPT in foro.

Il sondaggio è stato eseguito con perforatrice idraulica a rotazione tipo CMV MK900. Per la perforazione sono stati utilizzati carotieri Ø 101 mm e tubazioni di rivestimento provvisorio Ø 127 mm.

Il materiale campionato è stato sistemato in cassette catalogatrici in PVC con l'indicazione delle profondità di prelievo.

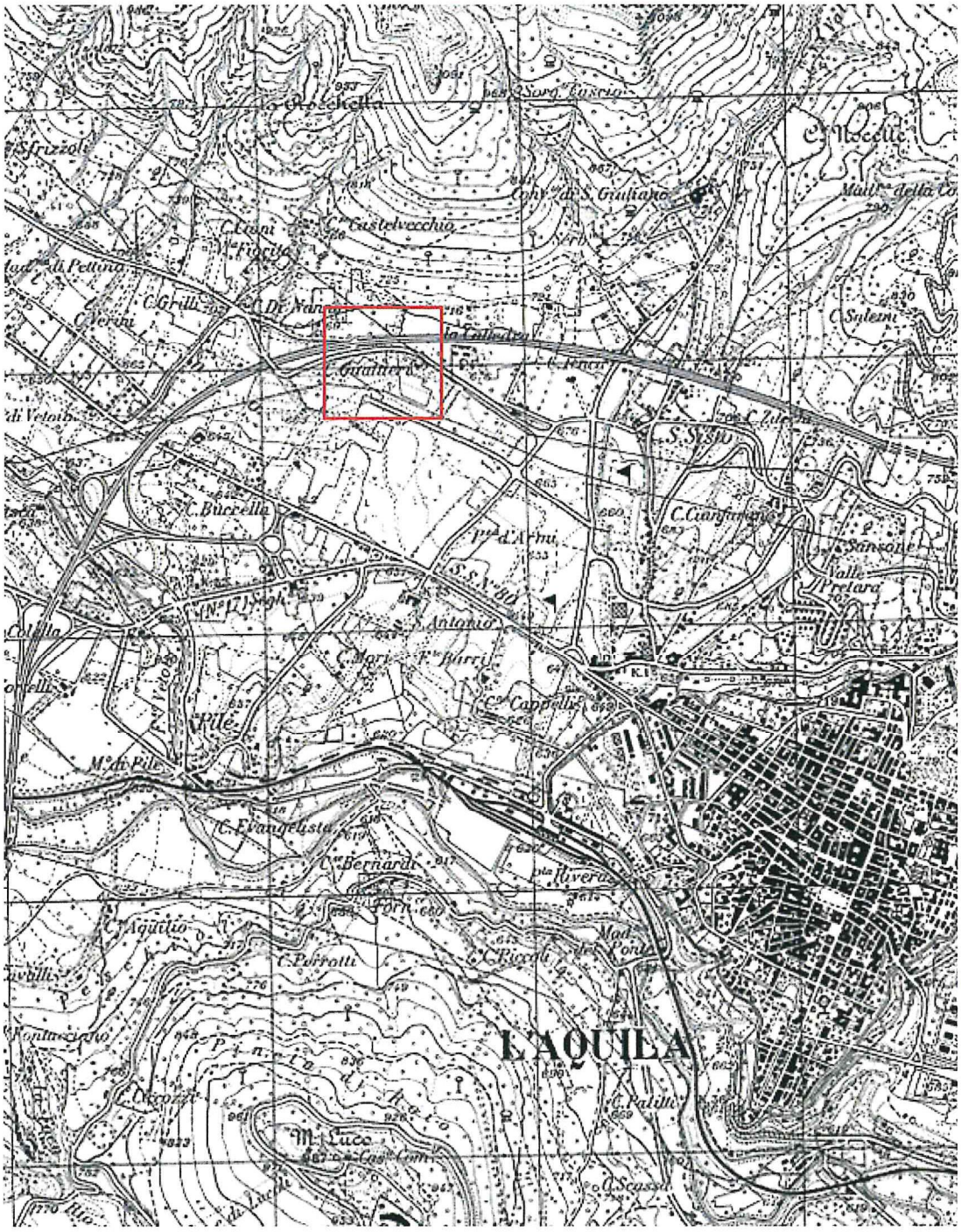
Le prove SPT (Standard Penetration Test), i cui risultati sono riportati nei profili stratigrafici dei sondaggi, sono state eseguite utilizzando il campionatore standard tipo Raymond con punta conica e il maglio standard a sganciamento automatico (massa battente 63.5 kg e altezza di caduta 76 cm).

Nel seguito sono riportati:

- stralcio della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000;
- foto aerea con l'ubicazione dei sondaggi;
- profili stratigrafici con i risultati delle prove SPT;
- documentazione fotografica.

Ing. Bruno Taddei

STRALCIO DELLA CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE (1:25.000)



SONDAGGIO

GEO L'AQUILA s.r.l.

via Casella n. 14 - 67100 L'Aquila - tel. 0862 755102 - e.mail geo.aquila@tin.it

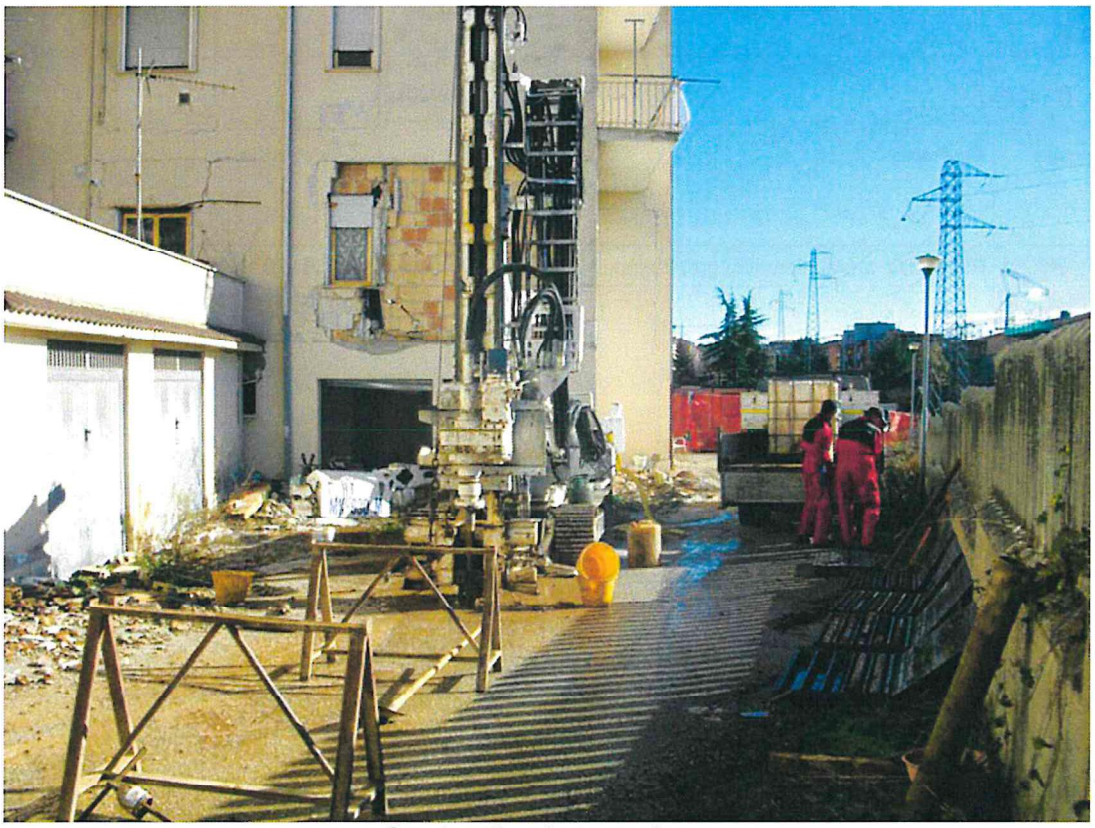
Committente	Sondaggio	Tipo Sonda	Pagina
Dott. Geol. Silvio TATONI	s1	CMV MK900	1/1
Opera	**Profondità raggiunta**	**Tipo Carotaggio**	**Allestimento Foro**
Edificio E.R.P.	25 m	continuo d 101 mm	
Località	**Quota Ass. P.C.**	**Inizio/Fine Esecuzione**	**Coordinate**
via Milonia (L'Aquila)		dicembre 2013	

Profondità (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (mt)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campioni	Falda
		RIPORTO a granulometria grosssolana	0.60	%C=70				
1		LIMO ARGILLOSO a tratti debolmente sabbioso di colore bruno, bruno rossastro e marrone. Presenti livelli con inclusi frammenti calcarei spigolosi; più numerosi nella parte bassa dello strato.	23.20	%C=100				
2					4-4-6			
3					3.00 PC			
4						4.00		
5					3-4-5	5.00		
6					6.00 PC			
7						3.50		
8					4-6-6			
9					9.00 PC	3.00		
10								
11						5.50		
12					6-6-7 12.00 PC	5.00		
13						3.00		
14					6-8-10	3.00		
15					15.00 PC	>6.0		
16						>6.0		
17						>6.0		
18						>6.0		
19						>6.0		
20						5.00		
21								
22								
23								
24		FRAMMENTI CALCAREI in matrice sabbioso-limosa di colore avana	1.20	%C=60				
25								

NOTE:

4.0

4.0



Sondaggio s1: postazione

Sondaggio s1: il materiale campionato da 0 a 5 m

Sondaggio s1: il materiale campionato da 5 a 10 m

Sondaggio s1: il materiale campionato da 10 a 15 m

Sondaggio s1: il materiale campionato da 15 a 20 m

Sondaggio s1: il materiale campionato da 20 a 25 m

ALLEGATO 8

PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA

Sommario

1. PREMESSA 3

2. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO 3

3. STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO ... 4

4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 6

5. Pericolosità sismica di sito 9

5.1. Coefficienti sismici 10

5.2. Stabilità dei pendii e fondazioni 10

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 11

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO 12

1. PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la ***pericolosità sismica di base*** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

2. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nelle NTC08 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \qquad (2.1)$$

dove:

$V_R = periodo\ di\ riferimento$

$V_N = vita\ nominale$

$C_U = coefficiente\ d'uso$

La vita nominale di un'opera strutturale V_N, secondo le NTC08, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- $V_N \leq 10$ anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.
- $V_N \geq 50$ anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico **V_N = 50 anni.**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC08 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. C_U = 0.7;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. C_U = 1.0;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. C_U = 1.5;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. C_U = 2.0;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso $\mathbf{C_U = 1}$.

Una volta ottenuti V_N e C_U, è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R, che qui vale:

$\mathbf{V_R = 50 * 1 = 50}$ **anni**.

3. STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC08 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di $\mathbf{a_g}$ prefissata ($\mathbf{a_g}$ = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\mathbf{l} = 1/T_R$ ($\mathbf{T_R}$ = periodo di ritorno).

Tabella 3.1 – Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stati limite			**P_{VR}**
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \qquad (3.1)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è **V_R = 50 anni**, il tempo di ritorno T_R sarà:

Tabella 3.2 – Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stati limite			T_R
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	**30**
	Stato limite di danno	SLD	**50**
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	**475**
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	**975**

4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV http://esse1-gis.mi.ingv.it/, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_o e **T_C*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (figura 4.2), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

			$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
ID	**LON**	**LAT**	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Figura 4.2 – Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (figura 3), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \qquad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,\ 2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,\ 2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}} \qquad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell'i-esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall'i-esimo vertice della suddetta maglia.

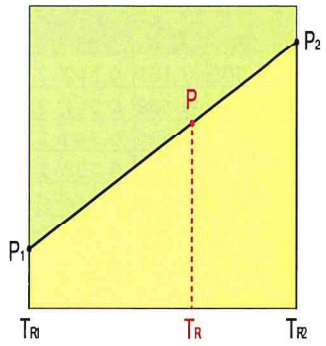


Figura 4.3 – Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura 4.

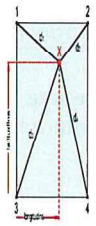


Figura 4.4 – Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lat\alpha) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lat\alpha) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)] \qquad (4.3)$$

dove R = 6371 è il raggio medio terrestre in km, mentre lata, lona, latb e lonb sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di ±0,01g ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

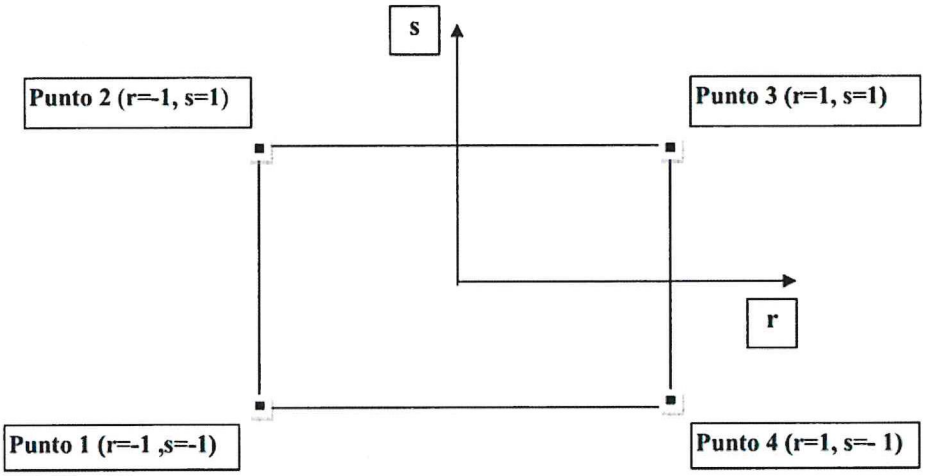


Figura 4.5 – Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r)(1-s)/4 \quad (4.4)$$
$$h_2 = (1-r)(1+s)/4 \quad (4.5)$$
$$h_3 = (1+r)(1+s)/4 \quad (4.6)$$
$$h_4 = (1+r)(1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^{4} h_i x_i = [(1-r)(1-s)x_1 + (1-r)(1+s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1+r)(1-s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^{4} h_i y_i = [(1-r)(1-s)y_1 + (1-r)(1+s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1+r)(1-s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri a_g, F_0, T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^{4} h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

5. Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li

costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

5.1. Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R=-V_R/\ln(1-PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

5.2. Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti K_h e K_v sono così determinati:

$$K_h = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v=\pm 0{,}5 \times K_h$$

Con

βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.
I valori di **βs** sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0{,}2 < a_g(g) \leq 0{,}4$	0,30	0,28
$0{,}1 < a_g(g) \leq 0{,}2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0{,}1$	0,20	0,20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S\, S_T\, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq Ss \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: S_T = 1.0; **T2**: S_T = 1.20; **T3:** S_T =1.2; **T4:** S_T = 1.40.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]
Tipo di interpolazione:	Superficie rigata
Coordinate geografiche del punto	
Latitutine (WGS84):	42,3667100 [°]
Longitudine (WGS84):	13,3767700 [°]
Latitudine (ED50):	42,3676800 [°]
Longitudine (ED50):	13,3776800 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]
1	26305	42,384870	13,354770
2	26306	42,384930	13,422490
3	26528	42,334930	13,422520
4	26527	42,334870	13,354860

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,401	0,272
SLD	50	0,104	2,333	0,281
SLV	475	0,261	2,363	0,346
SLC	975	0,334	2,399	0,364

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,398	0,272
SLD	50	0,104	2,331	0,281
SLV	475	0,261	2,365	0,347
SLC	975	0,334	2,400	0,364

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,400	0,272
SLD	50	0,104	2,332	0,281
SLV	475	0,261	2,364	0,347
SLC	975	0,334	2,400	0,364

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,402	0,272
SLD	50	0,104	2,333	0,280
SLV	475	0,260	2,363	0,346
SLC	975	0,334	2,400	0,363

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,079	2,400	0,272
SLD	50	0,104	2,332	0,281
SLV	475	0,261	2,363	0,346
SLC	975	0,334	2,400	0,364

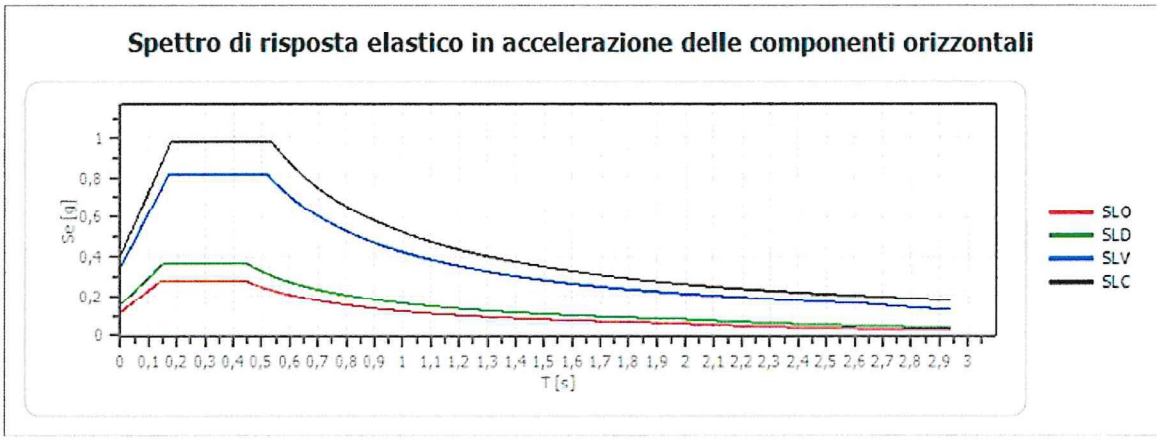
PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso **ξ:5%**
Fattore di alterazione dello spettro elastico **η=[10/(5+)ξ]^(1/2):1,000**
Categoria sottosuolo:
C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).
Categoria topografica:
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,024	0,037	0,097	0,114
kv	0,012	0,019	0,049	0,057
Amax [m/s²]	1,158	1,527	3,400	3,996
Beta	0,200	0,240	0,280	0,280

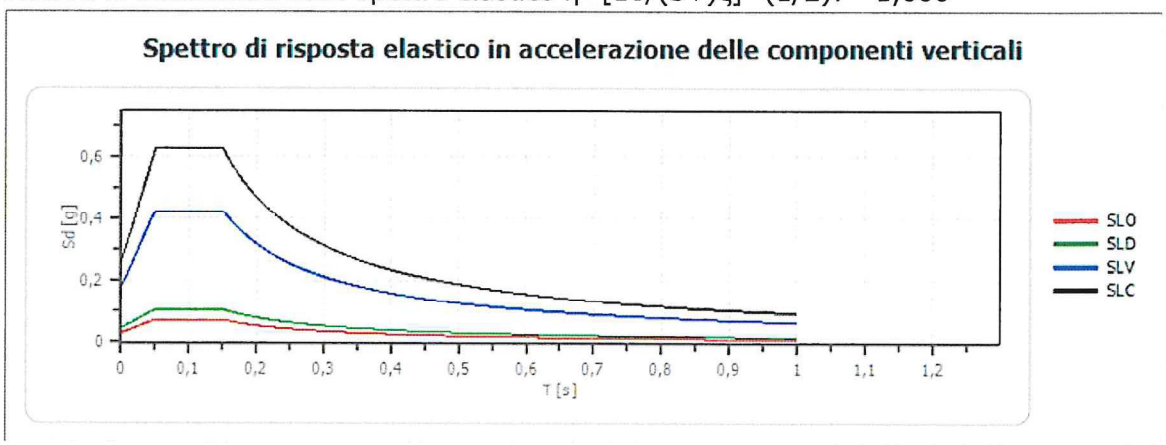
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1	0,079	2,400	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,915	0,118	0,283
SLD	1	0,104	2,332	0,281	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,150	0,449	2,015	0,156	0,363
SLV	1	0,261	2,363	0,346	1,330	1,490	1,000	1,330	1,000	0,172	0,516	2,643	0,347	0,819
SLC	1	0,334	2,400	0,364	1,220	1,470	1,000	1,220	1,000	0,178	0,535	2,936	0,407	0,978

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ: 5 %
Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+)ξ]^(1/2): 1,000

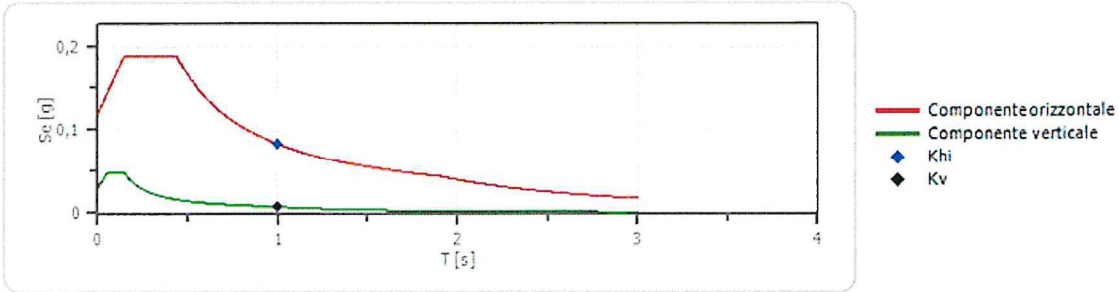


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1	0,079	2,400	0,272	1,500	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,030	0,072
SLD	1	0,104	2,332	0,281	1,500	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,045	0,105
SLV	1	0,261	2,363	0,346	1,330	1,490	1,000	1,330	1,000	0,050	0,150	1,000	0,180	0,425
SLC	1	0,334	2,400	0,364	1,220	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,261	0,625

Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,5
Fattore di struttura spettro verticale q: 1,5
Periodo fondamentale T: 1,0 [s]
khi = Se(T) Orizzontale: 0,083 [s]
kv = Se(T) Verticale: 0,007 [s]

Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



Khi = 0,083 [g]; Kv = 0,007 [g]

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1	0,079	2,400	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,500	0,146	0,438	1,915	0,118	0,189
SLO verticale	1	0,104	2,332	0,281	1,500	1,600	1,000	1,000	1,500	0,048	0,150	1,000	0,030	0,189