
1. PREMESSE

Con Determinazione n° 18 del 23.06.2007 il Comune di Letino ha affidato l'incarico per **“l'adeguamento dello studio geologico da allegare al redigendo P.U.C.”**.

L'insieme delle attività di adeguamento dell'esistente studio geologico allegato al vigente P.R.G. si sono rese necessarie in ottemperanza alla Deliberazione n° 834 di Giunta Regionale (Seduta dell'11 maggio 2007) avente per oggetto le *“Norme tecniche e direttive riguardanti gli elaborati da allegare agli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica, generale ed attuativa, come previsto dagli artt. 6 e 30 della legge regionale n° 16 del 22 dicembre 2004 <Norme sul governo del territorio>”*.

E' stato in primo luogo effettuata una ricerca bibliografica inerente tutti gli studi effettuati sull'area in esame ed in particolare è stata effettuata una catalogazione ed omogeneizzazione sia dalle indagini geognostiche disponibili nello stesso P.R.G. sia da ulteriori indagini effettuate nello stesso territorio comunale per altri interventi e lavori.

Sulla base di tali conoscenze è stato elaborato un piano di indagini geognostiche e geologico-tecniche in ottemperanza alle disposizioni afferenti la zonazione sismica del territorio per poter adeguare lo strumento urbanistico alla nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (O.P.C.M. n° 3274 dell'8 maggio 2003).

La più recente normativa tecnica introduce nuove, più severe e complesse procedure metodologiche per la caratterizzazione sismica, che qui di seguito sinteticamente si riassumono:

- dovrà essere accertato che il sito di costruzione ed i terreni di fondazione in esso presenti siano esenti da pericoli di instabilità dei pendii, liquefazioni, eccessivo addensamento in caso di terremoto, nonché rottura di faglia in superficie. Per costruzioni su pendii le indagini devono essere convenientemente estese al di fuori dell'area edificatoria per rilevare tutti i fattori occorrenti alla valutazione delle condizioni di stabilità del complesso opera-pendio in presenza delle azioni sismiche;
- è introdotto il coefficiente di amplificazione topografica S_t per incrementare l'azione sismica di progetto delle strutture importanti erette sopra o in vicinanza di pendii;

- ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, vengono definite categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (A, B, C, D, E, S1, S2) da caratterizzare sulla scorta dei valori di V_{s30} (velocità di propagazione delle onde S, o di taglio, entro i 30 metri) o di correlazioni empiriche con N_{SPT} (resistenza penetrometrica).

Compongono il presente studio geologico i seguenti elaborati descrittivi e grafici:

Elaborati descrittivi

Relazione geologica	C1
Documentazione delle indagini disponibili	C2
Documentazione delle indagini	C3

Elaborati grafici

Carta con ubicazione delle indagini (<i>Foglio 1</i>)	C.1.1
Carta con ubicazione delle indagini (<i>Foglio 2</i>)	C.1.2
Carta con ubicazione delle indagini (<i>Foglio 3</i>)	C.1.3
Carta con ubicazione delle indagini e della perimetrazione del Parco Regionale del Matese	C.2
Carta geolitologica (<i>Foglio 1</i>)	C.3.1
Carta geolitologica (<i>Foglio 2</i>)	C.3.2
Carta geolitologica (<i>Foglio 3</i>)	C.3.3
Sezioni geologiche	C.4
Carta idrogeologica (<i>Foglio 1</i>)	C.5.1
Carta idrogeologica (<i>Foglio 2</i>)	C.5.2
Carta idrogeologica (<i>Foglio 3</i>)	C.5.3
Carta delle pendenze (<i>Foglio 1</i>)	C.6.1
Carta delle pendenze (<i>Foglio 2</i>)	C.6.2
Carta delle pendenze (<i>Foglio 3</i>)	C.6.3
Carta geomorfologica e della stabilità (<i>Foglio 1</i>)	C.7.1
Carta geomorfologica e della stabilità (<i>Foglio 2</i>)	C.7.2
Carta geomorfologica e della stabilità (<i>Foglio 3</i>)	C.7.3
Carta di microzonazione sismica (<i>Foglio 1</i>)	C.8.1
Carta di microzonazione sismica (<i>Foglio 2</i>)	C.8.2
Carta di microzonazione sismica (<i>Foglio 3</i>)	C.8.3
Carta con indicazione delle aree a rischio idrogeologico (tratta dalla cartografia tematica dell'A.d.B. Liri-Garigliano Volturno) (<i>Foglio 1</i>)	C.9.1
Carta con indicazione delle aree a rischio idrogeologico (tratta dalla cartografia tematica dell'A.d.B. Liri-Garigliano Volturno) (<i>Foglio 2</i>)	C.9.2
Carta con indicazione delle aree a rischio idrogeologico (tratta dalla cartografia tematica dell'A.d.B. Liri-Garigliano Volturno) (<i>Foglio 3</i>)	C.9.3

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio del comune di Letino è identificato nella tavoletta I.G.M. in scala 1:25000 Il N.O. (Gallo) e ricade nel Foglio n° 161 "Isernia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000.

L'intero territorio è delimitato ad ovest dal M.te Pignatello, a nord dal Campo del Figliolo e dal M.te Coppare, ad est dal M.te Ruzzo e a sud dal M.te Sbregavitelli, dalla Sacra Porcoreccia e dal M.te Cappello.

Il territorio comunale è inquadrato nei monti del Matese, un compatto massiccio carbonatico esteso per più di 1000 chilometri quadrati tra le province di Campobasso e Isernia nel Molise, Caserta e Benevento nella Campania. L'assetto globale ed il modellamento del massiccio sono regolati sia da fattori tettonici, sia dalla costanza della litologia, rappresentata essenzialmente da facies calcaree stratificate anche in grosse bancate superanti spesso i due metri di spessore, sia dagli effetti dell'incessante erosione. L'alta solubilità dei carbonati determina una fitta rete di cavità ipogee, specialmente in corrispondenza di piani di fratturazione e di stratificazione. La natura carsica del massiccio produce in genere una scarsa idrografia di superficie. Lo scorrimento superficiale dell'acqua meteorica, infatti, è minima a causa della sua penetrazione nel reticolo delle fessure con stillicidio nelle escavazioni sottostanti fino alla falda freatica.

Il territorio comunale e la sua evoluzione vanno quindi inquadrati nell'insieme di questi processi morfoevolutivi che ne hanno determinato la genesi, l'attuale assetto e ne determinano la sua evoluzione.

Il territorio comunale si presenta come una conca allungata, orientata in direzione est-ovest e fortemente caratterizzata dal controllo strutturale di alcune importanti faglie tettoniche. In tal modo si viene a determinare una netta differenziazione tra l'area centrale del territorio comunale, da pianeggiante a subpianeggiante (piana di Letino) ed il resto del territorio che si presenta prevalentemente montuoso con versanti anche molto acclivi.

Il centro abitato di Letino si colloca nella parte più occidentale della suddetta conca, in corrispondenza di M.te del Castello.

I gruppi montuosi costituenti le unità presenti nel territorio in esame sono formati, nella loro struttura principale, da elementi delle varie facies della serie carbonatica di piattaforma del Mesozoico.

I materiali presenti nella “Conca di Letino” e nella parte orientale della “Conca di Gallo”, compresa nel territorio del Comune di Letino, sono attribuiti alle formazioni mioceniche. I materiali presenti in copertura non permettono di identificare con buona precisione, nelle suddette “conche”, la struttura del basamento.

2.1 Litotipi

Dal punto di vista geolitologico il territorio di Letino può essere identificato dai seguenti litotipi che, dal più antico al più recente, sono rappresentati da:

- calcari di piattaforma afferenti la serie carbonatica del Matese (Giurassico-Langhiano)
- arenarie del Miocene superiore;
- terre rosse di età olocenica;
- alluvioni di età olocenica;
- detrito di falda sciolto o debolmente cementato di età olocenica.

I calcari Giurassici (G) costituiscono la maggior parte dei rilievi presenti nel territorio comunale di Letino; essi sono costituiti da calcari pseudoolitici grigi, calcareniti e calcilutiti grigie. Si presentano molto fratturati in particolar modo in corrispondenza delle linee di frattura tettoniche.

I calcari del Cretacico inferiore (C⁶⁻¹) costituiscono la base dei monti a sud della conca di Letino; sono costituiti da calcari bianchi microcristallini, dolomie saccaroidi grigie e calcari oolitici biancastri stratificati in banchi intensamente fratturati.

I calcari del Paleocene–Campaniano (Pc–C¹⁰), affioranti solo sulla sommità dei monti a nord della piana, sono costituiti da calcareniti bianche ben stratificate alternate a brecciole e conglomerati biancastri con cemento calcareo. Non presentano elevata fratturazione tranne nelle zone con evidenti disturbi tettonici. Presentano invece un contatto di tipo trasgressivo con le altre formazioni.

I calcari dell’Elveziano-Langhiano (Mm³⁻²) si rilevano unicamente nella zona della conca di Gallo facente parte del comune di Letino; sono rappresentati da calcareniti avana e calcari marroni alternati a morene argillose grigie. Si presentano mal stratificati con strati dello spessore di pochi centimetri.

Le arenarie del Messiniano–Tortoniano (Ma⁵⁻⁴) affiorano nella metà occidentale della conca di Letino. In genere sono costituite da arenarie marroni con livelli di marne e argille marnose grigiastre con rare intercalazioni conglomeratiche

nella zona occidentale; nella zona orientale, invece, si rinvencono anche marne ed argille cineree con intercalazioni di arenarie grigio azzurre. Si rinvenno inoltre blocchi calcarei disarticolati (olistoliti).

Le coperture oloceniche (C) presenti in una piccola zona a sud est della conca di Letino sono costituite da terre rosse derivanti dalla deposizione in depressioni di tipo carsico. Nella parte orientale della piana sono, invece, presenti terreni di tipo alluvionale costituiti da sabbie e limi intercalati a lenti di ciottoli e sabbie scure da fini a grossolane (**a**). Detriti di falda (**dt**) sono presenti lungo la maggior parte delle pendici montuose del territorio comunale; sono costituiti per lo più da elementi carbonatici a granulometria molto variabile debolmente cementati e misti a terreni di tipo umifero ed eluviale. Presentano spessori che procedendo da monte verso valle possono variare da 1 a 10 m.

2.2 Tettonica

L'assetto strutturale del territorio è dominato dalla presenza di due importanti sistemi di faglie, il primo orientato in direzione appenninica (NW – SE) e il secondo in direzione antiappenninica (E – W)

L'area è interessata da fenomeni di carsismo dei quali si parlerà più diffusamente in seguito. Dal punto di vista strutturale il basamento carbonatico risulta affetto da faglie che controllano fortemente l'andamento dell'idrografia superficiale.

2.3 Cenni sulla sismicità dell'area

L'area del Sannio-Matese rappresenta uno dei segmenti sismicamente più attivi dell'Appennino Meridionale (Barbano et al., 1989; Branno et al., 1986; Cubellis et al., 1995; Mayer-Rosa et al., 1993), in quanto è stato interessato più volte da eventi sismici distruttivi con intensità elevata (1456, 1688, 1702, 1732, 1805) intervallati da lunghi periodi di quiescenza, nonché da sequenze sismiche di bassa energia (1885, 1903, 1905, 1990, 1992). Attualmente, l'area è caratterizzata da assenza di terremoti ad elevata energia ed è quindi considerata ad elevata pericolosità sismica (Scarpa & Zollo, 1985). Negli ultimi decenni, la sismicità di fondo dell'area è stata caratterizzata da eventi isolati di bassa energia e da piccole sequenze sismiche. La localizzazione di questi eventi ricade prevalentemente lungo il confine tra la Campania ed il Molise ed è concentrata nell'intorno del massiccio del Matese. La magnitudo di questi eventi

raramente ha superato 2.5 e la profondità compresa entro i primi 15 km della crosta. Tre sequenze sismiche sono avvenute negli ultimi quindici anni. Nel Gennaio 1986 una piccola sequenza, costituita da circa 100 eventi con magnitudo compresa tra 2.0 e 4.0, ha interessato una ristretta zona a Nord-Est di Isernia (Alessio et al., 1990). Nel periodo Aprile-Giugno 1990 una intensa attività sismica ha interessato la provincia di Benevento. Circa 300 eventi, dei 1000 registrati, sono stati localizzati in una piccola area di circa 100 km² a Nord-Est di Benevento. La profondità di questi eventi è compresa nei primi 15 km di crosta e l'evento più energetico ($M = 3.6$) si è verificato all'inizio della sequenza (Alessio et al., 1996). Anche la piccola sequenza verificatasi nel Marzo del 1992 ha interessato una ristretta zona circa 10 km a Nord-Est di Benevento. Dei circa 260 eventi registrati, solo 40 hanno superato magnitudo 2.0 e l'evento più energetico ha avuto magnitudo 3.7. La profondità di questi eventi è comparabile con la profondità degli eventi della sequenza del 1990 (Federici et al., 1992). Il 19 Marzo 1997 alle ore 23:10 (GMT) un evento sismico di magnitudo M_d 4.1 ha interessato una ristretta zona del Sannio-Matese lungo il confine tra le province di Benevento e Campobasso. A seguito di questo evento, un'intensa attività sismica ha interessato l'area compresa tra i Comuni di Morcone, Sassinoro e Sepino per circa sei mesi. Circa 2800 eventi sismici, di cui solo 20 con magnitudo maggiore di 3.0, sono stati registrati nel periodo Marzo-Settembre 1997 dalle stazioni sismiche afferenti le Reti Permanenti dell'Osservatorio Vesuviano e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e da due stazioni digitali a tre componenti afferenti la Rete Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (Milano et al., 1998). L'evoluzione spazio-temporale della sismicità, alternando periodi di intensa attività sismica con periodi di relativa quiescenza, ha consentito di dividere la sequenza in più fasi distinte pur conservando il tipico modello a sciami caratteristico delle sequenze sismiche che avvengono lungo l'Appennino meridionale. Le sequenze sismiche che hanno interessato l'area del Sannio-Matese negli ultimi decenni sono avvenute su piccole strutture sismogenetiche secondarie della catena appenninica. Poiché in tempi storici il massiccio del Matese è stato sede di forti terremoti distruttivi sia sul versante Nord sia su quello Sud, il rischio sismico dell'intera area è attualmente molto elevato. Non essendo nota la dettagliata storia sismica dell'area, non è da escludere che le sequenze sismiche avvenute negli ultimi decenni potrebbero rappresentare fenomeni precursori per futuri grossi terremoti lungo le principali strutture sismogenetiche del massiccio del Matese. Pertanto, studi specifici per mitigare il rischio di fronte ad eventi sismici risultano determinanti per il corretto sviluppo del territorio

2.4 Idrografia e idrogeologia

Dal punto di vista idrogeologico il territorio appartiene al bacino idrogeologico del Matese, il cui acquifero principale è costituito dai calcari fagliati, fratturati e alterati dai fenomeni carsici. Il bacino di alimentazione è rappresentato dalla dorsale carbonatica che permette la penetrazione di buona parte delle acque meteoriche. Il reticolo idrografico superficiale non è molto sviluppato, presentando corsi d'acqua a carattere temporaneo e torrentizio con percorsi non evidenti e comunque impostati su lineamenti strutturali preesistenti. L'unico elemento idrografico di rilievo è rappresentato dal Fiume Lete.

2.4.1 I fenomeni carsici del territorio di Letino

Il Massiccio del Matese, come già detto in precedenza, è costituito da una successione carbonatica di età compresa tra il Giurassico ed il Cretacico, presenta uno spessore di circa duemila metri di rocce calcaree, su cui poggiano localmente depositi terrigeni in facies di flysch di età miocenica.

Il carsismo è rappresentato da sistemi ipogei (profondi) quali inghiottitoi e grotte (Grotte di Caùto) e sistemi epigei (superficiali) quali doline e *polje*; esempio di *polje* è il Lago Matese.

Vale la pena sottolineare che la fenomenologia carsica, laddove ben sviluppata, come avviene nel massiccio del Matese, può condizionare l'idrodinamica sotterranea producendo interferenze negli sviluppi degli spartiacque sotterranei e nelle direzioni di flusso. Ovviamente, anche se si tratta di fenomeni a scala locale, appare opportuno effettuare osservazioni anche in questa direzione per completezza di conoscenze.

Nel territorio comunale di Letino il fenomeno del carsismo ha la sua massima espressione nelle *Grotte di Caùto*, sono ubicate al margine occidentale della piana di Letino. Esse corrispondono ad un inghiottitoio naturale in corrispondenza del quale ha inizio il percorso ipogeo del Fiume Lete che riemerge, successivamente, lungo il versante sud-occidentale della stessa dorsale del Matese, all'altezza di Prata Sannita. Dal punto di vista geologico, le Grotte di Caùto hanno origine in corrispondenza di un marcato elemento tettonico distensivo che si estende dalla Piana di Letino sino a Prata Sannita interessando l'intera successione carbonatica ivi affiorante.

Tale successione è costituita, per larga parte, da calcari pseudoolitici, calcareniti, calciruditi e calcari marnosi del Giurassico inferiore passanti verso il basso, ovvero alla base del rilievo che si affaccia su Prata Sannita, alle dolomie e calcari dolomitici del Triassico superiore. Nell'area della Piana affiorano, invece, terreni del

Bacino Molisano costituiti da arenarie, marne ed argille marnose grigiastre rappresentanti l'impermeabile relativo sul quale è impostato il bacino idroelettrico ENEL.

Dal punto di vista idrogeologico, la circolazione idrica sotterranea appare chiaramente influenzata dai caratteri litologici intrinseci delle formazioni affioranti e dalla possibilità di sviluppo di condotti carsici sotterranei lungo le principali linee di discontinuità.

In particolare, l'asse principale delle Grotte (ramo fossile superiore) presenta, almeno nel tratto terminale, sezioni trasversali con elevati valori del rapporto h/b a testimonianza del fatto che i percorsi idrici sotterranei si sono impostati lungo sistemi di discontinuità successivamente allargati dall'azione erosiva chimico-fisica operata dalle acque.

Nel tratto iniziale delle Grotte, invece, il sistema è maggiormente articolato con rami secondari (ad es. quello che conduce al "*salone del bottiglione*") che sembrano seguire l'andamento della stratificazione generale del complesso litologico e con sezioni trasversali aventi rapporto h/b prossimi all'unità, ovvero forme più tipiche dei classici condotti carsici originati dalla prevalente azione disgregante delle acque.

Di non secondario rilievo appare, infine, la considerazione circa il punto di "sbocco" delle Grotte lungo il versante che si affaccia su Prata Sannita; l'affioramento, alla base dello stesso rilievo, dei calcari dolomitici triassici rappresenta, evidentemente, un limite di permeabilità che ha condizionato lo sviluppo, verso il basso, delle stesse Grotte che risultano, pertanto, "sospese" lungo il versante formando un incantevole "balcone" che si affaccia sull'intera piana sottostante.

3. INDAGINI DISPONIBILI

Le indagini geognostiche disponibili consistono in (**prg** indagini piano regolatore generale esistente - **pm** indagini parcheggio multipiano in costruzione - **prcs** indagini piano recupero centro storico):

<i>Id</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>Profondità</i>	<i>Breve descrizione litologica</i>
S1-prg	2.457.441	4.589.421	1050	10	0-10 roccia calcarea molto fratturata
S2-prg	2.457.877	4.589.430	1025	10	0-10 roccia calcarea molto fratturata
S3-prg	2.458.586	4.589.299	952	20	0-15 alternanze di limi e sabbie con intercalati ciottoli calcarei 15-20 argilla grigio blu con ciottoli arenacei
S4-prg	2.458.643	4.589.041	916	15	0-15 alternanze di limi e sabbie a luoghi addensate con intercalati ciottoli calcarei
S5-prg	2.458.173	4.589.352	970	10	0-10 roccia calcarea molto fratturata
S6-prg	2.457.512	4.589.271	950	10	0-5 roccia calcarea molto fratturata 5-6 vuoto 6 7,5 milonite 7,5 10 roccia fratturata
S7-prg	2.457.552	4.589.178	940	20	0-20 alternanze di limi argillosi a luoghi compatti con inclusi ciottoli calcarei
S8-prg	2.457.350	4.589.261	962	18	0-4 riporto 4-18 roccia fratturata
S9-prg	2.457.194	4.589.003	923	20	0-20 alternanze di limi e sabbie a luoghi addensate con intercalati ciottoli calcarei
S10-prg	2.458.048	4.589.149	935	25	0-25 alternanze di limi e sabbie a luoghi addensate con intercalati ciottoli calcarei
S11-prg	2.458.632	4.589.263	940	36	0-22 alternanze di limi e sabbie a luoghi addensate con intercalati ciottoli calcarei 22-36 arenarie grigio blu mediamente addensate
S12-prg	2.458.682	4.588.845	908	40	0-27 alternanze di limi addensate a luoghi scagliosi con intercalati ciottoli calcarei 27-40 arenarie marroni mediamente addensate
S13-prg	2.459.653	4.589.084	947	20	0-20 alternanze di limi e sabbie

S14-prg	2.462.224	4.588.507	908	20	0-20 alternanze di limi e sabbie
S15-prg	2.462.982	4.587.896	1015	20	0-20 alternanze di limi e sabbie a luoghi addensate con intercalati ciottoli calcarei
S1-pm	2.457.829	4.589.289	973	30	0-4 riporto e alluvioni 4-30 calcari fratturati DH suolo B
S2-pm	2.457.843	4.589.291	973	20	0-1 riporto 1-9 detrito calcareo 9-20 calcare da litoide a fratturato
S3-pm	2.457.857	4.589.291	973	20	0-1 riporto 1-7 detrito calcareo 7-20 calcare da litoide a fratturato
S4-pm	2.457.827	4.589.266	964	20	0-20 detrito calcareo
C1	2.457.877	4.589.297	974	20	0-20 roccia calcarea molto fratturata
C2	2.457.705	4.589.419	938	20	0-20 roccia calcarea molto fratturata
C3	2.457.520	4.589.373	1000	20	0-20 roccia calcarea molto fratturata
C4	2.457.445	4.589.298	985	20	0-5 roccia calcarea molto fratturata 5-7,5 vuoto e milonite 7,5-20 roccia calcarea molto fratturata
C5	2.457.445	4.589.297	997	20	0-4 riporto 4-7 calcare rosato fratturato 7-20 roccia calcarea molto fratturata

TABELLA 1.

Analisi e prove di laboratorio significative per la caratterizzazione geotecnica dei litotipi a prevalente componente fine sono state effettuate su n° 11 campioni indisturbati, mentre ulteriori prove sono consistite in:

- n° 5 prove penetrometriche statiche con penetrometro da 10 t, per complessivi 101.50 m;
- n° 24 prove penetrometriche dinamiche standard;
- n° 37 basi sismiche a rifrazione per complessivi 3000 ml di stendimento;
- 1 prova sismica in foro "down hole"

4. PIANO DI INDAGINI INTEGRATIVO

Per la definizione tipologica, numerica e spaziale del piano di indagini integrativo sono stati considerati i seguenti fattori:

- 1) la distribuzione e la tipologia delle indagini disponibili;
- 2) le caratteristiche geomorfologiche dell'area;
- 3) il probabile sviluppo spazio-temporale del centro abitato a valle della posizione attuale e lungo la strada principale da ovest verso est;
- 4) le informazioni derivabili dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico "Rischio di Frana" dell'Autorità di Bacino Liri-Garigliano e Volturno.

Le indagini geognostiche effettuate sono riepilogate nella seguente tabella:

<i>Id</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>Profondità</i>	<i>Breve descrizione litologica</i>
S1	2.457.003	4.588.870	911	20	Argilla di colore grigio con clasti carbonatici da millimetrici a centimetrici con livelli detritici. Molto compatta.
S2	2.457.215	4.589.279	974	30	2 m di riporto cui segue un calcare grigio fratturato privo di alterazioni. DH suolo B tendente ad A
S3	2.457.795	4.588.749	901	25	6,50 m di una successione detritico-alluvionale in matrice sabbioso limosa cui segue un'argilla marnosa grigiastra compatta.
S4	2.457.676	4.589.049	916	30	0-9 m successione fliscioide in facies eluvio-colluviale cui segue un'alternanza di argilliti e calcareniti in sede. DH suolo B
S5	2.458.556	4.589.145	925	20	0-2 m successione fliscioide in facies eluvio-colluviale cui seguono argilliti marnose scagliettate
S6	2.459.173,8	4.588.974,1	925	27,5	Successione detritico-alluvionale ad elementi calcarei in matrice argillosa di colore marrone
S7	2.457.003,4	4.588.870,4	911	12	0-2 m successione fliscioide in facies eluvio-colluviale cui seguono argilliti marnose scagliettate

TABELLA 2.

- Esecuzione di n° 14 prove SPT in foro;
- Prelievo di n° 3 prelievi di campioni indisturbati;
- Esecuzione di n° 4 stendimenti di sismica a rifrazione di superficie di sviluppo singolare pari a circa 100 m, per complessivi 400 metri lineari di stendimento;
- Esecuzione di n° 2 prove sismiche in foro tipo "down-hole" per la determinazione del parametro V_{s30} .

Le analisi e prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi sono risultate necessariamente ridotte a causa della notevole tettonizzazione dei litotipi di maggiore interesse geotecnico (facies argillose delle formazioni terrigene mioceniche), cosicché gli accertamenti eseguiti vanno intesi come elementi di verifica e confronto con l'insieme dei dati ed informazioni già disponibili. In particolare, sono state eseguite:

- n° 2 determinazione delle caratteristiche fisiche generali
- n° 1 prova di taglio diretto consolidata drenata

L'insieme delle indagini e prove eseguite è stato finalizzato al chiarimento di alcune problematiche riguardanti le formazioni affioranti nelle aree poste immediatamente a valle del centro abitato ed in particolare alla corretta delimitazione delle coltri detritiche ed alluvionali ed ai loro reciproci rapporti.

4.1 Risultanze dei sondaggi

Le perforazioni di sondaggio, realizzate con il supporto operativo della società di servizi "GEONET italia s.a.s.", sono state eseguite nel periodo compreso tra il 2 ed il 26 luglio 2007.

Sono state effettuate n° 7 perforazioni di sondaggio a rotazione e carotaggio continuo di profondità variabile tra i 12.00 m (S7) ed i 30.00 m (S2 ed S4).

In tutti i fori di sondaggio, con l'unica eccezione della verticale S6, è stato intercettato il substrato locale costituito o dalla successione carbonatica dei rilievi bordieri della Piana di Letino (S2) o dalla serie fliscioide miocenica presente tra la base dei suddetti rilievi e le aree di fondovalle topograficamente più depresse (S1, S3, S4, S5 ed S7).

Procedendo da monte verso valle, il substrato fliscioide appare ricoperto da una coltre di alterazione eluvio-colluviale progressivamente più spessa (da circa 2 metri nei fori di sondaggio S5 ed S7 a circa 9 metri nel foro di sondaggio S4) a testimonianza del tipo di processi morfo-evolutivi che hanno coinvolto tale successione nel passato e dei quali se ne conserva traccia nel particolare andamento morfologico delle relative aree di affioramento.

In merito, invece, all'intenso controllo operato dalla tettonica sull'attuale configurazione della Piana di Letino valgono le risultanze stratigrafiche del foro di sondaggio S6 realizzato lungo la sponda destra del Fiume Lete. L'intera verticale

esplorata (27.50 m) risulta costituita da una successione detritico-alluvionale a testimonianza di un considerevole “ribassamento” dei terreni del substrato in corrispondenza della lineazione tettonica dove si è successivamente impostato il corso d’acqua del F. Lete.

4.2 Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio, disponibili e/o specificamente eseguite, consentono le seguenti considerazioni:

- ❑ I termini a grana fine della serie fliscioide miocenica sono granulometricamente ascrivibili ai “limi” e subordinatamente alle “sabbie”.
- ❑ Il peso dell’unità di volume a contenuto d’acqua naturale risulta mediamente pari a circa 19 kN/m³ con valori di porosità e di contenuto d’acqua rispettivamente del 35÷40% e del 25÷30%.
- ❑ I parametri di resistenza in condizioni drenate indicano valori dell’angolo di attrito interno dell’ordine di 25÷30° e della coesione effettiva di 10÷15 kPa.

Nella tabella e nei grafici che seguono è riportato il dettaglio delle informazioni disponibili rimandando ai certificati allegati per una più dettagliata analisi di quanto eseguito e/o disponibile.

4.3 Indagini geofisiche

4.3.1 Sismica a rifrazione

La sismica a rifrazione, è stata eseguita con apparecchiatura computerizzata modulare A6000S/E per Sismica e Geoelettrica. L’unità è totalmente computerizzata e tutte le funzioni sono scelte da menù attraverso il *Touch screen* integrato nel monitor. Il display LCD da 6,4” Tft a colori permette la rappresentazione sia numerica sia grafica dei dati acquisiti. L’apparecchiatura ha le seguenti caratteristiche:

- CPU NS Geode GXLV 300 MHz
- 128 Mb RAM Memory
- 2 Gb Hard Disk on Compact Flash Disk
- 10,5” Tft color LCD Display, tranflex, touch screen
- Sample for channel: 20.000
- Sampling: from 50 to 15.000 c/s

-
- Resolution: 24 bits
 - Max signal IN: +/- 10 V
 - Bandwidth: from 0 to 8 KHz
 - Geofoni Verticali (freq. 10-14 Hz)

Come è noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, utilizzando per l'energizzazione un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva.

Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione.

Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V_1) e lo strato ad esso sottostante (V_2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ($V_1 < V_2$). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.

L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e quindi delle velocità delle onde acustiche, in particolare delle onde P, si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine.

Le onde P sono anche chiamate Onde Primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde.

Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda.

Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria.

La velocità con la quale le onde P si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno.

Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che *"in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme di onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)"*.

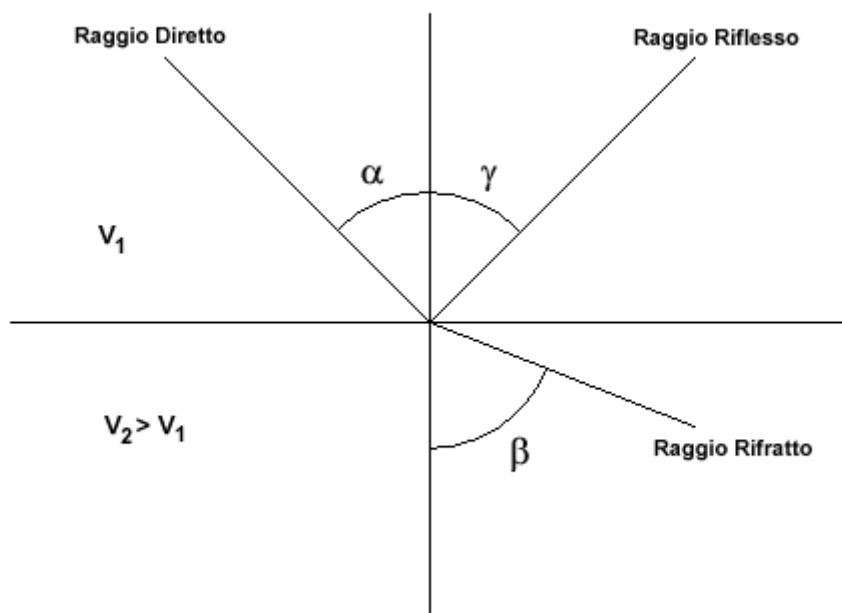
La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase.

Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:



per la riflessione: $\alpha = \gamma$

per la rifrazione: $V_1 \cdot \sin \alpha = V_2 \cdot \sin \beta$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (i_c) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende $\beta=90^\circ$.

Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° gradi l'onda rifratta, secondo la teoria di Huygens, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato.

Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.

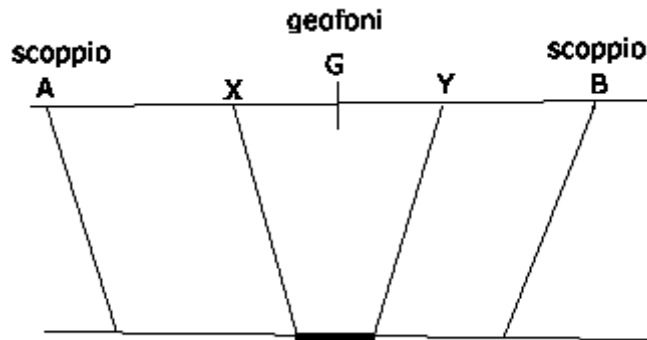
Metodo di interpretazione (Generalized Reciprocal Method - GRM)

Il metodo reciproco generalizzato è stato sviluppato per sormontare alcune imperfezioni dei metodi più semplici, i quali sono messi in difficoltà dalla presenza di superfici, topografiche o del sottosuolo, particolarmente accidentate.

Il metodo di Palmer utilizza due funzioni: la funzione di analisi-velocità e la funzione tempo-profondità.

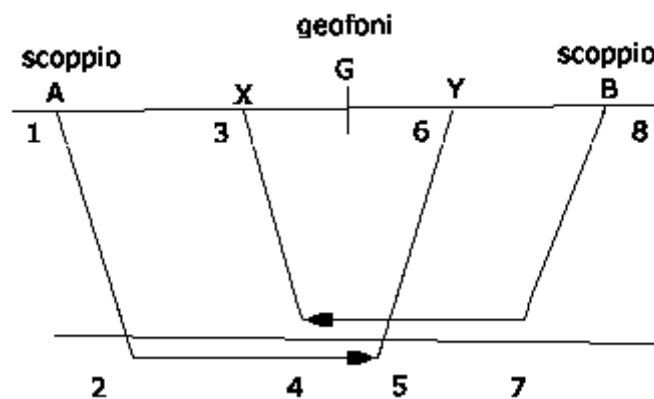
La funzione Analisi Velocità

La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione dal rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.



La funzione analisi-velocità, riferendosi alla figura sottostante, è definita dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$
$$t_{AY} = (12) + (34) + (45) + (56)$$
$$t_{BX} = (78) + (57) + (45) + (34)$$
$$t_{AB} = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)$$
$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$



Il valore di questa funzione è riferito al punto mediano G fra X ed Y.

Producendo i grafici dei tempi di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità V_2 del rifrattore, indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza il calcolo è dunque la scelta dei geofoni XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto d'uscita sul rifrattore sia comune, il tempo

di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

La funzione Tempo-Profondità

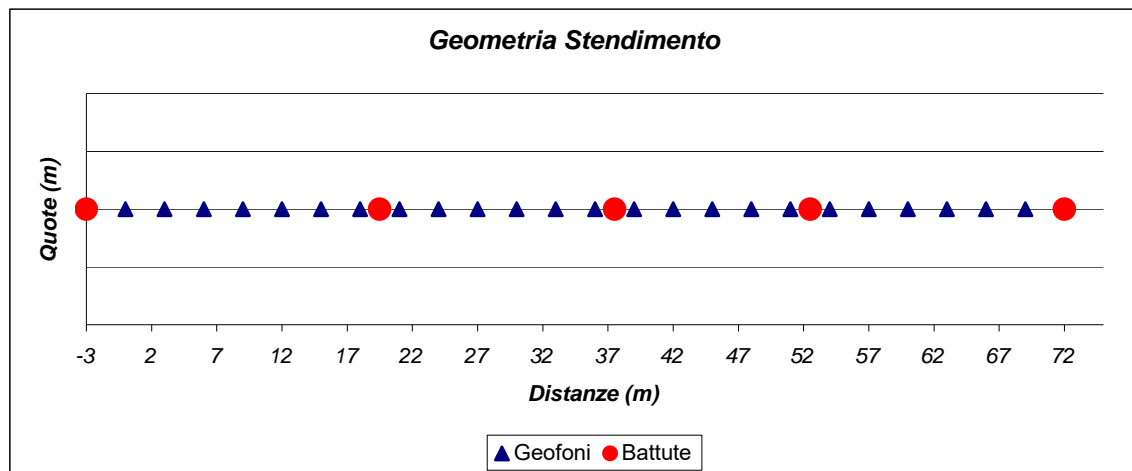
Il metodo GRM prevede ora la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono. Facendo riferimento alla figura precedente la funzione generalizzata tempo-profondità è definita dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V_2)}{2}$$

Calcolo del valore di XY ottimale

La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente determinati: se sono noti gli spessori e le velocità di ciascuno strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente, quindi applicando un procedimento iterativo è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.

Il rilievo è stato eseguito con la geometria riportata nello schema che segue:



L'utilizzo di 5 punti di battuta ha permesso una elaborazione di dettaglio con il programma dedicato "Intersism" della Geo&Soft che permette, tramite l'uso del Metodo Generalizzato di Palmer la corretta definizione geometrica degli orizzonti di terreno presenti. Essenzialmente la campagna di sismica a rifrazione è servita per chiarire gli spessori delle coperture presenti in alcune aree di incerto assetto geologico; ha permesso di definire, oltre agli spessori dei terreni presenti, anche le

velocità per una correlazione con la geofisica eseguita per il vigente PRG e le prove sismiche in foro effettuate ex novo.

4.3.2 Sismica in foro tipo "Down-Hole"

Il rilievo sismico down hole è fra i metodi più semplici ed economici ed è quindi molto usato. La sorgente sismica è posizionata in superficie ad una distanza fissa dalla bocca del foro. I tempi di percorso dei primi arrivi delle onde sismiche generate sono misurati ad intervalli di profondità regolari tramite un geofono a cinque componenti, 4 orizzontali a 4,5 Hz e una verticale a 13 Hz spostato gradualmente all'interno del foro. Tale geofono registra gli spostamenti (tradotti sotto forma di impulsi elettrici) lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) (per le direzioni x e y si ha una doppia registrazione sfalsata di un angolo di 45°).

Le onde sismiche possono essere generate energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y). Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle compressive e quindi raggiungeranno il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda S. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale.

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non inferiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'energizzazione fornita al terreno e l'inizio della registrazione sul sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un secondo geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro. La forma d'onda restituita da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente rispetto a quello che avanza in profondità, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo del treno d'onda. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono

è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

La prima fase dell'elaborazione consiste nella determinazione dei Primi Arrivi sia delle onde P sia delle onde S. Il "picking" dei tempi delle onde P è una operazione semplice, mentre per la corretta individuazione dell'arrivo delle onde S è necessario individuare l'inversione di fase dell'onda di taglio: per tale scopo si effettua la sovrapposizione dei sismogrammi ricavati per la stessa profondità dai due punti opposti di battuta; sovrapponendo le tracce si avrà la corretta localizzazione delle onde S quando si noterà il movimento uguale ed opposto della fase d'onda.

Il programma utilizzato per l'interpretazione sfrutta in modo integrato diverse metodologie, dalla *cross-correlation* alla *wavelet-analysis*, reiterando il procedimento per raffinare i risultati ottenuti con continui controlli della compatibilità tra i tempi identificati e quelli derivati dall'interpolazione dei geofoni in superficie. I Primi Arrivi possono quindi essere verificati, ed eventualmente corretti manualmente, operando direttamente sui segnali originali.

La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone. Utilizzando formulazioni analoghe a quelle precedentemente descritte, si individuano le dromocrone e determinano le velocità e gli spessori degli strati incontrati.

Successivamente alla costruzione delle dromocrone ed alla determinazione della velocità di propagazione del segnale sismico nei diversi strati di terreno, avendo acquisito il dato inerente la densità dei litotipi attraversati durante la perforazione si potranno calcolare i moduli elastici caratteristici.

Modulo di deformabilità (E): è detto anche modulo di Young o di elasticità. Esprime il rapporto tra uno sforzo e la corrispondente deformazione che si genera lungo la direzione di applicazione dello sforzo medesimo.

Modulo di taglio (G) o modulo di rigidità: esprime il rapporto tra lo sforzo di taglio esercitato parallelamente alla superficie di taglio e la deformazione corrispondente

Coefficiente di Poisson : esprime il rapporto tra la deformazione ϵ perpendicolare alla direzione di applicazione dello sforzo e quella longitudinale.

Modulo di volume K: esprime il rapporto tra una pressione di tipo idrostatico e la deformazione subita dal materiale. E' detto anche modulo di incomprimibilità o *Bulk modulus*.

5. LA ZONAZIONE SISMICA

Un evento tellurico in una regione genera un cambiamento delle condizioni al contorno, cambiamento indotto dalla propagazione di onde sismiche attraverso il terreno. Le onde sismiche, in questo modo, propagandosi soprattutto nello strato più superficiale della crosta terrestre, subiscono riflessioni e rifrazioni causate dalle eterogeneità della crosta stessa, arricchendo così un ipotetico segnale registrato da un sismografo.

Per questo motivo anche gli effetti che si manifestano, di tali fenomeni, sono differenti da luogo a luogo in quanto modificano le caratteristiche del terreno interessato dal sisma. Queste alterazioni possono limitarsi a semplici variazioni delle caratteristiche visco-elastiche dei materiali, oppure possono dare luogo a stress che possono portare al collasso di edifici.

I danni provocati a questi e più in generale alle opere di origine antropica, da tali eventi, sono di conseguenza legati ai fattori che compongono la definizione di rischio. **Il rischio è infatti il prodotto tra pericolosità e vulnerabilità**, dove per pericolosità si intende la possibilità che un dato evento si verifichi in una determinata area in un delimitato lasso di tempo, mentre per vulnerabilità si intende la predisposizione da parte di persone, beni o attività a subire danni o modificazioni a causa del verificarsi dell'evento.

La microzonazione sismica mira quindi a mitigare gli effetti dei terremoti che possono verificarsi in un'area. Ha come scopo quello di individuare aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica.

Per fare ciò va effettuata innanzitutto un'indagine di tipo geologico e geomorfologico per l'identificazione di siti che presentano caratteristiche simili, successivamente si effettuano indagini di tipo geotecnico e geofisico atte a caratterizzare i siti dal punto di vista sismico e a raccogliere dati sui parametri meccanici dei mezzi.

La nuova normativa sismica D.L. 112/98, ha infatti diviso in cinque diverse categorie di profilo stratigrafico, i terreni che compongono i primi 30 m (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		V _{s30} m/s	NSPT	c _u kPa
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale	> 800		

	di spessore massimo di 5 m			
B	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	< 800 > 360	> 50	> 250
C	<i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</i>	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i>	< 180	< 15	< 70
E	<i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s</i>			
S1	<i>Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua</i>	< 100		< 20 > 10
S2	<i>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti</i>			

Il parametro V_{s30} , rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1}^N h_i / V_i$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Gli effetti di sito calcolati, per la microzonazione sismica, mettono in evidenza la disomogeneità tra le zone con differenti successioni litologiche; può accadere infatti che zone adiacenti siano interessate da amplificazioni di entità differente e, quindi, provocare danni di diversa entità.

Per questo motivo viene studiata l'amplificazione attraverso una colonna sismostratigrafica, considerando la propagazione verticale delle onde di taglio, in una struttura a strati piano paralleli. La funzione di amplificazione calcolata tiene conto dei parametri legati alle caratteristiche litologiche, sismostratigrafiche e topografiche che possono modificare le caratteristiche dell'onda sismica.

Per la zonazione del territorio comunale sono stati calcolati i valori del parametro V_{s30} su 64 verticali. Tale studio è avvenuto secondo la seguente procedura:

- Creazione di un database contenente tutte le indagini geofisiche e geotecniche disponibili

- Ricostruzione dettagliata dell'assetto geologico locale
- Ricostruzione dei profili di velocità per le onde P ed S con dati diretti ed estrapolati e calcolo del parametro V_{s30}
- Omogeneizzazione del parametro V_{s30} per aree geologicamente simili fino alla copertura dell'intero territorio

Per quanto riguarda il primo punto si è proceduto riunificando ed omogeneizzando insieme tutte le indagini effettuate sul territorio comunale. Dopo aver raccolto ed ubicato correttamente tutte le indagini esistenti, per completare il secondo passo, si è passati alla ricostruzione geologica di dettaglio per i primi 30 m di sottosuolo in corrispondenza dei punti di indagine; l'estrapolazione fino ai 30 m è stata possibile anche ove le indagini non raggiungevano tale profondità integrando le informazioni necessarie con numerose ricognizioni sul campo che hanno consentito l'univoca identificazione del generale assetto geologico del territorio.

Il terzo punto ha visto l'assegnazione delle velocità V_p e V_s ai litotipi individuati lungo le suddette verticali; l'individuazione delle corrette velocità è avvenuta valutando tutte le indagini geofisiche disponibili e le caratteristiche geologiche in sito, principalmente la fratturazione. E' stata così ricavata la seguente tabella:

Litotipi	V_p media	V_s media
Calcari	260 0	1400
Calcari fratturati	180 0	800
Argille grigie compatte	190 0	750
Arenarie	180 0	700
Flysch	170 0	650
Detrito	110 0	500
Alluvioni	600	350
Terre rosse	600	350
Coperture agrarie	500	200

TABELLA 3.

L'applicazione dei suddetti valori di riferimento ha consentito il calcolo, seppur in alcuni casi indiretto, del fattore V_{s30} in corrispondenza delle diverse verticali di sondaggio.

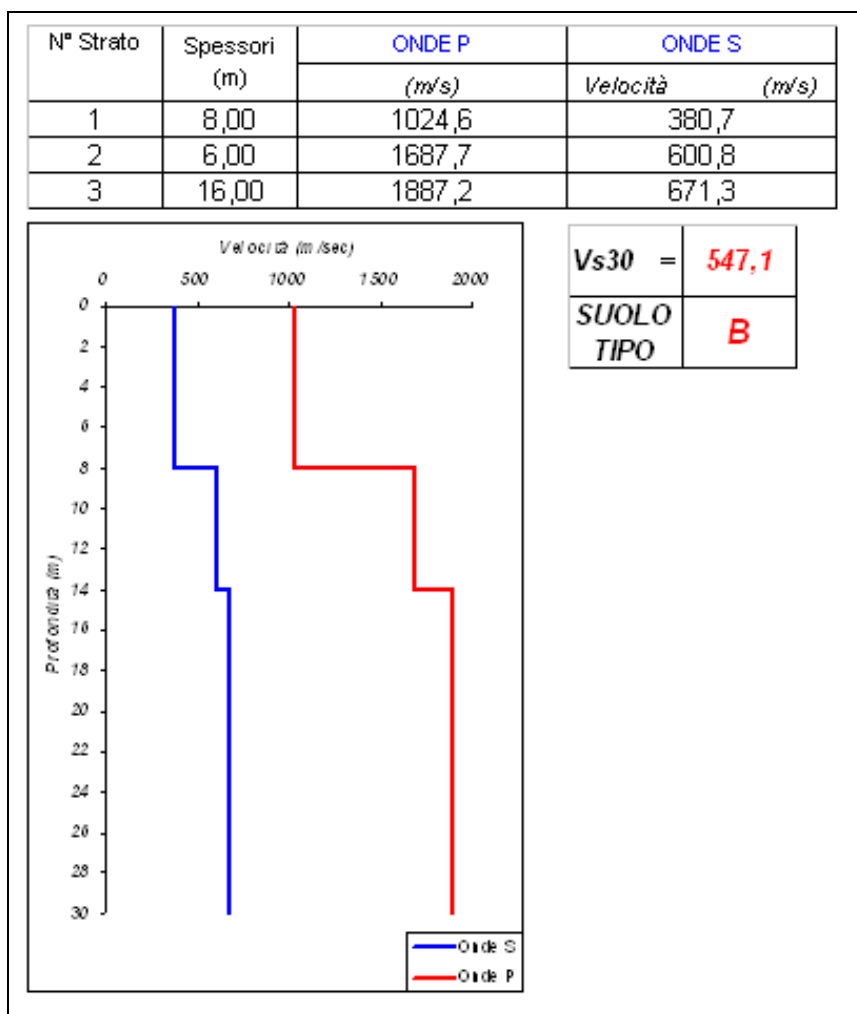


Fig.1. Esempio di calcolo del parametro V_{s30} su una verticale

Dalla conoscenza dell'assetto geologico del territorio è stato dunque possibile individuare aree omogenee alle quali assegnare un unico valore del V_{s30} ; per fare ciò si è anche tenuto conto della carta delle pendenze e di quella della stabilità al fine di valutare, anche nelle zone di versante, non coperte da indagini dirette, il più corretto spessore delle coperture che insistono sul substrato carbonatico.

Ad ulteriore conferma del metodo utilizzato si è proceduto ad un confronto tra le V_{s30} calcolate come descritto in precedenza e il valori di N_{SPT} ottenuti dalle prove penetrometriche effettuate nei fori di sondaggio, come previsto dalla normativa.

Tenendo conto dei valori significativi di N_{SPT} , cioè di quelli che realmente rappresentano il litotipo attraversato, si è elaborata la seguente tabella:

Sondaggio	Vs interpolata (m/s)	cat	Vs Nspt	cat
S9 prg	650	B	5,00) 24 10,00) R	cb
S13 prg	650	B	5,00) 36 9,00) 58	c b
S14 prg	650	B	6,00) 40 15,00) 19	c
S1 puc	600	B	4,00) 61 9,00) R 15,00) R	B
S3 puc	500 650	B	3,00) R 7,00) 88 12,00) 69	B
S4 puc	400 650	B	6,50) 74 12,00) R	B
S5 puc	600	B	4,50) 83 9,00) 72 12,00) R	B

TABELLA 4.

Per quanto non possibile un immediato confronto in quanto i valori di N_{SPT} sono riferiti ad una porzione di strato spessa 45 cm, si nota tuttavia una buona correlazione tra i dati ottenuti, specialmente se viene tenuto conto del quadro geologico d'insieme.

I risultati hanno portato alla individuazione di 2 microzone sismiche facenti parte delle categorie **A** e **B** riportate dalla normativa vigente ed una zona di transizione o sottozona **B→A** individuata secondo criteri che saranno di seguito illustrati.

Le zone **A** coincidono essenzialmente con le aree di affioramento dei calcari o di litotipi omogenei e continui come le arenarie. Tali zone si distribuiscono essenzialmente nelle zone di versante e in parte nei pressi dell'abitato di Letino dove le pendenze sono elevate e non vi è la possibilità di formazione di coperture eluviali o detritiche.

Le zone di tipo **B** interessano principalmente le aree pianeggianti dove vi sono coperture agrarie di spessore comunque modesto che insistono su formazioni arenacee e detritiche.

La sottozona di transizione **B→A** è una zona che da normativa vigente apparterrebbe al tipo B ma che tuttavia presenta valori di V_{s30} sempre superiori a 700 m/s e forte disomogeneità geologica verticale; presentano velocità molto basse per i primissimi metri per poi passare a velocità delle onde S molto spesso superiori agli 800 m/s. Viste queste caratteristiche, si è preferito differenziare tali zone poiché, anche se nel loro assetto attuale a norma di legge devono essere considerate di tipo B, possono essere facilmente migliorate con modesti interventi di bonifica dei primi metri di suolo (*N.B. resta comunque inteso che per l'utilizzo di tali aree come zone di tipo A è fatta comunque prescrizione di nuove indagini certificate*). Le zone di transizione **B→A** interessano essenzialmente le aree di passaggio dalla zona pianeggiante ai versanti calcarei e alcune zone di altopiano con scarsi spessori di coperture (vedi cartografia).

5.1 Risposta sismica locale (RSL)

Con il termine risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

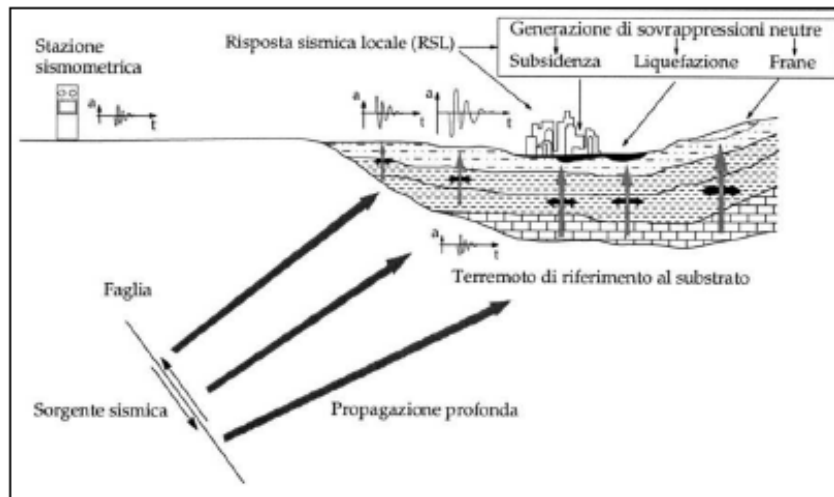


Fig. 2. Propagazione di un evento sismico

Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che lo caratterizzano.

Tali indagini riguardano la definizione dei seguenti aspetti:

1. *Stratigrafia delle formazioni superficiali con dettagliata definizione dell'andamento dei contatti tra di esse;*
2. *Profili di velocità delle onde sismiche trasversali e longitudinali dentro le formazioni superficiali;*
3. *Caratteristiche meccaniche dei terreni delle formazioni superficiali con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;*
4. *Morfologia di dettaglio dell'area.*

Per gli studi di risposta sismica locale finalizzati alla previsione delle azioni sismiche di progetto sui manufatti è necessario caratterizzare il comportamento meccanico del terreno mediante la determinazione dei parametri V_s (velocità delle onde di taglio), G_0 / G_{max} (modulo di taglio a piccole deformazioni; vedi fig. 1,3,4), R (rigidità sismica), E_d (modulo di elasticità dinamico) ed A (amplificazione sismica).

5.2 Valutazione degli effetti locali

E' noto che le caratteristiche del moto sismico in corrispondenza di un substrato roccioso sono differenti da quelle in corrispondenza dell'interfaccia substrato-copertura, proprio a causa della presenza della copertura.

Una valutazione più adeguata e completa dell'effetto di modifica del moto sismico esercitato dal terreno è rappresentata dalla cosiddetta "funzione di amplificazione".

La funzione di amplificazione fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" del terreno sulle onde sismiche, ma la sua conoscenza non è sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie del terreno.

È stata effettuata una valutazione della **Risposta Sismica Locale (RSL)** per via analitica con riferimento a quattro verticali tipo derivate dall'insieme dei dati litostratigrafici disponibili.

Per il calcolo della RSL è stato utilizzato il codice di calcolo **NERA (Non-linear Earthquake site Response Analysis of layered soil deposits)** sviluppato e pubblicato dal Dipartimento di Ingegneria Civile della "University of Southern California USA" da Bardet e Tobita nel 2001, basato su un modello di sottosuolo reale, a masse "concentriche" con molle e smorzatori di tipo viscoso posizionati in corrispondenza della superficie degli strati, in modo da costituire un sistema ad "*n*" gradi di libertà. Il modulo NERA nasce da una precedente esperienza scientifica che aveva portato a definire, partendo dall'ipotesi di un modello di terreno stratificato in condizioni viscoelastiche, un modulo di calcolo denominato **EERA (Equivalent linear Earthquake site Response Analysis of layered soil deposits – T. Bardet, K. Ichii, C. H. Lin, 2000)**, che restituiva un'analisi spettrale locale attraverso un modello di tipo lineare. In questo lavoro, si è preferito partire da un modello di sottosuolo a masse concentriche e si è dunque scelto di utilizzare un'analisi di tipo non-lineare, la quale consente di restituire valori spettrali e di accelerazioni più attendibili. Il programma di calcolo NERA è stato applicato nell'ipotesi di un sottosuolo costituito da unità litotecniche a stratificazione parallela, da un volume di terreno considerato sufficientemente lontano dai fianchi dell'unità litotecnica e dalle dimensioni orizzontali delle unità sufficientemente elevate rispetto agli spessori in gioco. L'analisi di risposta locale è effettuata risolvendo l'equazione del moto, nota l'eccitazione sismica al *bedrock*, che rappresenta la storia temporale dell'accelerazione.

Gli strumenti utilizzati per la scelta dell'input sismico sono:

-
- un database da cui estrarre dei dati di pericolosità di base (Servizio Sismico Nazionale Progetto Rischio Sismico 2001, Sabetta et alii 2003);
 - il codice di calcolo Belfagor per la generazione di accelerogrammi sintetici (vedi fig.1); tale codice, basato sui principi teorici del lavoro di Sabetta e Pugliese del 1996, permette di generare accelerogrammi la cui durata, ampiezza, inviluppo e distribuzione delle fasi sono determinate dalla magnitudo e dalla distanza dell'evento sismico che si vuole simulare. In una seconda fase poi, il codice permette di adeguare lo spettro di risposta allo spettro desiderato in maniera iterativa, ottenendo così un accelerogramma che ottempera pienamente a tutti i requisiti richiesti dalla normativa.

In relazione alla sismicità dell'area si è ritenuto significativo l'utilizzo di una simulazione di un evento sismico di magnitudo di 6.8 e distanza epicentrale pari a 30 km dal territorio comunale di Letino.

L'accelerogramma così ottenuto tiene conto dei parametri di scuotimento del terreno attesi su sito rigido e aventi probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno equivalente = 475 anni)

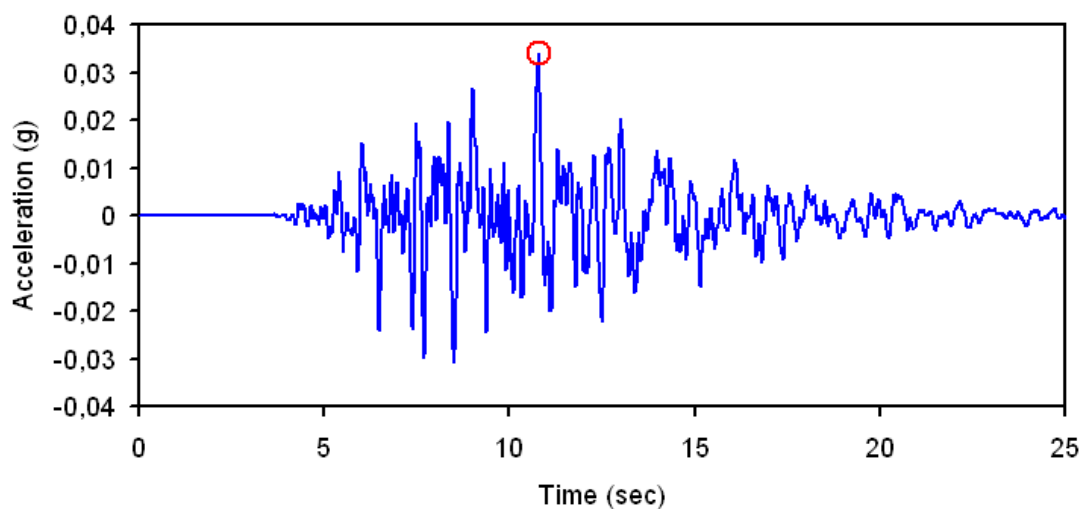


Fig. 3. Accelerogramma sintetico da codice Belfagor: magnitudo 6.8 distanza epicentrale 30 km

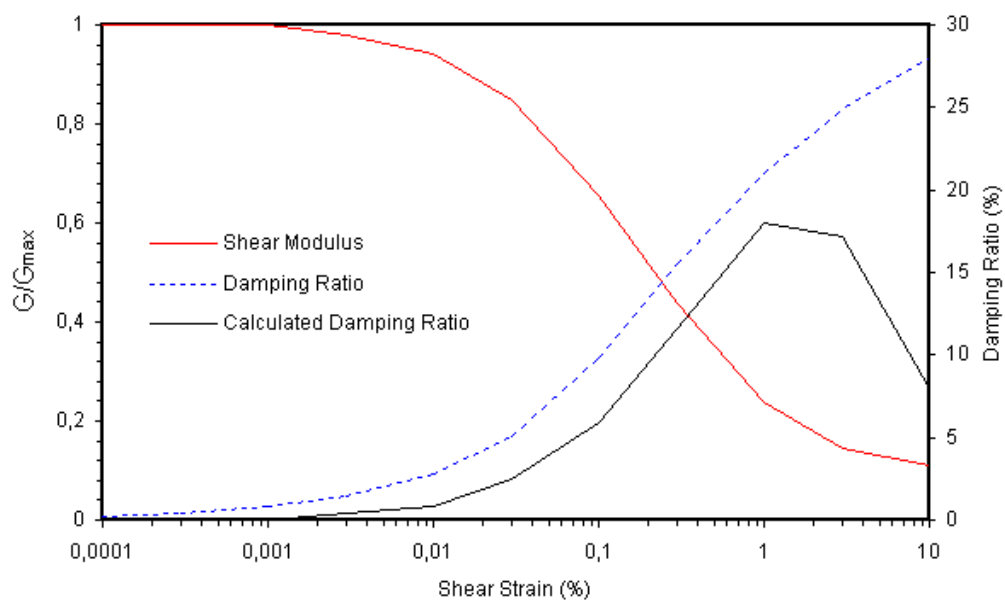


Fig. 4. Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) - Upper range and damping for clay (Idriss 1990)

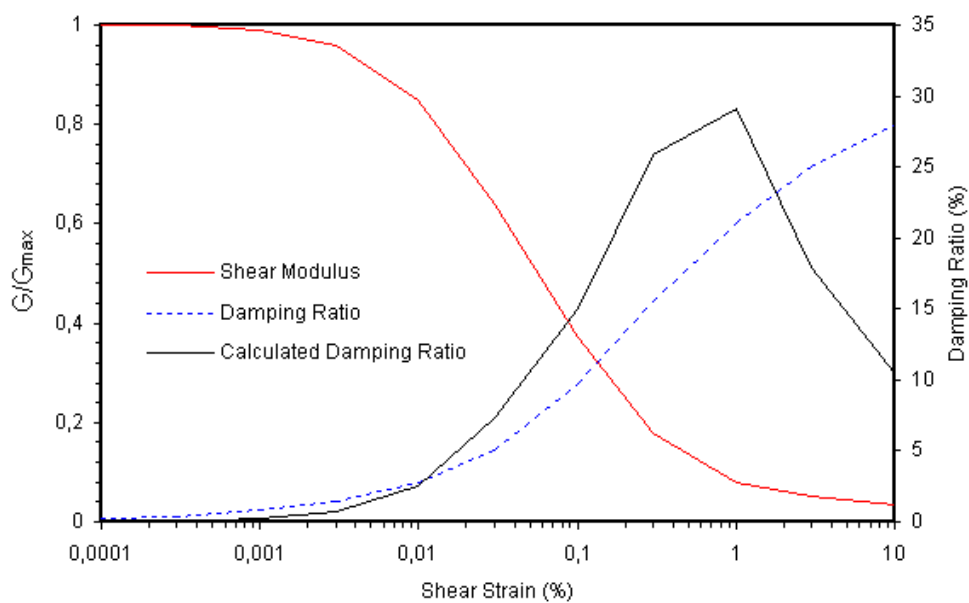


Fig. 5. Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990)

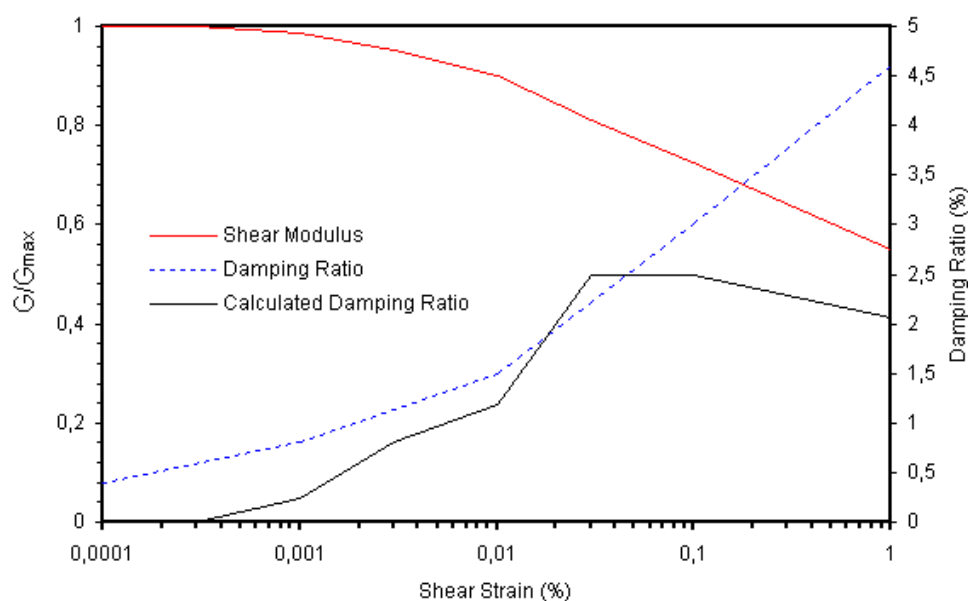


Fig. 6. Attenuation of rock average and damping in rock (Seed & Idriss 1970)

I quattro casi in esame sono riassumibili come segue:

CASO 1

Spessore (m)	Litotipo
2	<i>Coperture</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Calcari</i>

CASO 2

Spessore (m)	Litotipo
2	<i>Copertura</i>
8	<i>Depositi limoso sabbiosi</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Flysch marnoso arenaceo</i>

CASO 3

Spessore (m)	Litotipo
5	<i>Coperture</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Flysch marnoso arenaceo</i>

CASO 4

Spessore (m)	Litotipo
1	<i>Coperture</i>
50	<i>Depositi detritico-alluvionali</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Calcari</i>

CASO 1

Spessore (m)	Litotipo
2	<i>Coperture</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Calcari</i>

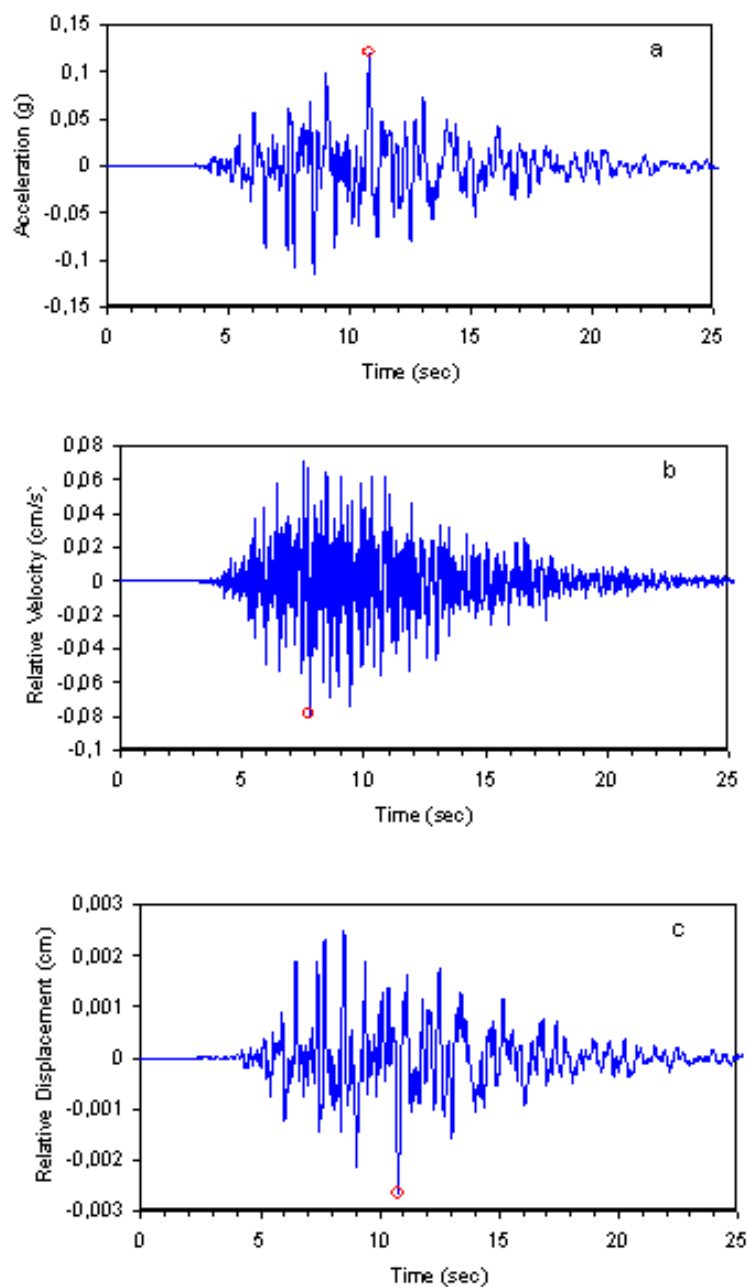


Fig. 7. Condizioni di moto al suolo; a) accelerazione b) velocità c) spostamento relativo

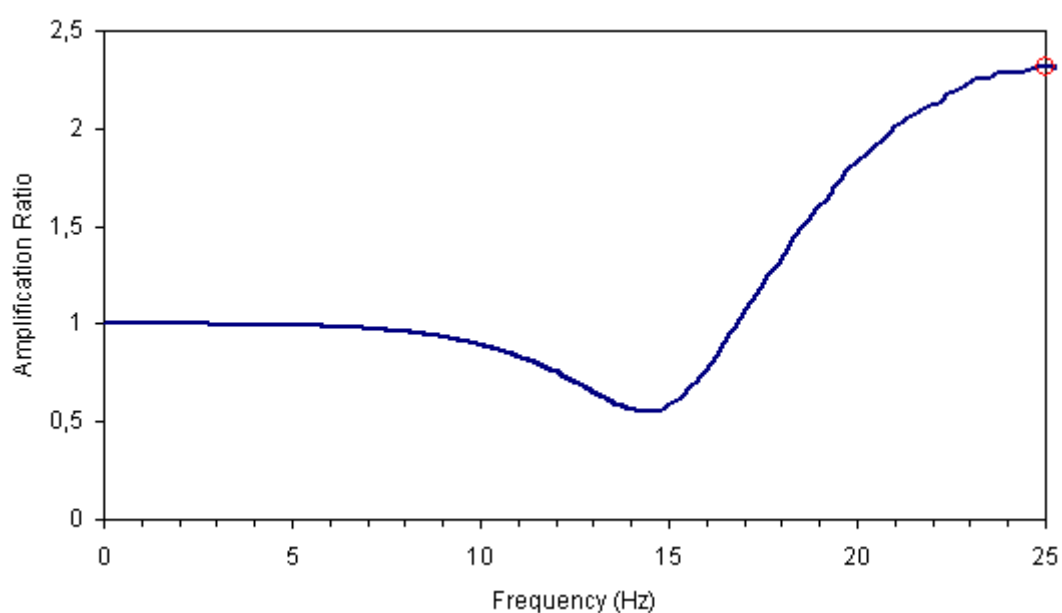


Fig. 8. Funzione di Trasferimento

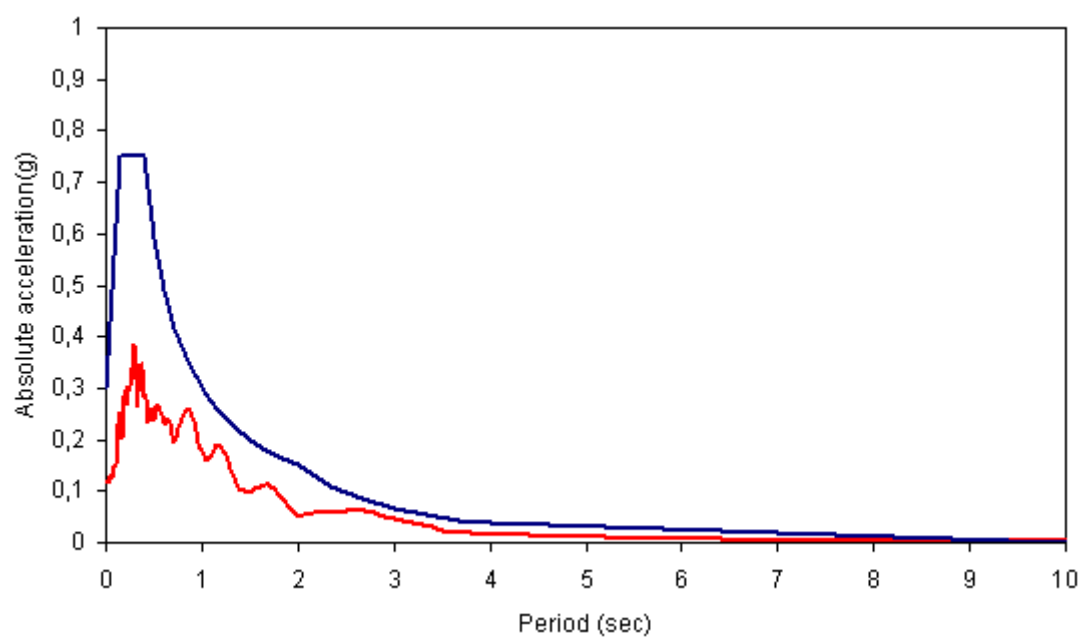


Fig. 9. Spettro di pseudo - accelerazione

PARAMETRI CARATTERISTICI DEL MOTO DEL SUOLO

Accelerazione massima al suolo (g)	0,120
Tempo di massima accelerazione (sec)	10,80
Massima velocità relativa al suolo (cm/s)	0,08
Tempo di massima velocità relativa (sec)	7,74
Massimo spostamento relativo (cm)	0,003
Tempo di massimo spostamento relativo (sec)	10,80
Massima amplificazione	2,316
Frequenza di massima amplificazione (Hz)	24,988

CASO 2

Spessore (m)	Litotipo
2	<i>Coperture</i>
8	<i>Depositi limoso sabbiosi</i>
Semispazio	<i>Flysch marnoso arenaceo</i>

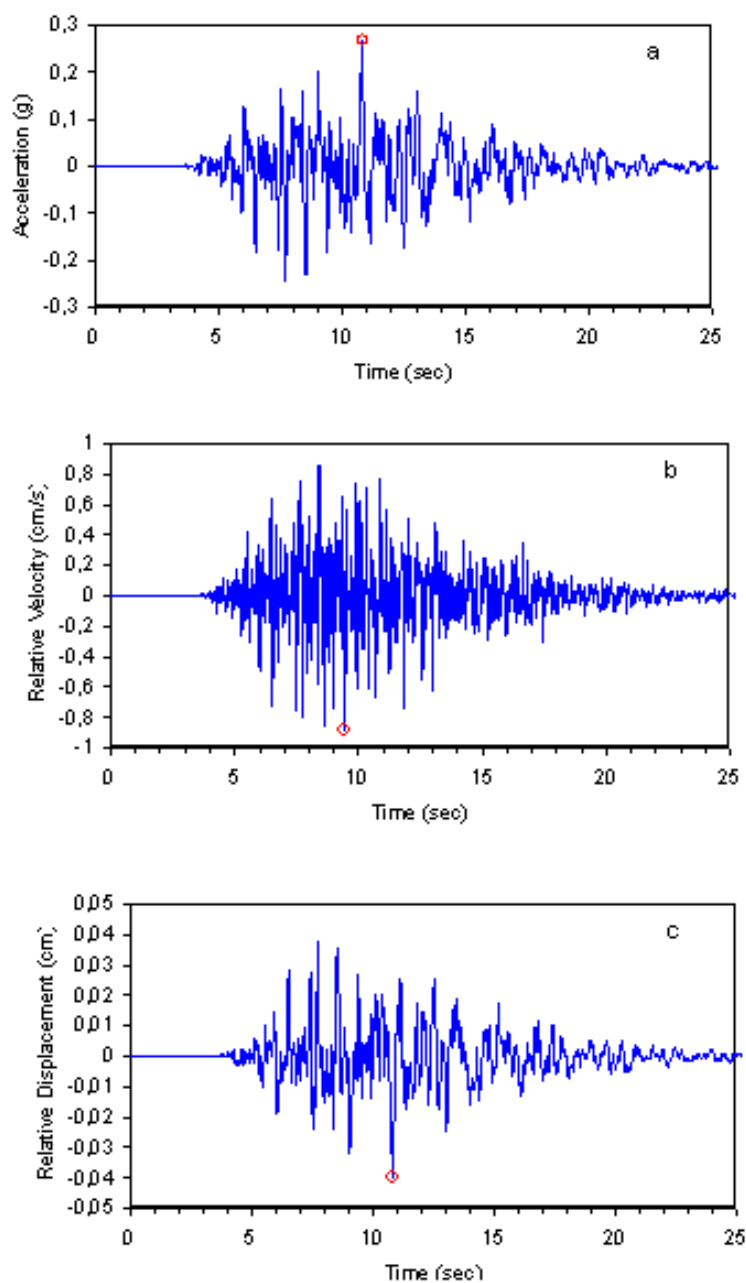


Fig. 10. Condizioni di moto al suolo; a) accelerazione b) velocità c) spostamento relativo

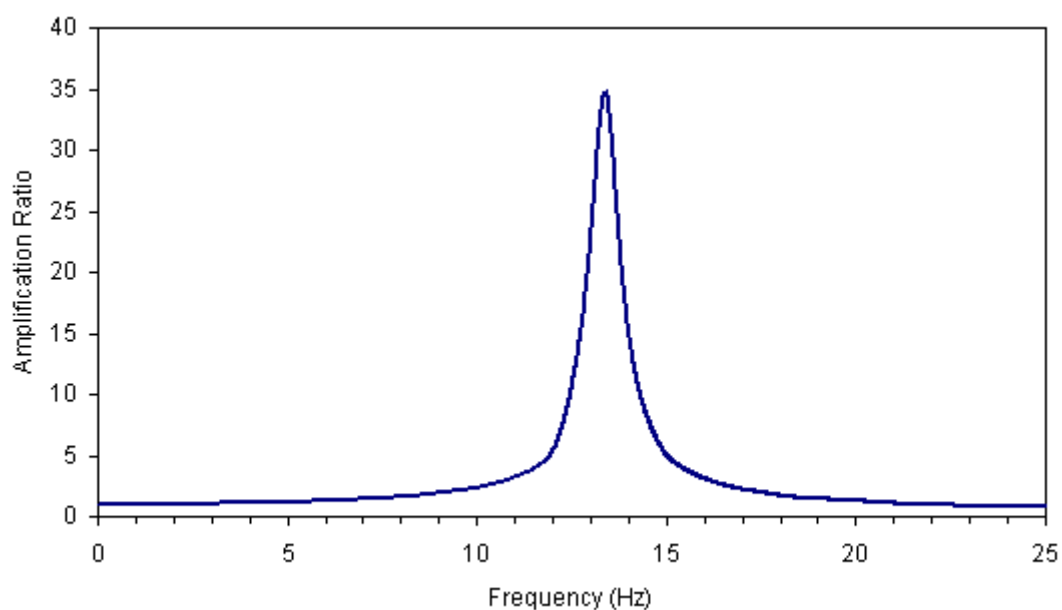


Fig. 11. Funzione di Trasferimento

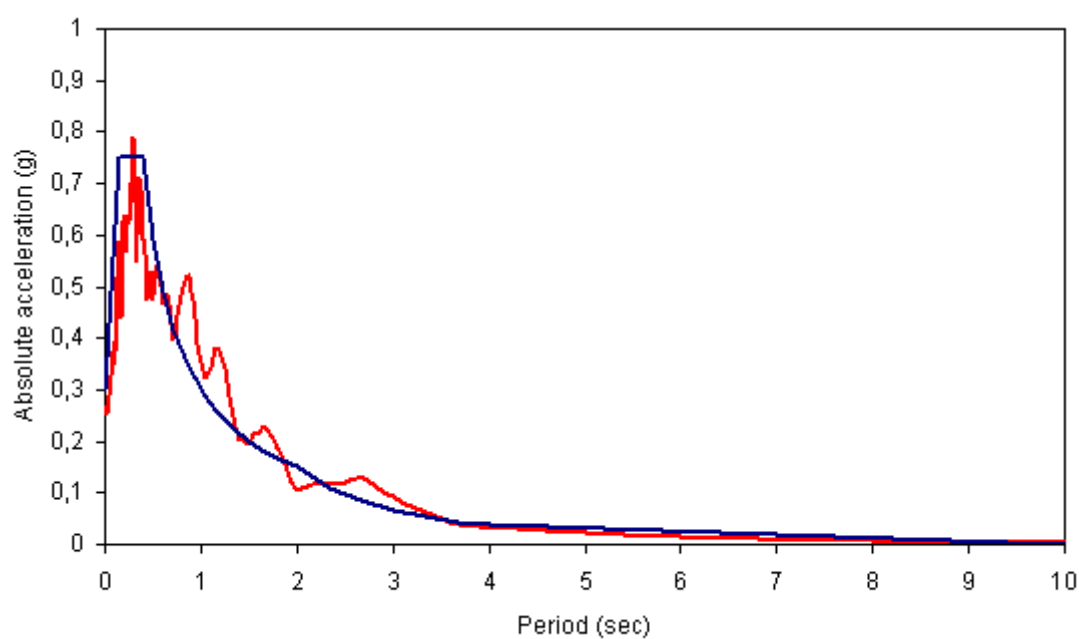


Fig. 12. Spettro di pseudo - accelerazione

PARAMETRI CARATTERISTICI DEL MOTO DEL SUOLO

Accelerazione massima al suolo (g)	0,267
Tempo di massima accelerazione (sec)	10,82
Massima velocità relativa al suolo (cm/s)	0,88
Tempo di massima velocità relativa (sec)	9,42
Massimo spostamento relativo (cm)	0,04
Tempo di massimo spostamento relativo (sec)	10,82
Massima amplificazione	34,926
Frequenza di massima amplificazione(Hz)	36,609

CASO 3

Spessore (m)	Litotipo
5	<i>Coperture</i>
<i>Semispazio</i>	<i>Flysch marnoso arenaceo</i>

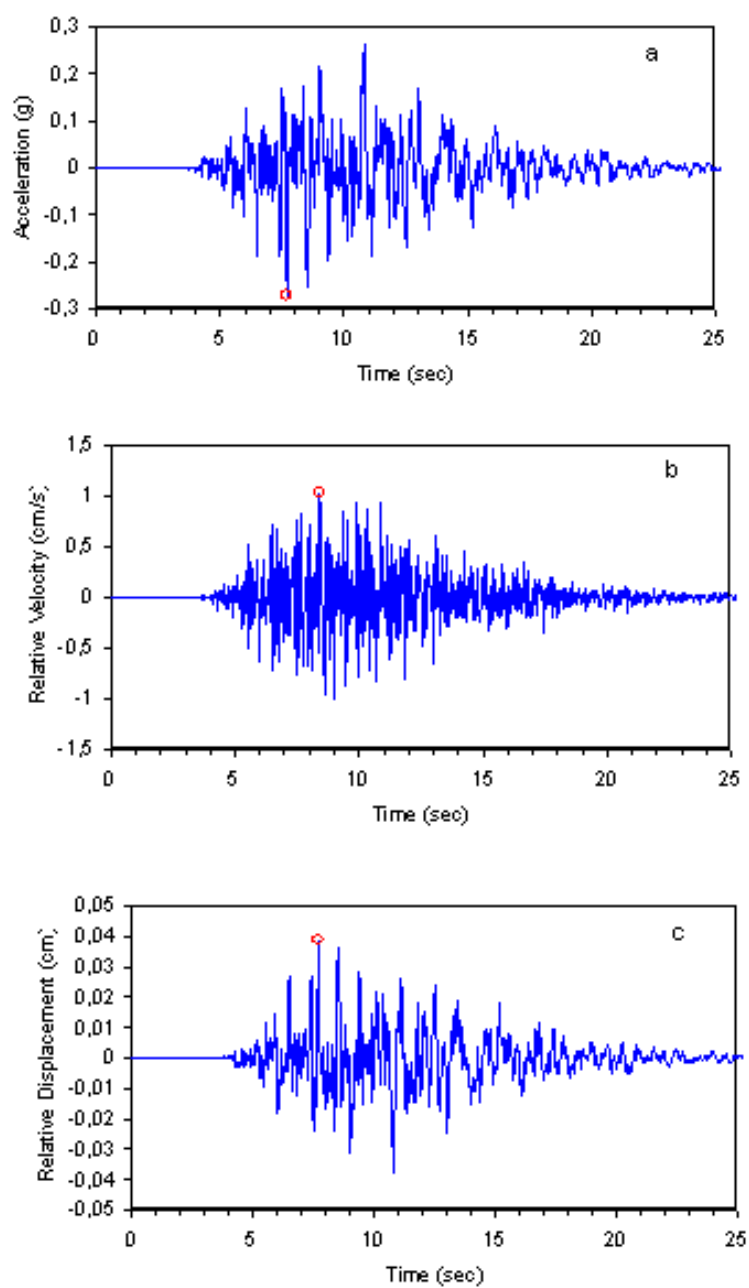


Fig. 13. Condizioni di moto al suolo; a) accelerazione b) velocità c) spostamento relativo

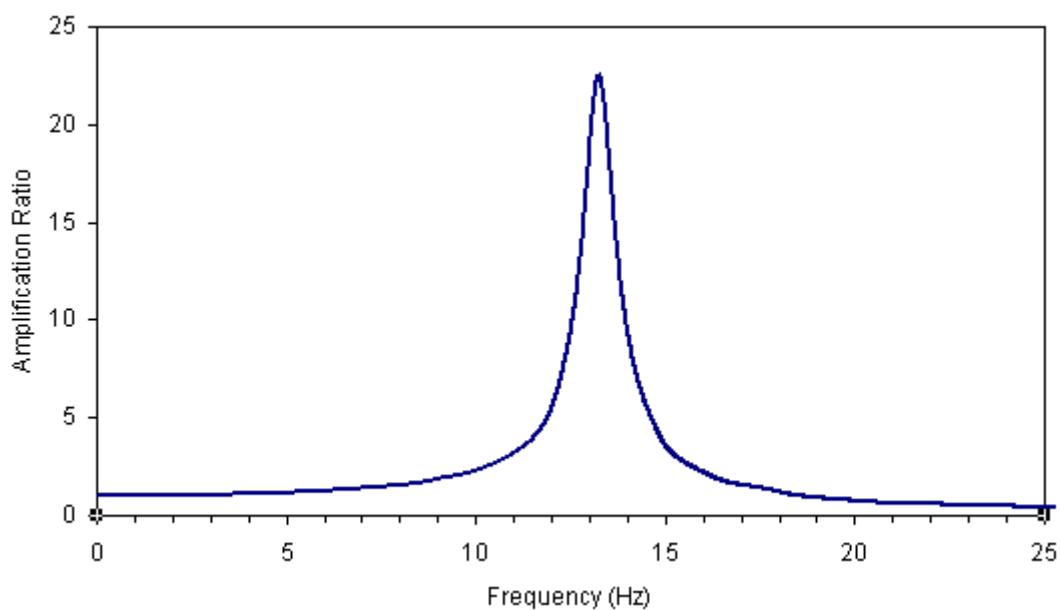


Fig. 14. Funzione di Trasferimento

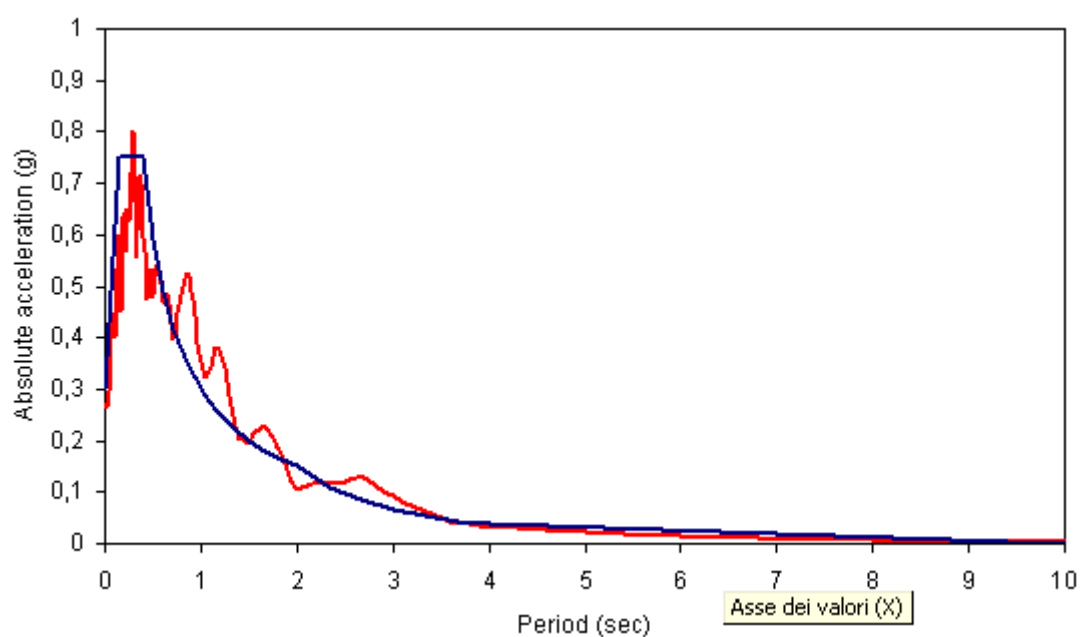


Fig. 15. Spettro di pseudo – accelerazione

PARAMETRI CARATTERISTICI DEL MOTO DEL SUOLO

Accelerazione massima al suolo (g)	0,270
Tempo di massima accelerazione (sec)	7,70
Massima velocità relativa al suolo (cm/s)	1,03
Tempo di massima velocità relativa (sec)	8,40
Massimo spostamento relativo (cm)	0,04
Tempo di massimo spostamento relativo (sec)	7,70
Massima amplificazione	22,586
Frequenza di massima amplificazione(Hz)	36,743

CASO 4

Spessore (m)	Litotipo
1	<i>Coperture</i>
50	<i>Depositi detritico-alluvionali</i>
Semispazio	<i>Calcari</i>

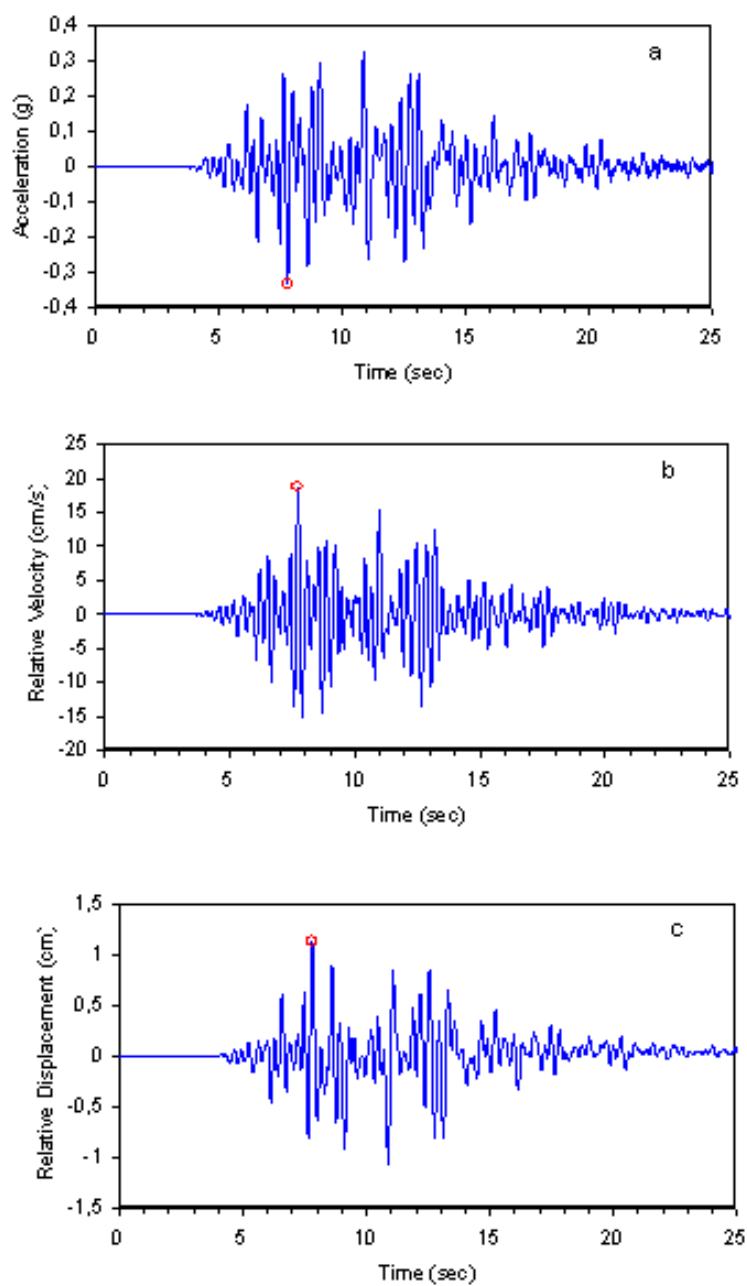


Fig. 16. Condizioni di moto al suolo; a) accelerazione b) velocità c) spostamento relativo

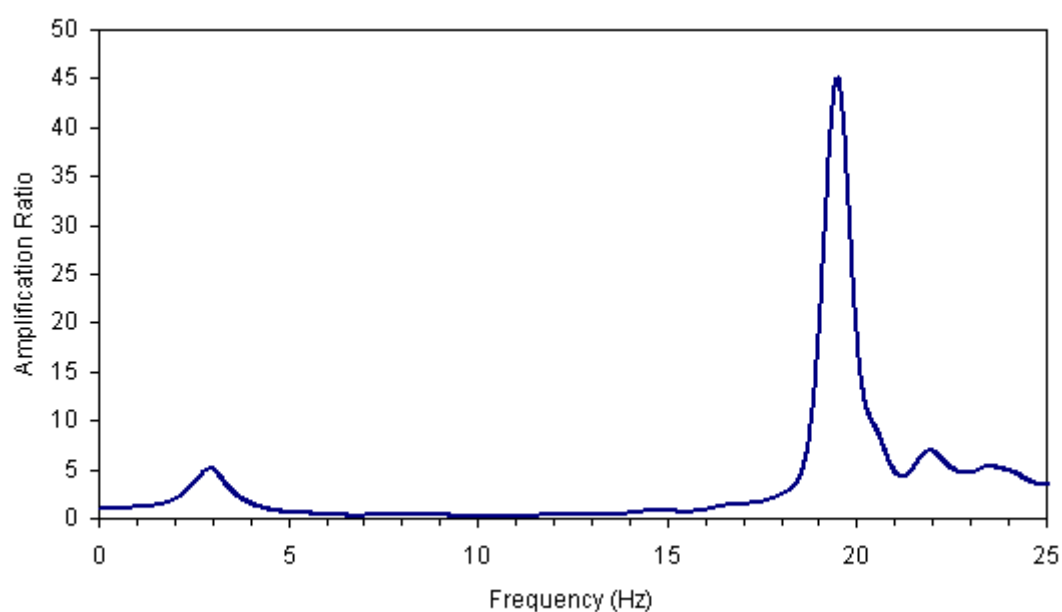


Fig. 17. Funzione di Trasferimento

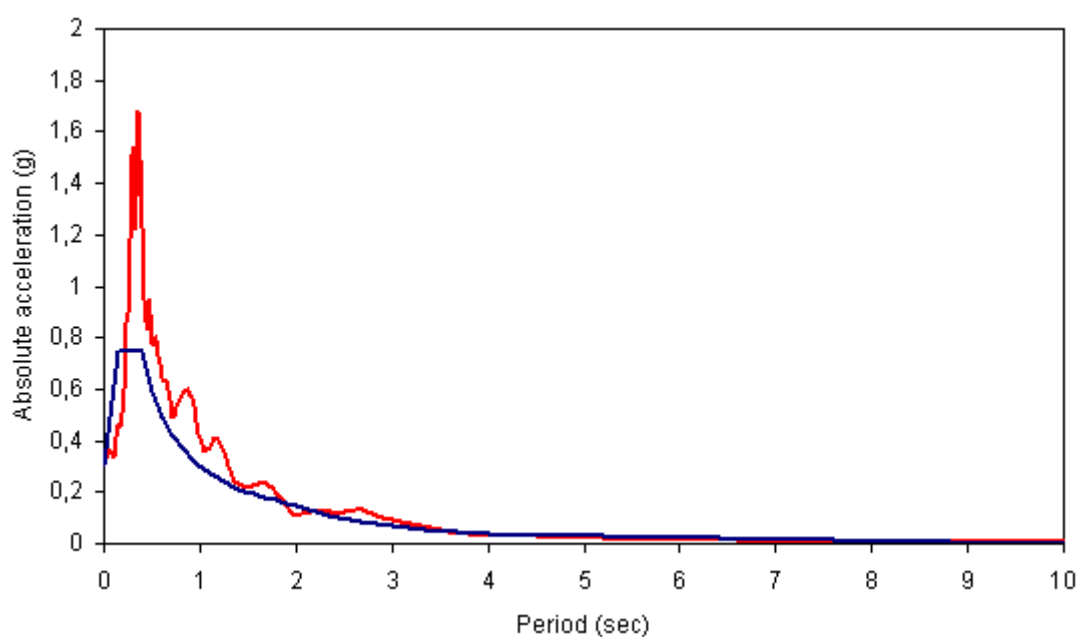


Fig. 18. Spettro di pseudo – accelerazione

PARAMETRI CARATTERISTICI DEL MOTO DEL SUOLO

Accelerazione massima al suolo (g)	0,334
Tempo di massima accelerazione (sec)	7,82
Massima velocità relativa al suolo (cm/s)	18,69
Tempo di massima velocità relativa (sec)	7,72
Massimo spostamento relativo (cm)	1,13
Tempo di massimo spostamento relativo (sec)	7,80
Massima amplificazione	45,395
Frequenza di massima amplificazione(Hz)	30,493

5.3 Suscettibilità alla liquefazione

I fenomeni di liquefazione interessano generalmente i depositi sabbiosi saturi e dipendono dalle proprietà geotecniche dei terreni, dalle caratteristiche e durata delle sollecitazioni sismiche e dalla genesi e storia geologica dei terreni.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche e soggetto unicamente alla pressione litostatica, subisce, durante un evento sismico, sollecitazioni cicliche di taglio, mentre la pressione litostatica resta costante. In tali condizioni si possono generare fenomeni di liquefazioni se la pressione interstiziale aumenta fino ad eguagliare la pressione di confinamento.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la distribuzione, la forma e il grado di uniformità delle particelle influenzano notevolmente il fenomeno per il “peso” che questi fattori assumono sulla resistenza al taglio e sulle modalità di dissipazione della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto concerne la “storia sismica” di un deposito si può, in linea di principio, affermare che precedenti piccole deformazioni possano positivamente influire sulla resistenza del deposito.

Infine un più alto potenziale di liquefazione è atteso per depositi sabbiosi di età più recente in quanto, a parità di altre condizioni una più antica messa in posto presuppone maggiori e più tenaci legami intergranulari.

Da quanto sopra esposto, i fattori geologico-geotecnici che sovrintendono la potenziale liquefacibilità dei depositi sabbiosi sciolti sono: classe granulometrica generalmente compresa tra le sabbie fini e medie con contenuto in fine non superiore al 25 %; falda superficiale; depositi da poco a mediamente addensati; ridotte profondità dal piano campagna (di solito meno di 15 m).

Nel caso in esame, all'intero dell'intero territorio comunale non è rilevabile, in nessun sito, la concomitanza dei suddetti fattori cosicché la probabilità di liquefazione è da ritenere molto bassa. In ogni caso, anche volendo procedere ad un calcolo empirico

della suscettibilità alla liquefazione, con riferimento al criterio proposto da *Youd* e *Perkins*, tale probabilità, per il tipo e l'età dei depositi che caratterizzano le aree di fondovalle della conca di Letino, risulta variabile da “molto bassa” a “bassa”.

6. LA CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLA STABILITA'

Questa cartografia tematica è stata realizzata articolando il lavoro per fasi secondo i successivi punti.

In primo luogo, sulla cartografia di supporto in scala 1:5000, è stato eseguito un calcolo delle pendenze mediante software dedicato, suddividendo in territorio comunale in 5 fasce così distribuite:

- pendenza media compresa tra 0° (0%) e 11° (20%)
- pendenza media compresa tra 11° (20%) e 17° (30%)
- pendenza media compresa tra 17° (30%) e 27° (50%)
- pendenza media compresa tra 27° (50%) e 35° (70%)
- pendenza media maggiore di 35° (70%)

Come secondo punto, con riferimento alla carta geolitologica facente parte dello stesso studio, sono stati creati degli areali associando terreni dalle caratteristiche geologico tecniche comuni. Essenzialmente sono state create 3 aree costituite da:

- Litotipi lapidei, rappresentati da tutte le formazioni di natura calcarea, con caratteristico comportamento meccanico di tipo fragile. Tali litologie sono soggette essenzialmente a fenomeni franosi da crollo, direttamente legati all'assetto geologico e geomorfologico.
- Litotipi fliscioidi, costituiti da terreni di natura arenaceo marnoso sabbiosa, affiorano nella metà occidentale della conca di Letino. In genere sono costituiti da arenarie marroni con livelli di marne e argille marnose grigiastre con rare intercalazioni conglomeratiche nella zona occidentale; nella zona orientale, invece, si rinvencono anche marne ed argille cineree con intercalazioni di arenarie grigio azzurre. Si rinvencono inoltre blocchi calcarei disarticolati (olistoliti); principalmente sono soggetti a movimenti franosi quali scorrimenti.
- Litotipi detritico-alluvionali nei quali sono stati incluse le fasce detritiche pedemontane, i depositi di fondovalle e tutti i terreni di copertura depositati nelle piccole valli interne o lungo i versanti a pendenza moderata. Nella parte orientale della piana sono presenti terreni di tipo alluvionale costituiti da sabbie e limi intercalati a lenti di ciottoli e sabbie scure da fini a grossolane. Detriti di falda sono presenti lungo la maggior parte delle pendici montuose del territorio comunale; sono costituiti per lo più da elementi carbonatici a granulometria molto variabile debolmente cementati e misti a terreni di tipo umifero ed eluviale. Presentano spessori che procedendo da monte verso valle possono variare da 1 a 10 m. In

una piccola zona a sud-est della conca di Letino invece presenti terre rosse derivanti dalla deposizione in depressioni di tipo carsico. Essenzialmente hanno comportamenti molto variabili in funzione della loro composizione, cementazione e assetto strutturale, sono sede di possibili fenomeni franosi di tipo complesso.

Da un'analisi della distribuzione delle classi litologiche in funzione delle pendenze sono state individuate 5 classi di instabilità.

- Aree di affioramento di successioni lapidee a forte pendenza ($> 35^\circ$) caratterizzate da elevate condizioni di rischio idrogeologico connesse con il locale assetto geostrutturale con particolare riferimento alle porzioni centro-meridionali e nord-orientali del comprensorio
- Aree di affioramento di successioni lapidee a pendenza compresa tra 27° e 35° caratterizzate da elevate condizioni di rischio idrogeologico nelle porzioni centro-meridionali e nord-orientali del comprensorio e dalla possibilità di innesco di fenomeni franosi nelle porzioni più occidentali dello stesso comprensorio
- Aree di affioramento di successioni flisciodi arenaceo-marnoso-argillose caratterizzate dalla possibilità di innesco di fenomeni franosi complessi con particolare riferimento alle porzioni più orientali del territorio
- Aree di affioramento di successioni flisciodi arenaceo-marnoso-argillose a ridotta pendenza ($11^\circ \div 17^\circ$) caratterizzate dalla possibilità di innesco di fenomeni franosi tipo *creep* con particolare riferimento alle porzioni meridionali del territorio
- Aree di affioramento di successioni detritico-alluvionali caratterizzate da elevate condizioni di rischio idrogeologico quando poste immediatamente alla base di rilievi lapidei a forte pendenza ovvero potenzialmente coinvolgibili in fenomeni franosi complessi quando poste allo sbocco delle principali incisioni torrentizie.

Tuttavia è necessario ribadire che tale cartografia tiene conto esclusivamente degli aspetti afferenti la meccanica delle terre (considerando i parametri meccanici evidenziati dalle prove di laboratorio della nuova e della vecchia campagna di indagini) e dell'assetto strutturale dei terreni, valutando parametri quali giacitura, pendenze, stato di fratturazione, alterazione, eventuali fenomeni di disgregazione chimico fisica (carsismo).

Con ciò si vuole evidenziare che, in nessun caso, la suddetta elaborazione cartografica tematica va intesa quale elemento sostitutivo della **Cartografia del**

Rischio Frana del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Liri–Garigliano – Volturno; tale strumento resta imprescindibile per il corretto sviluppo del territorio poiché tiene conto di ulteriori fattori che potrebbero generare elementi di rischio nonché determina, tramite le relative norme di attuazione, tutte le attività possibili nelle varie aree di rischio individuate.

COMUNE DI LETINO

Provincia di CASERTA

*INDAGINI DIAGNOSTICHE DEGLI EDIFICI SCOLASTICI PUBBLICI DI
PROPRIETA' DEL COMUNE DI LETINO. LEGGE 13 LUGLIO 2015, N.107.*

Titolo Elaborato: Analisi sullo sfondellamento dei solai.

Scuola Elementare e Materna sita in Via Turati

DATA PROVA	ID DOCUMENTO	II DIRETTORE DEL LABORATORIO
Settembre 2016	V01270 del 27 Settembre 2016	dott. Ing. Annamaria Pirolo



SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	ANALISI TERMOGRAFICA	4
2.1	CARATTERISTICHE DEL METODO	4
2.2	CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE APPARECCHIATURE	5
3	ANALISI SFONDELLAMENTO	6
3.1	DIAGNOSI CON BATTITURA MANUALE	6
3.2	DIAGNOSI CON IL METODO STRUMENTALE	6
3.2.1	<i>Caratteristiche del metodo</i>	6
3.2.2	<i>Caratteristiche dell'apparecchiatura</i>	7
4	RISULTATI DELLE ANALISI	8
4.1	TERMOGRAFIA PIANO TERRA	8
4.2	TERMOGRAFIA PRIMO PIANO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
4.3	DIAGNOSI CON IL METODO MAST – TEST	17

1 Premessa

Il Laboratorio Geoserving di San Vittore del Lazio (FR), specializzato in prove sperimentali su strutture in sito, è stato incaricato dal Committente, per l'esecuzione di prove per le verifiche strutturali presso il cantiere: analisi sullo sfondellamento dei solai presso Scuola Elementare e Materna sita in Via Turati nel Comune di Letino (CE).

Le prove sono state eseguite dal tecnico di laboratorio Giovanni Merucci nel mese di settembre 2016; le modalità operative, la scelta tipologica e l'ubicazione delle prove sono state preventivamente concordate con il tecnico incaricato delle verifiche ing Domenico Pompeo.

Sulla struttura in esame sono state eseguite le seguenti attività:

Tipologia
Analisi termografica
Analisi sullo sfondellamento del solaio

L'ubicazione delle prove è riportata negli allegati planimetrici.

Il Tecnico

(G. Merucci)



Il Direttore del Laboratorio

(Ing. A. Pirollo)

2 Analisi Termografica

Prima di effettuare le indagini atte alla valutazione dello stato dei solai viene compiuta un'osservazione generale dei soffitti utilizzando una termocamera a infrarossi che consente di individuare anomalie nella formazione dei solai. Ciò può avvenire grazie alla sensibilità di misurazione che permette di localizzare le zone in cui sono presenti delle differenze di temperatura.

2.1 Caratteristiche del metodo

Lo scopo principale della termografia consiste nell'individuazione di errori e difetti nelle strutture dei solai e nella determinazione della loro natura ed estensione. Generalmente viene utilizzata per studiare le variazioni di temperatura sulle superfici di una struttura. Le variazioni nella resistenza termica possono, in determinate condizioni, determinare variazioni di temperatura sulla superficie. La termocamera permette di misurare e rappresentare la radiazione infrarossa emessa da un oggetto. La radiazione, quale funzione della temperatura della superficie di un oggetto, emessa dallo strumento permette di calcolare e visualizzare tale temperatura. La radiazione rilevata dalla termocamera non dipende solo dalla temperatura dell'oggetto, ma è anche una funzione dell'emissività.

L'emissività è una misura che si riferisce alla quantità di radiazione termica emessa dall'oggetto, comparata a quella emessa dal perfetto corpo nero. L'emissività della maggior parte dei materiali da costruzione ha valori compresi tra 0,85 e 0,90.

Le immagini termiche visibili con la termocamera ad infrarossi sono realizzate in modo da minimizzare il più possibile l'interferenza di fattori climatici esterni; di conseguenza risulta particolarmente importante impostare e bilanciare correttamente la temperatura ambiente.

2.2 Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

Le termocamere ad infrarossi portatili FLIR Serie B si distinguono per la loro ergonomia,



leggerezza e facilità d'uso.. Le termocamere FLIR sono state appositamente studiate per il mercato delle costruzioni.

Queste termocamere sono dotate di funzioni importanti, come gli allarmi isolamento e punto di rugiada, che contribuiscono a semplificare enormemente le ispezioni edili.

Risoluzione massima di 320 x 240 pixels.

La risoluzione delle immagini IR va da 240x180 pixels a 320x240 pixels.

Sensibilità della termocamera

La sensibilità termica delle termocamere FLIR Serie B va da 70 mK a < 50 mK.

Fotocamera digitale di alta qualità

Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di fotocamera digitale integrata da 1,3 Megapixels che rende le ispezioni più semplici e veloci.

Funzione Panorama (FLIR B250/B425)

Permette di prendere immagini in sequenza e combinarle automaticamente in un'unica grande immagine utilizzando il software FLIR. Le immagini possono essere scattate in orizzontale, in verticale o in una combinazione delle due direzioni.

Campo di misurazione

Intervallo di misurazione della temperatura da -20 °C a +350 °C

Lenti ad infrarossi intercambiabili

Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di una lente standard da 25° e lenti opzionali da 6°, 15°, 45° e 90°.

Interfacce flessibili

Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di un'uscita video standard, cavo USB e scheda di memoria SD removibile.

Allarme umidità/Allarme isolamento

L'allarme umidità relativa segnala le aree in cui vi è il rischio di condensa. L'allarme isolamento mostra le condizioni di isolamento della struttura. Immettendo nella termocamera i valori pertinenti, le aree che non soddisfano i requisiti appaiono colorate.

3 Analisi Sfondellamento

3.1 Diagnosi con battitura manuale

La battitura manuale della soletta è un metodo per la prima verifica dell'esistenza dello sfondellamento. Sollecitando la superficie del soffitto con colpi regolari si compie la prima valutazione di massima. La presenza di suoni vuoti in zone particolari del solaio indica l'esistenza del fenomeno. Questa operazione di scrematura ci permette di controllare l'intera superficie e di raffinare la diagnosi, in una seconda fase, mediante lo strumento di ispezione sonica. Osservata la presenza di zone ammalorate si procede, ove necessario, ad una diagnosi approfondita mediante analisi strumentale.

3.2 Diagnosi con il metodo strumentale

Il metodo ha lo scopo di individuare, con metodi non distruttivi, gli sfondellamenti o le lesioni negli elementi in laterizio e anche i distacchi del solo strato d'intonaco. La strumentazione per l'indagine con il metodo strumentale è costituito da un'asta alla cui estremità sono posti uno spintore elettromeccanico con testina battente e un microfono a condensatore direzionale. L'intensità di battuta è costante ed il microfono ne registra la risposta sonora.

L'indagine viene svolta mediante auscultazione sonica di impulsi sequenziali emessi e ricevuti su una maglia a geometria fissa ed analizzati nel dominio delle frequenze.

Le valutazioni sull'eventuale difettosità delle aree sono espresse in base alla conoscenza della tipologia costruttiva dei solai, poiché ogni tipologia reagisce con risposte differenti nel campo delle vibrazioni.

3.2.1 Caratteristiche del metodo

Il metodo presenta delle caratteristiche vantaggiose che ne consentono l'uso in qualsiasi situazione con la certezza dei risultati.

- Rapidità di indagine
- Alta risoluzione
- Rilievo strumentale con eccitatore meccanico a percussione e con microfono ad alta risoluzione
- Elaborazione immediata con analizzatore di spettro

3.2.2 Caratteristiche dell'apparecchiatura



La strumentazione MAST-TEST “Mechanical Acoustic Tester”, è composta da un attuatore elettromeccanico posizionato su un’asta allungabile che viene posta a contrasto con l’area da indagare attraverso una molla di compressione. L’attuatore viene azionato con un comando a distanza che genera un impatto sulla superficie oggetto di indagine. Un microfono piezoelettrico posizionato in prossimità del supporto attuatore, viene collegato all’unità di acquisizione

che elabora il segnale sonoro visualizzato in tempo reale come risposta in frequenza con analisi FFT e/o in banda di ottave.

Nello specifico abbiamo:

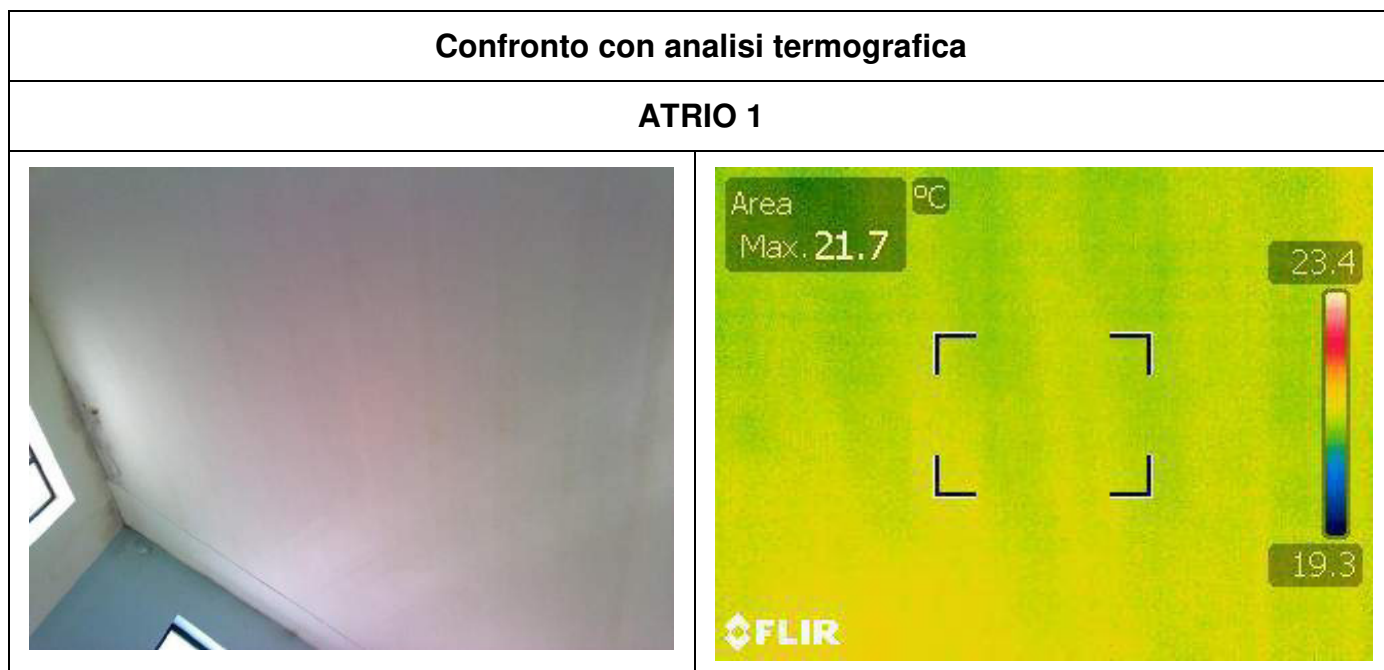
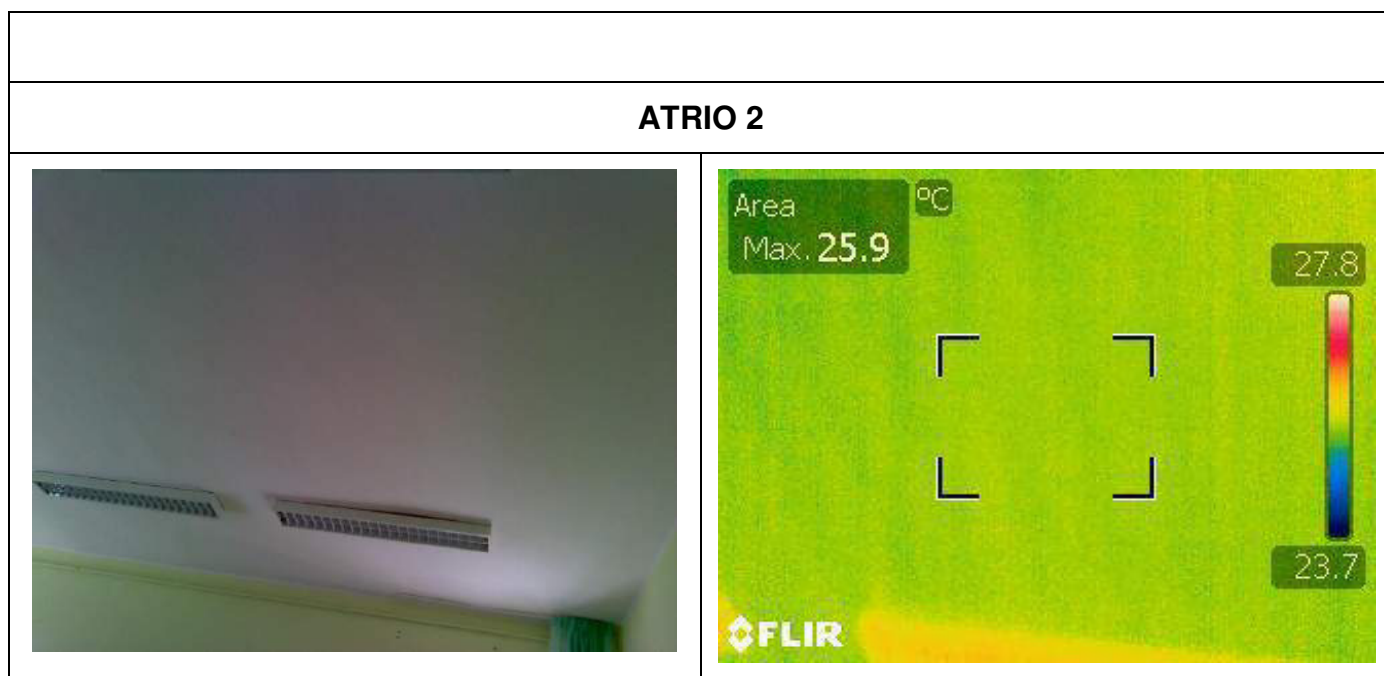
- Attuatore elettromeccanico nella versione 40 N completo di supporto ed aste di contrasto regolabili,
- Pulsante di attivazione attuatore completo di cavi e batteria 12 V,
- Supporto snodato regolabile per microfono,
- Asta telescopica regolabile con innesto per attuatore H 1,6 m – 4,50 m,
- Supporto per PC / Tablet regolabile ed orientabile,
- Carrello completo di innesto per asta telescopica e molla di contrasto,
- Software di analisi e configurazione
- Microfono Monacor ecm 2005
- Personal Computer

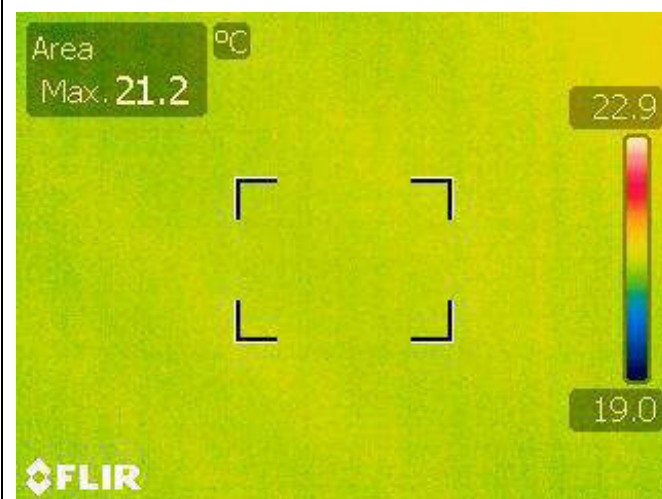


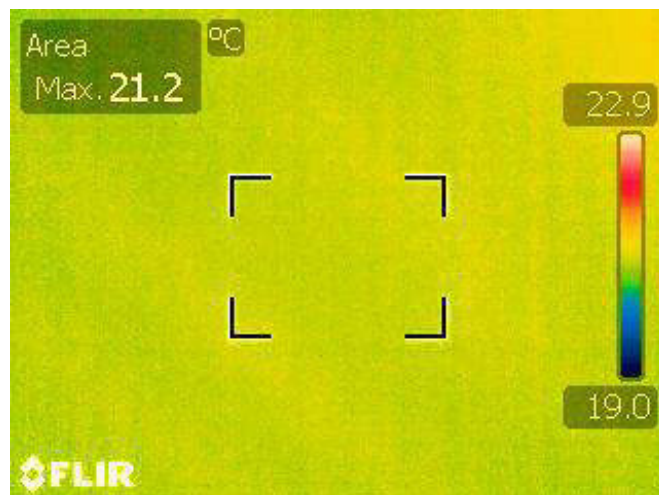
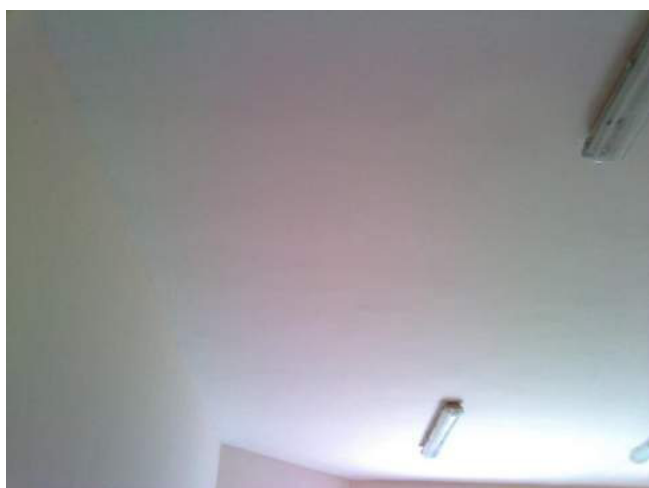
4 Risultati delle analisi

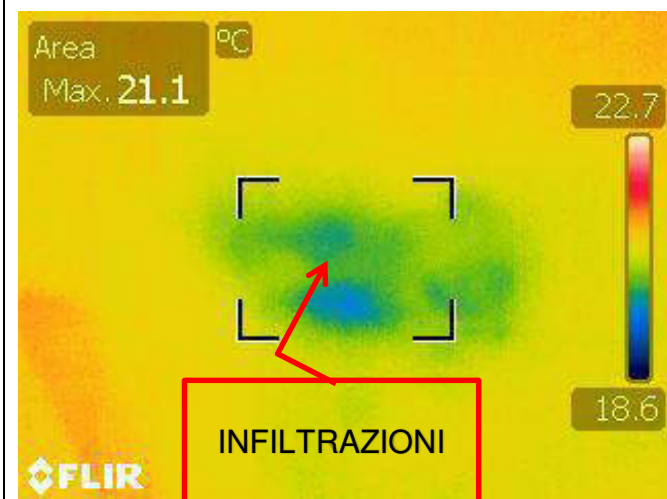
L'insieme delle informazioni ottenute durante l'indagine ci permette di riassumere i risultati ottenuti con le diverse analisi.

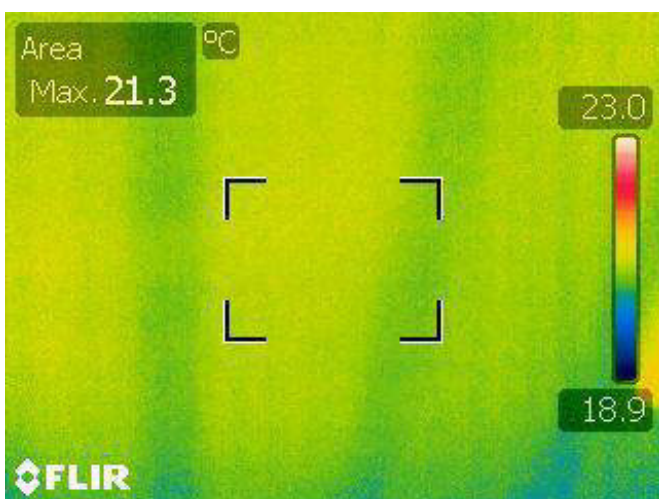
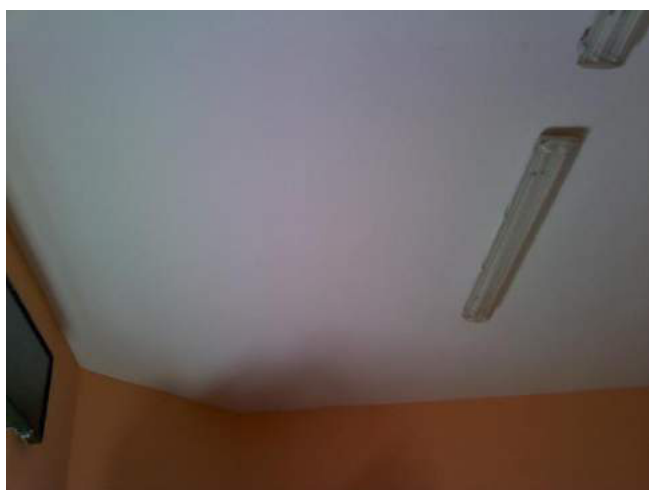
4.1 Termografia PIANO TERRA

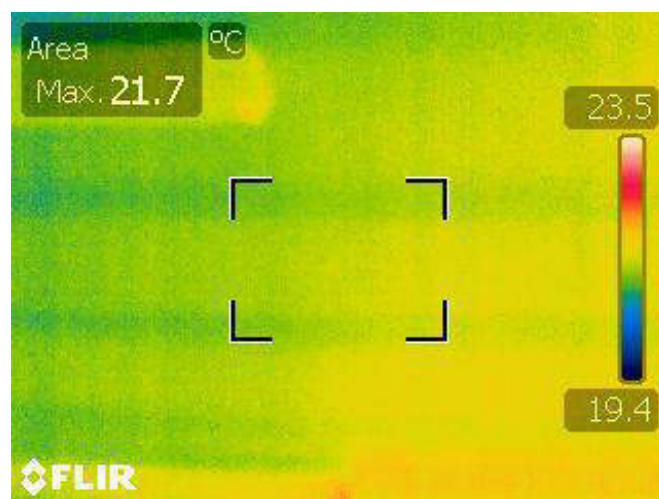


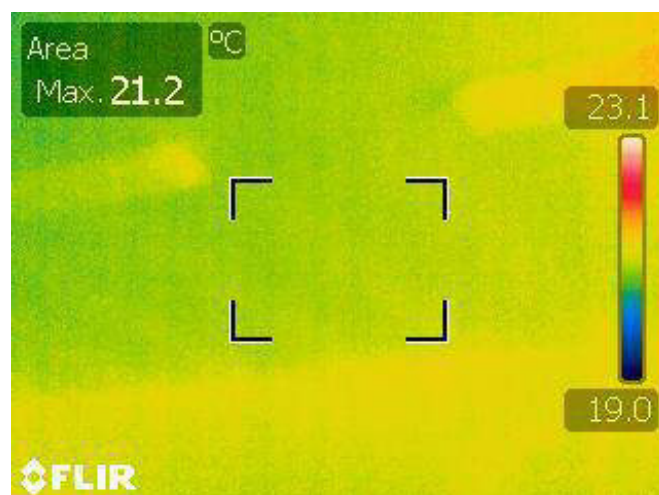
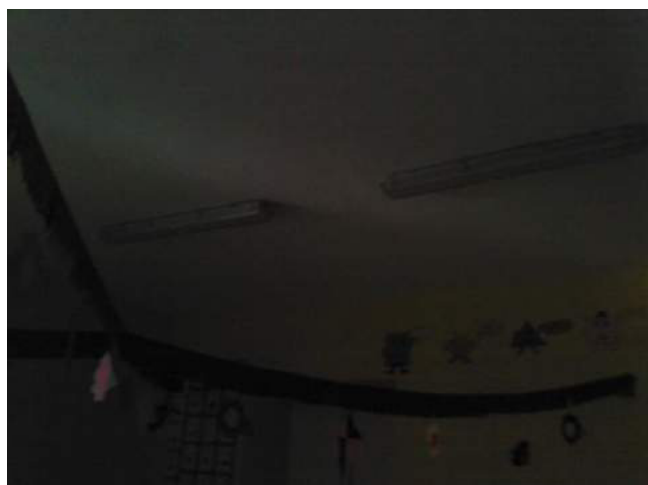
Confronto con analisi termografica**SALA PROFESSORI****Confronto con analisi termografica****PRIMARIA 2/A**

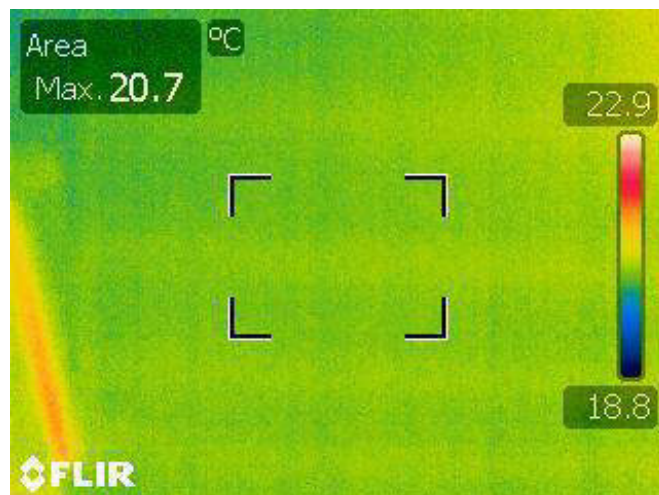
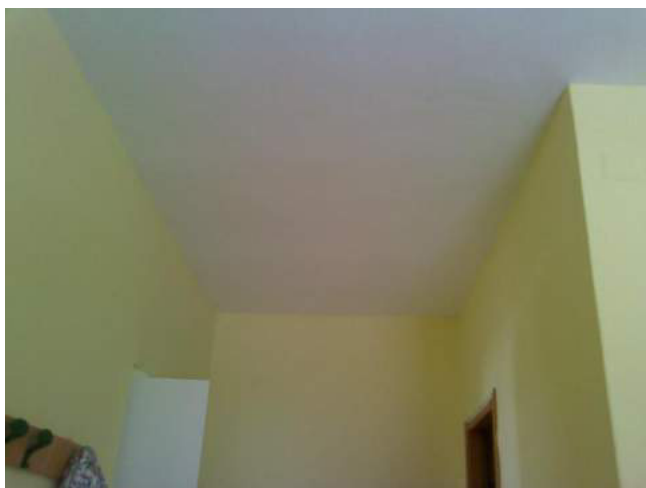
Confronto con analisi termografica**PRIMARIA 2/B****Confronto con analisi termografica****REFETTORIO**

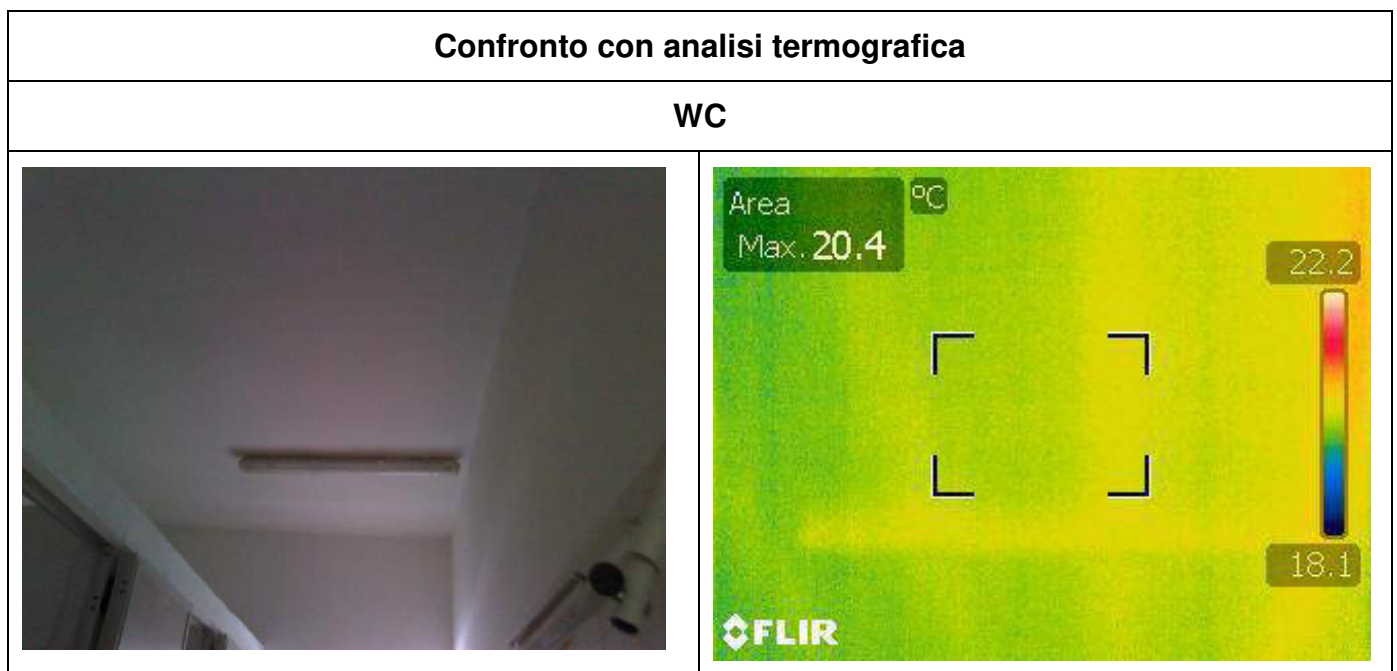
Confronto con analisi termografica**PRIMARIA 3/A****Confronto con analisi termografica****PRIMARIA 3/B**

Confronto con analisi termografica**PRIMARIA 4/A****Confronto con analisi termografica****PRIMARIA 4/B**

Confronto con analisi termografica**PRIMARIA 1/A****Confronto con analisi termografica****PRIMARIA 1/B**

Confronto con analisi termografica**MATERNA 1/A****Confronto con analisi termografica****MTERNA 1/B**

Confronto con analisi termografica**MATERNA 2/A****Confronto con analisi termografica****MATERNA 2/B**



L'analisi termografica di solai è risultata utile per evidenziare, oltre le orditure di solai, presenza di cordoli, travi e rompitratta, zone interessate da infiltrazioni di acqua, umidità, distacchi di intonaco locali etc. Le informazioni ricavate, e visibili nelle varie foto di dettaglio, hanno permesso di mettere in evidenza l'orditura dei travetti costituenti i solai, mentre non sono stati individuati travi e rompitratta.

Inoltre le immagini all'infrarosso offrono informazioni circa le zone di infiltrazione e di umidità. A causa della sua maggiore capacità termica, la parte umida tratterrà il calore più a lungo di quella asciutta e sarà visibile nelle immagini termiche; inoltre il materiale da costruzione interessato dall'umidità ha una massa termica più elevata e la sua temperatura diminuisce più lentamente rispetto alle aree circostanti a causa dell'effetto capacitivo conduttivo e termico.

Dalle analisi non si sono rilevate situazioni a rischio nelle zone indagate. Nell'aula della scuola primaria (indicata in cartografia con 3/A) si è riscontrata una infiltrazione da tenere sotto controllo per eventuali evoluzioni future.

4.2 Diagnosi con il metodo MAST – Test

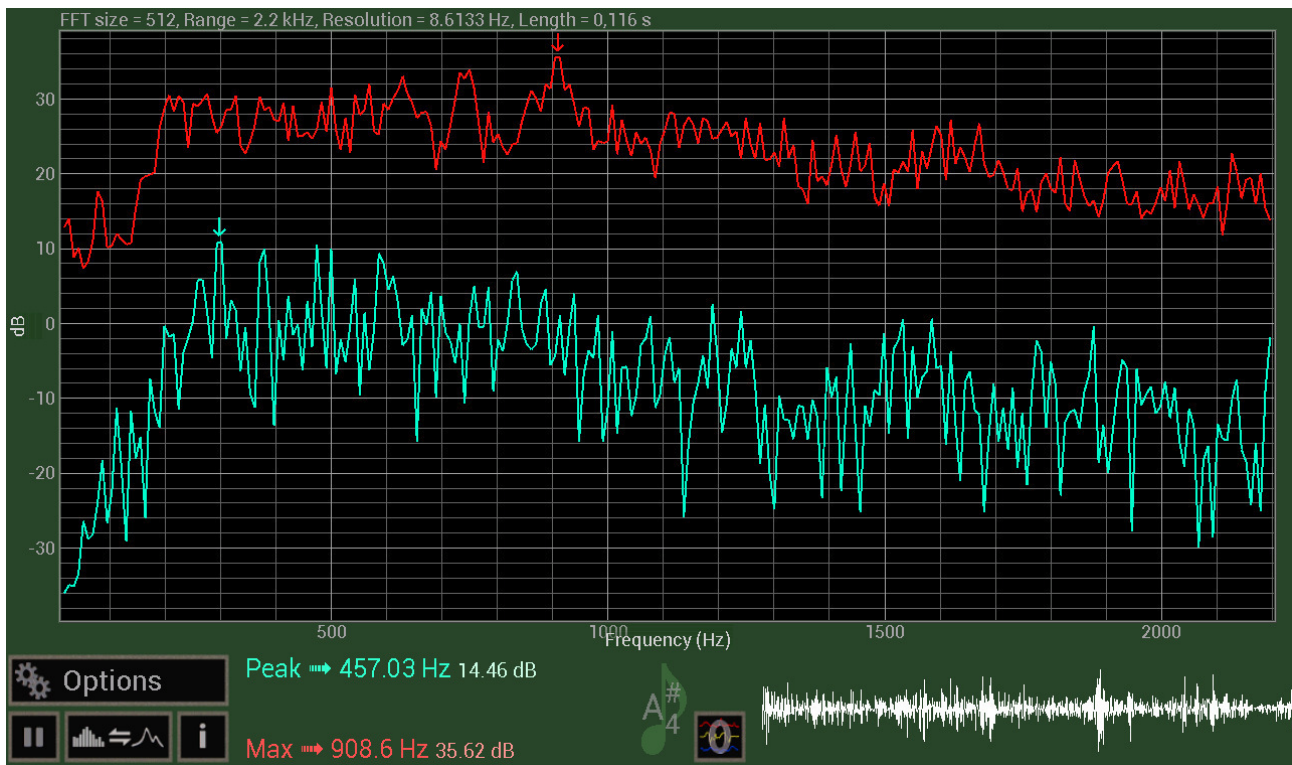
Per la valutazione del fenomeno si è utilizzato un protocollo di verifica che prende spunto dal riconoscimento dei principali fattori che possono essere causa del dissesto. L'indagine strutturale in situ, ha quindi come obiettivo quello di riconoscere l'effettiva presenza di sfondellamento, nell'ambito della costruzione in esame, e di valutare il livello di rischio.

La valutazione viene sviluppata mediante due fasi: una prima di analisi visiva e battitura manuale, una seconda con metodo strumentale.

L'analisi con battitura manuale è finalizzata alla ricerca delle aree con criticità dovute a sfondellamento e/o distacco di intonaco. Viene eseguita sollecitando il solaio, in particolari zone con colpi regolari, con lo scopo di evidenziare suoni anomali, chiaro indicatore del fenomeno dello sfondellamento. Questa operazione ci consente una prima selezione che verrà affinata nella fase successiva con metodo strumentale.

Le analisi strumentali sono state eseguite mediante il sistema, denominato MAST – Test. Lo strumento, attraverso l'analisi delle risposte alle battute dell'attuatore, è in grado di percepire la differenza di situazione e di indicare le difettosità puntuali o diffuse. È possibile confrontare le diverse risposte, degli elementi costruttivi del solaio, dalla lettura dei diagrammi di uscita.



Il diagramma presenta in ascissa la frequenza (in Hz) ed in ordinata il livello di pressione sonora (in dB). Il diagramma qui riportato si riferisce ad un solaio analogo in cui sono state osservate patologie simili.



L'analisi viene sviluppata in termini comparativi: si esegue una taratura del sistema in aree prive di difetti; successivamente si procede all'analisi delle zone da indagare evidenziando le aree che mostrano risultati differenti da quelli ottenuti nelle zone sane.

L'insieme di queste analisi consente di attribuire ad ogni zona analizzata la categoria del potenziale livello di rischio di sfondamento.

Nelle planimetrie allegate sono rappresentate le risultanze delle indagini eseguite secondo la legenda di seguito riportata.

Livello di rischio sfondellamento: Livello 1: Trascurabile Livello 2: Modesto Livello 3: Medio Livello 4: Elevato Livello 5: Dissesto in corso

Non fanno parte della presente Relazione Tecnica, analisi mirate alla salvaguardia da altri “fattori di rischio”.