

Dott. Geol. Mirko Gattoni

via largo Onesi n°12, Fraz. Borgo
63096 Arquata del Tronto (AP)
Email: mirko.gattoni79@gmail.com
Pec: mirkogattoni@pec.epap.it
Cell: 328.8357138



REGIONE MARCHE



COMUNE ASCOLI PICENO

oggetto

Relazione Geologica finalizzata alla realizzazione
di un Centro d'Aggregazione Giovanile
in via dei Frassini, nel quartiere Monticelli
ad Ascoli Piceno

committente

Parrocchia SS. Simone e Giuda



località

Località: Monticelli, via dei Frassini n.4
Comune: Ascoli Piceno
ID Catastale:
foglio n.80 - mappali 311

timbro e firma

Arquata del Tronto, novembre 2023



IL Geologo

1. INTRODUZIONE

Nelle pagine seguenti si espongono i risultati di un'indagine geologica, geofisica ed idrogeologica, redatta su incarico della Parrocchia dei SS. Simone e Giuda, Gregori, in merito alla Realizzazione di un Centro Sociale di Aggregazione Giovanile, presso la Parrocchia dei SS. Simone e Giuda, in via dei Frassini n.4, in località monticelli, nel Comune di Ascoli Piceno (AP).

Di seguito sono riportati i riferimenti normativi:

- AGI - Associazione Geotecnica Italiana “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, giugno 1977;
- D.M. 11 Marzo 1988: Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- CIRC. 24 Settembre 1988 n° 30483. D.M. 11 Marzo 1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni, Istruzioni per l'applicazione;
- Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica;
- Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio: Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni;
- D.M. 17 Gennaio 2018: Norme Tecniche per le costruzioni;
- Circolare applicativa del D.M. 17/01/2018 del 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle NTC del 17 gennaio 2018”.
- Microzonazione sismica di III° livello del comune di Ascoli Piceno (2018).
- Ordinanza n°55 del CSR Sisma 2016, del 24 aprile 2018 Allegato I°.

Il presente elaborato contiene i risultati di un rilevamento geologico di campagna la cui ampiezza è commisurata al tipo d'intervento ed al grado di conoscenza dell'area, che, integrati con i dati provenienti dalla letteratura specifica e dalla cartografia geologica esistente, hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica locale.

Le analisi dei rilievi di campagna effettuati nei pressi della particella sono stati integrati con i risultati di una indagine sismica di tipo MASW, necessaria ad integrare la precedente campagna d'indagine eseguita nel 2012 dal Geol. Francesco Rosmarini, su incarico della committenza.

Di seguito verranno esposti i risultati dell'indagine completati dalla presenza d'alcuni stralci cartografici esplicitivi disposti secondo il presente schema:

1. Introduzione;
2. Inquadramento geografico;
Estratto del CTR Regione Marche scala 1:25.000;
Foto aerea dell'area;
3. Note geologiche e geomorfologiche;

Alcune considerazione sulla suscettibilità a liquefazione dei terreni di sedime;

Stralcio della Carta Geologica Regionale 326160 Folignano - 326120 Appignano del Tronto, in scala 1:10.000;

4) Caratteristiche idrogeologiche;

Estratto Piano di stralcio per l'assetto idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tronto, tav. 10_23 scala 1:10.000;

4.1 - Verifica della compatibilità idraulica dell'opera;

5) Note tecniche e prescrizioni;

5.1 - Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione;

Sezione Geologica N-S in scala 1:200;

5.2 - Caratteristiche dell'opera (prestazioni attese e definizione del periodo di ritorno dell'azione sismica);;

5.3 - Definizione dei parametri sismici di base (microzonazione sismica);

5.4 - Condizioni topografiche (effetti di amplificazione sismica locale)

5.5 - Riferimento ord.n°55 del 24 aprile 2018 del CSR Sisma 2016

6) Conclusioni;

Allegati:

Analisi della Risposta Sismica Locale

Report Campagna indagini 2012.

Relazione Tecnica relativa l'indagine sismica di tipo MASW.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La porzione di territorio investigata ricade, in scala 1:25.000, nella Tavoletta n.133 Sezione IV-SE denominata "Ascoli Piceno Est", della Carta d'Italia redatta dall'Istituto Geografico Militare e intitolata "Serie 25". L'area viene inoltre riportata su foto aerea mediante il software Google satellite.

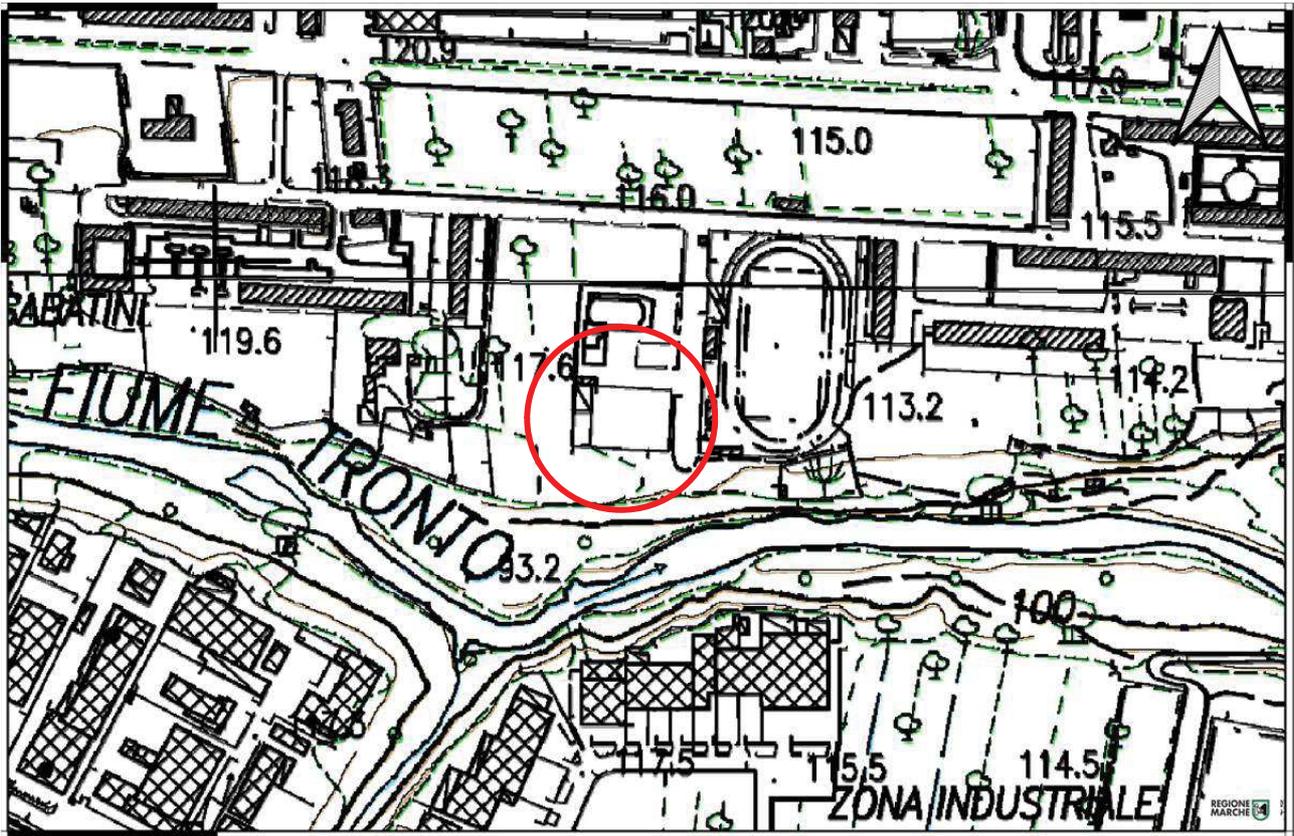
In scala 1:10.000, invece, si trova al bordo nord Carta Tecnica Regionale Sezione 326 160 "Folignano"; le coordinate dell'area di studio, calcolate circa in corrispondenza del fabbricato da realizzare, sono le seguenti:

| Coordinate WSG84 | Coordinate ED50 |
|------------------|-----------------|
| Lat.:42.848134 | Lat.:42.849094 |
| Lng.: 13.620248 | Lng.:13.621163 |

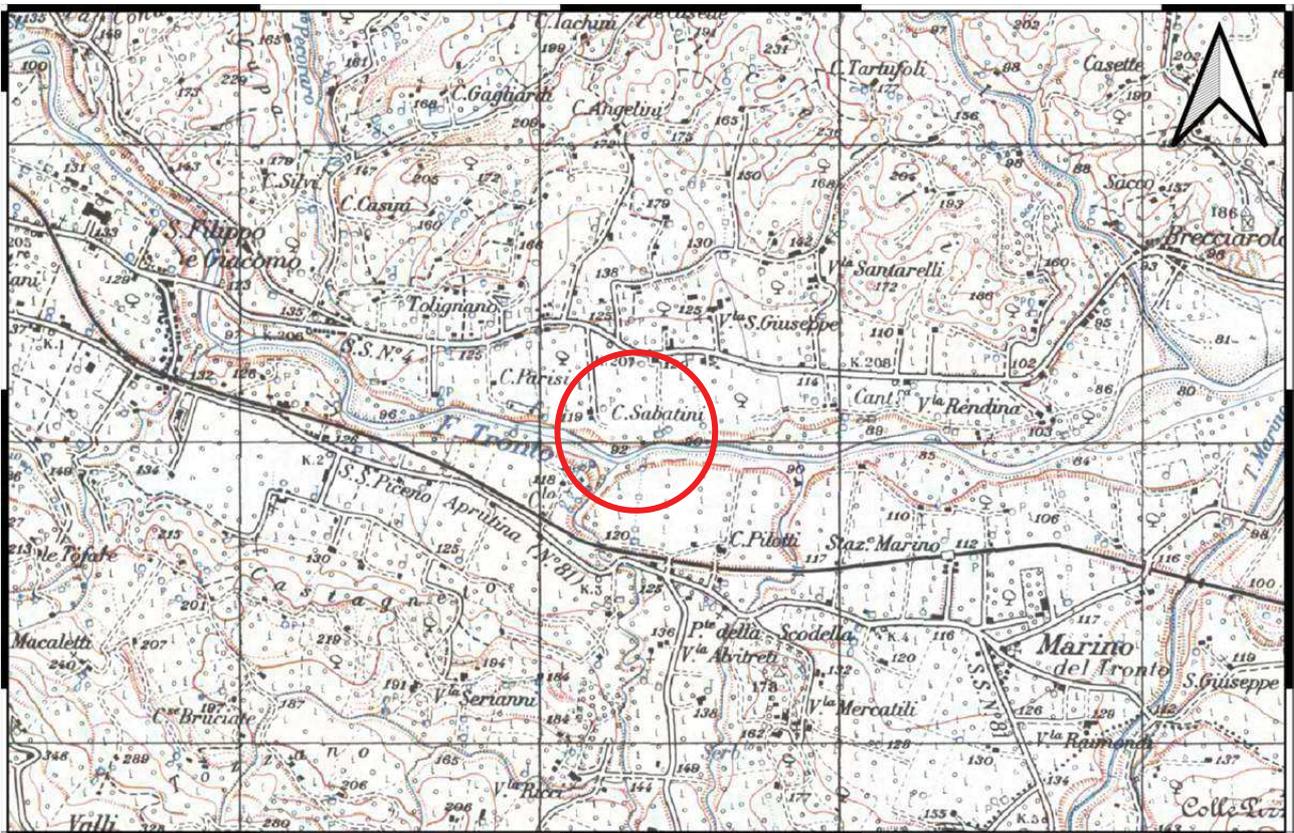


Mappa 2/A- Foto aerea dell'area di studio estratta da Google satellite, in scala 1:2.000.

Infine sono stati consultati gli elaborati del P.R.G del Comune di Ascoli Piceno e del Piano di Assetto Idrogeologico, redatto dall'Ex Autorità di Bacino del Fiume Tronto, attualmente Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino centrale, per mezzo dei quali è stato possibile completare il quadro delle forme di dissesto osservabili nei pressi dell'area d'indagine.



Mappa 2/B- Estratto CTR Regione Marche(Fogli 326160 Folignano - 326120 Appignano del Tronto), in scala 1:5.000.

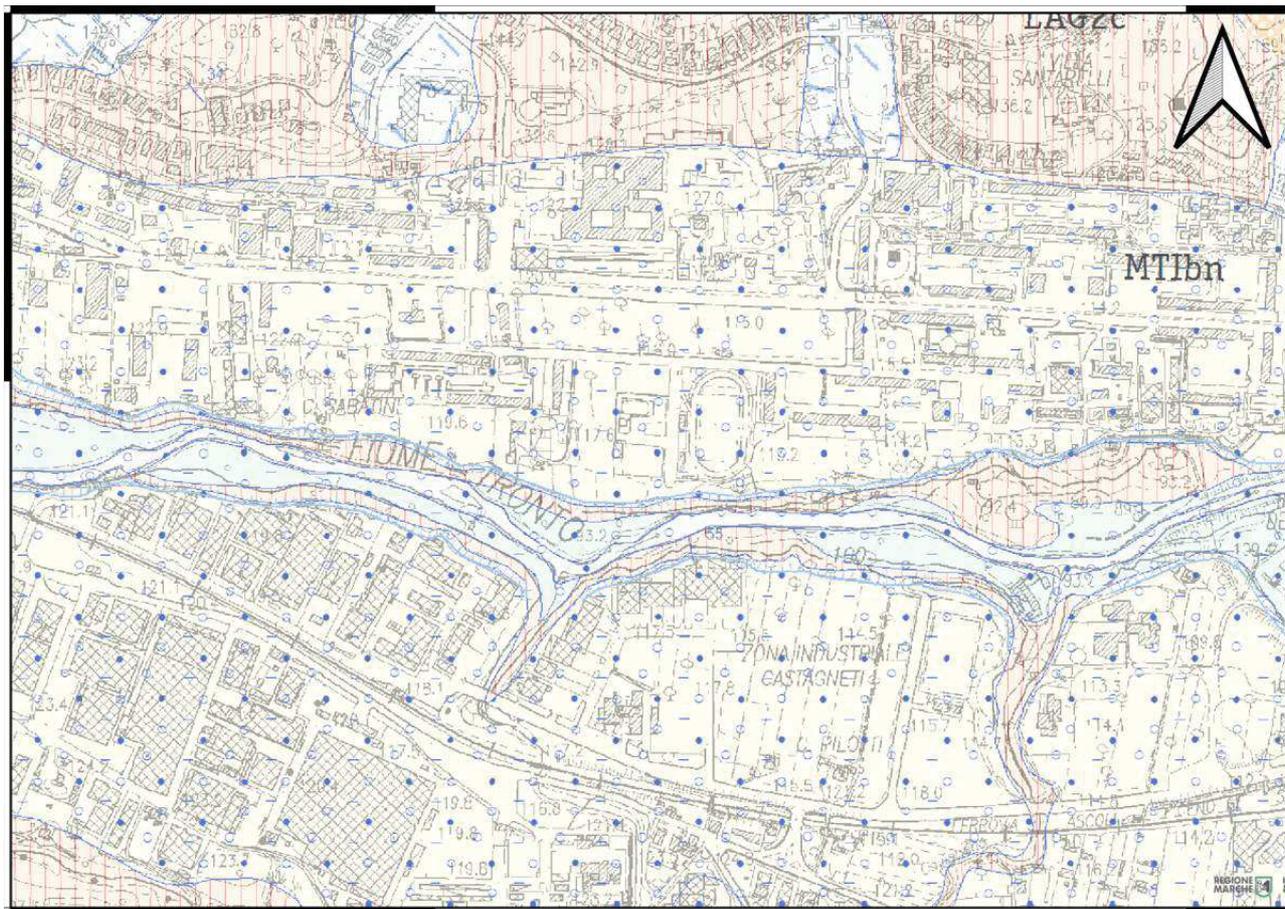


Mappa 2/C- Estratto IGM "Serie 25" Tav.133 sez. IV SE "Ascoli Piceno Est", in scala 1:25.000.

3. NOTE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

Il Fabbricato oggetto del presente studio si colloca in via dei Frassini, nel Comune di Ascoli Piceno (AP), ad Est del centro storico della città, la morfologia dell'area è pianeggiante e si attesta ad una quota media di circa 110-115 metri sul livello del mare.

L'area di interesse si trova su un pianoro che degrada debolmente verso l'asta fluviale del Tronto localizzato a sud del sito, ad una distanza di circa 100 ml, il cui alveo si attesta ad una quota di circa 90 metri sul livello del mare; nei pressi del sedime del fabbricato da realizzare sono stati rilevati i depositi alluvionali recenti (III° ordine) del Fiume Tronto, costituiti da sabbie limose con abbondanti clasti travertinosi/arenacei e lenti di ghiaie, che sovrastano stratigraficamente la Formazione della Laga, litofacies arenacea Lag 2c.



Mappa 3/A - Estratto Carta Geologica Regione Marche (326160 Folignano - 326120 Appignano del Tronto), in scala 1:10.000.

La formazione non è affiorante nel sito, data la presenza del materasso alluvionale, ma è osservabile il suo assetto, immergente verso ovest di 25°-30° lungo la scarpata che borda il pianoro dall'alveo fluviale del Tronto, dove i banconi arenacei sono alternati a intercalazioni marnose.

Il bacino che contiene la formazione della Laga si individuò durante il miocene inferiore-medio in un dominio di avampaese e assunse nel Messiniano basale, il carattere di avanfossa permettendo l'accumulo di potenti successioni torbiditiche all'esterno della fronte deformativo dei M.ti Sibillini e del Gran Sasso (Bacini minori marchigiani e Formazione della Laga).

La sedimentazione risulta fortemente condizionata dall'evoluzione tettonica, che articolò il bacino in una serie di dorsali e depressioni longitudinali, talora dislocate da faglie ad andamento sia longitudinale che trasversale. La Formazione della Laga è suddivisa in tre membri Pre-Evaporitico, Evaporitico (orizzonte guida gessarenitico) e Post-Evaporitico (Cantalamessa *et Alii*, 1986°):

- a) Membro Pre-evaporitico (messiniano inf.) rappresentato da depositi canalizzati, prevalentemente arenacei, tipici di apparati deposizionali ad alta efficienza (flussi ad alta densità) con evidenti strutture di *on lap* sui bordi delle dorsali;
- b) Membro Evaporitico (messiniano medio) deposto nel settore meridionale in un ambiente euxinico caratterizzato da depositi prevalentemente canalizzati passanti a sottocorrente (verso S), a non canalizzati, nei quali si intercala un (a N questo orizzonte è sostituito dalla Formazione *gessoso-solfifera*);
- c) Membro postevaporitico (messiniano sup.) caratterizzato da depositi non canalizzati di pianura sottomarina, prevalentemente di natura pelitico-arenacea, tipici di apparati a bassa efficienza (flussi a bassa densità).

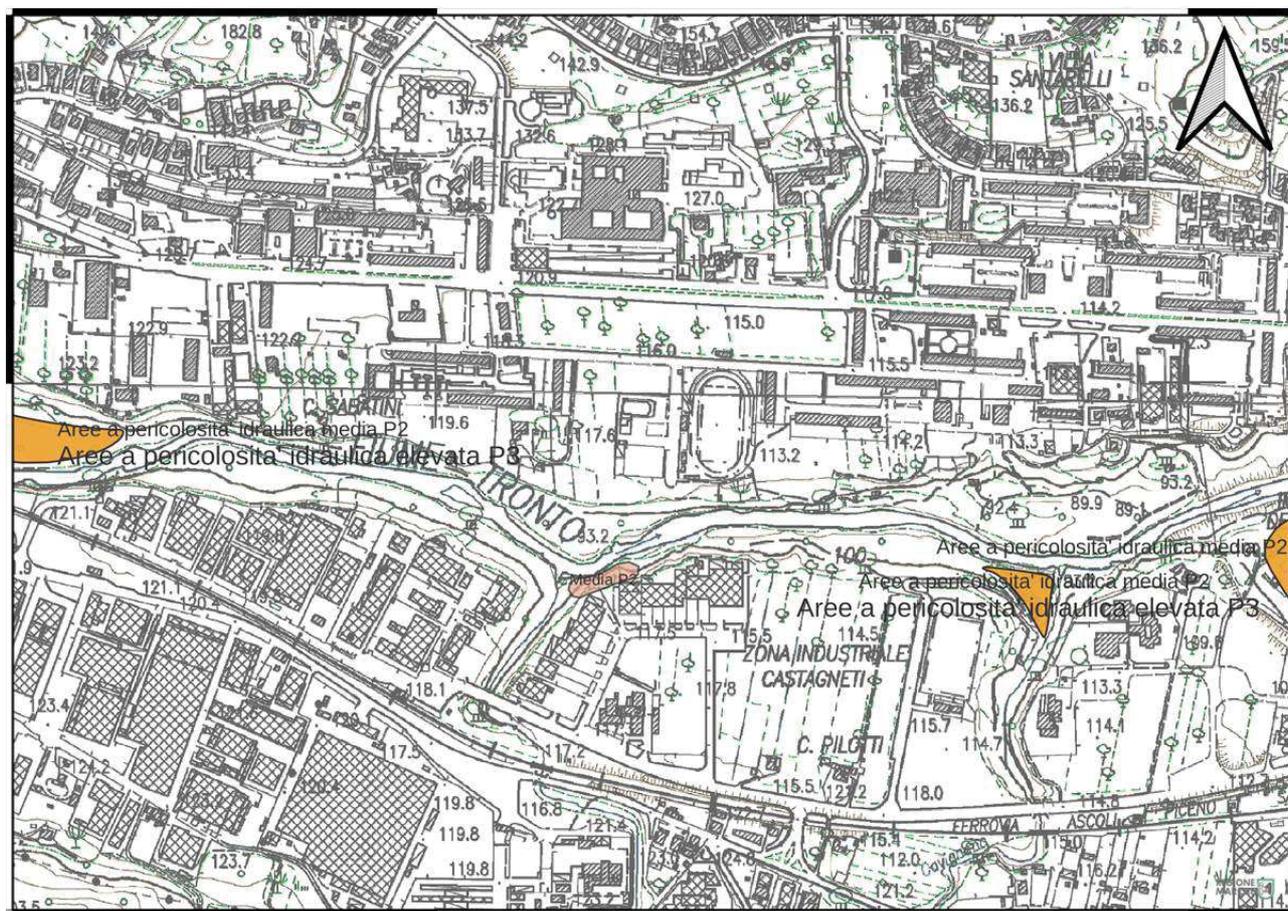
Il bacino della Laga è delimitato a O dal sovrascorrimento dei M.ti Sibilini ed è diviso il due dalla culminazione anticlinale della Montagna dei Fiori che porta in affioramento rocce Mesozoiche appartenenti ancora al dominio Umbro-Marchigiano.

4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'area in oggetto è collocata alla quota di circa 115 metri s.l.m., in sinistra idrografica rispetto al fiume Tronto che rappresenta il livello di base locale per le acque superficiali e sotterranee di modesta profondità.

Le acque meteoriche e di ruscellamento vengono intercettate e drenate verso valle dai vari fossi che solcano i rilievi collinari posti a nord dell'area di studio.

I fossi principali sono il *fosso della Bretta* a est e il *fosso Pecoraro* a ovest, sono tutti disposti secondo un reticolo incassato, caratterizzato dalla brevità delle aste; questo fattore unitamente alla bassa permeabilità dei litotipi presenti in affioramento ne condiziona fortemente le portate, che si presentano discretamente variabili e strettamente legate alla quantità di precipitazioni che cadono in zona, risultando minime per lunghi periodi durante l'arco dell'anno.



Mappa 4/A - Estratto cartografia PAI 10-23 in scala 1:10.000.

La circolazione idrica sotterranea che caratterizza la Formazione della Laga localmente presente, è caratterizzata dalla bassa permeabilità dei litotipi arenaceo-marnosi, ai quali sono associati dalla letteratura geologica valori di K compresi tra 10^{-4} e 10^{-8} cm/sec, tale fattore può risultare leggermente più elevato a causa della fratturazione. Per quanto riguarda il deposito di copertura, data la sua tessitura sabbiosa- limosa prevalente, risulta caratterizzato da bassa permeabilità, determinando un rapido smaltimento delle acque verso valle, ed in particolare nell'area oggetto del presente studio è stata rilevata la presenza della falda nel sondaggio geognostico S2-2012, a partire dalla profondità di circa 3.60 metri dal piano campagna, dove sono state rilevate le ghiaie.

Dalla “Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe”, del Progetto **IFFI**, dagli estratti della carta del **P.A.I.** (tav.10-23), e dalle tavole dei Vincoli sottosistema geologico geomorfologico del PRG (AN_vin_01_2016_4) del comune di Ascoli Piceno, l’area oggetto di studio risulta classificata zona prevalentemente residenziale a media densità edilizia e non interessata da alcun fenomeno di dissesto potenziale o in atto.

4.1 Verifica della Compatibilità Idraulica

Poiché a seguito dei tragici eventi alluvionali del marzo 2011 la Giunta Regionale ha approvato, ai sensi dell’art. 4 comma 10, della L.R. 23 novembre 2011 n°22, “Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l’invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali”, successivamente revisionata in data 27 gennaio 2014 con la delibera di Giunta Regionale n°53 ha approvato le linee guida di detta delibera con gli allegati “A – Sviluppo della Compatibilità Idraulica”, “B – Sviluppo dell’Invarianza Idraulica” e “C – Accorgimenti tecnico-costruttivi per la mitigazione del rischio idraulico in aree inondabili”, si è provveduto ad adeguare il presente studio al nuovo quadro di riferimento normativo.

Il presente elaborato contiene i risultati di un’analisi idrogeologica la cui ampiezza è commisurata al tipo d’intervento ed al grado di conoscenza dell’area, che, integrata con i dati provenienti dalla letteratura specifica e dalla cartografia geologica esistente, hanno permesso di ricostruire la situazione idrogeologica locale, in merito alla realizzazione dell’opera in progetto, ubicata in via dei Frassini nel Comune di Ascoli Piceno.

Di seguito verranno esposti i risultati dell’indagine secondo il presente schema:

4.1.1) Analisi Idrografica-bibliografica-storica;

4.1.1) Analisi Idrografica-bibliografica-storica

Tale analisi ha lo scopo di individuare il reticolo idrografico attuale e quello storico recente, per tanto sono state consultate le cartografie disponibili presso il Comune di Ascoli Piceno, in particolare si è consultata la relazione di Compatibilità Idraulica “Compensorio Monticelli Centro”, ed inoltre le cartografie disponibili tra cui la tav. SF_CAR_04_2016 Carta delle Zone meritevoli di particolare tutela, la tav. SF_VIN_04_2016_4 ed infine la tavola 10_14 PAI redatta dell’autorità di bacino del Fiume Tronto in scala 1:10.000.

La particella oggetto del presente studio ricada all’interno del Foglio 80 – Particella 311 del Nuovo Catasto Terreni del Comune di Ascoli Piceno.

Per quanto concerne l’Analisi Bibliografica Storica si rimanda ai capitoli 3 e 4 della presente relazione dove sono stati ampiamente esplicitati i caratteri idrologici dei corsi d’acqua dell’area di studio e ne sono state descritte le caratteristiche di permeabilità, portata e bacino idrico corrispondente.

Dall’analisi delle cartografie consultate l’area risulta ubicata ad una quota e distanza tale da non essere interessata da fenomeni di inondazione/allagamento e sicuramente non interessabile dalle dinamiche dei corsi d’acqua minori; pertanto la verifica preliminare (Semplificata) soddisfa la verifica della compatibilità idraulica come previsto dal DRG n°53/27-01-2014 par 2.4.2 e dalle Linee Guida “A” allegate.

5. NOTE TECNICHE E PRESCRIZIONI

Come anticipato nel paragrafo introduttivo il progetto prevede la realizzazione Centro Sociale di Aggregazione Giovanile, presso la Parrocchia dei SS. Simone e Giuda, presso un lotto di terreno ubicato nel comune di Ascoli Piceno, in via dei Frassini; Il fabbricato è composto da una struttura a L di circa 690 mq, composta da un grande salone polifunzionale, di circa 430 mq, e una struttura a due piani di circa 150 mq, che costituisce il lato corto della L, ed un giunto tra le due strutture dedicato a servizi igienici e disimpegno.

Dal rilevamento di campagna, come già ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, il sito di interesse è caratterizzato dalla presenza della formazione torbidityca della “Laga” che costituiscono il locale basamento sismico, sulla quale è presente una coltre di depositi alluvionali (*MTIbn* – CTR 10.000 sezione 326 120 denominata Appignano del Tronto) mediamente addensati.

Per l’acquisizione delle informazioni utili alla stima della sicurezza sismica dell’area, quali spessori della copertura, stato di addensamento della stessa e amplificazione sismica di sito, sono state rese disponibili dalla committenza le indagini eseguite nel 2012 dal Geol.Rosmarini, finalizzate allo stesso progetto, ma che nel corso del tempo ha subito diverse modifiche; pertanto le indagini reperite sono state integrate da una campagna geognostica, dove è stata eseguita un’indagine sismica di tipo MASW, finalizzata alla definizione della categoria di sottosuolo.

Per la caratterizzazione dei parametri geotecnici del terreno, è stata eseguita nel 2012 una prova penetrometrica dphs spinta a rifiuto strumentale, oltre a 2 carotaggi che hanno intercettato il basamento; di seguito è allegata la carta delle indagini geologiche eseguite e reperite nel sito d’interesse.



L'indagine sismica mostra una sequenza sismo-stratigrafica caratterizzata da un gradiente di Vs crescente con la profondità, con valori di Vs molto bassi che passano da 150 m/s in superficie, per il primo metro, per poi aumentare fino a 300 m/s, fino alla profondità di 4 metri dove i valori di Vs >650 m/sec (basamento della Laga alterato/ghiaia addensata); a partire da 6.60 mt di profondità il valore del Vs > 800 m/sec (bedrock sismico inalterato).

Dall'indagine penetrometrica dpsh si è osservata una variabilità nella misura dei colpi dovuta alla presenza di trovanti e ghiaie sparse nella matrice sabbioso-limosa, che caratterizza il bordo del terrazzo alluvionale, che poi raggiunge il rifiuto strumentale alla profondità di 3,80 mt dal pc.

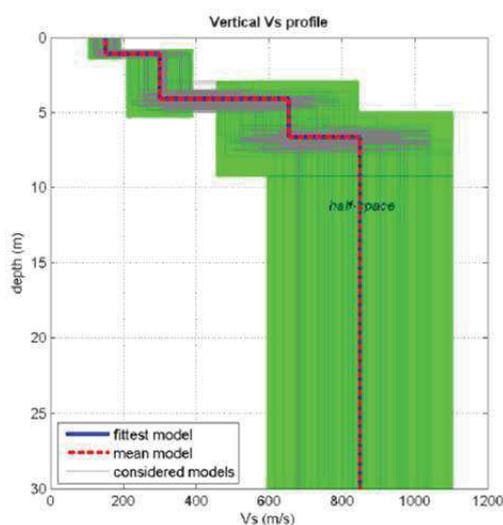
Per quanto riguarda la scelta del piano di posa e il tipo di fondazione, in base alle elaborazioni delle indagini eseguite in sito, si evidenzia la presenza di terreni scadenti per un orizzonte superficiale dello spessore metrico, poi si ha un aumento graduale delle proprietà meccaniche.

Per la valutazione delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso roccioso che costituisce il basamento sismico localmente presente, è stato inoltre utilizzato il software RocLab 1.0, che, sulla base di alcune considerazioni descrittive, come la litologia, la stratificazione, la qualità e il grado di fatturazione, restituisce i parametri tipici dell'ammasso roccioso considerato.

Nelle pagine seguenti vengono esplicitati i parametri geologici e geotecnici, viene definita la pericolosità sismica locale, e vengono analizzati i fattori litologici e morfologici del sito che possono generare fattori di amplificazione locale del segnale sismico, infine è stato eseguito il confronto richiesto dall'Ord. n.55 del 2018, in quanto sebbene il progetto non verrà realizzato accedendo ai contributi sisma, l'area di studio è compresa all'interno della microzona 2004 della MS 3°livello del Comune di Ascoli Piceno.

5.1 Caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione

Dal profilo sismico ottenuto con metodologia MASW acquisito nell'area risulta un valore di Vseq. pari a 314 m/s per i primi 6.60 metri di profondità; sulla base di tale valore il sedime del fabbricato in oggetto è ascrivibile ad una categoria di suolo di tipo **E**, "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalenti riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m", secondo l'approccio semplificato delle NTC 2018.



Sulla base di tale dato, la scelta di un piano di fondazione ubicato ad almeno 1 metri dal p.c. permetterebbe di fondare l'edificio ad una quota tale da superare lo spessore del livello più .

Per quanto riguarda i parametri sismici del sito oggetto del presente studio, sebbene la categoria di sottosuolo sia stata ricavata dall'indagine masw, Cat. E, nel paragrafo 5.5 è stato eseguito il confronto richiesto dall'Ord.n.55 del 2018 tra lo spettro di categoria E delle NTC 2018 con quello della Microzona 2005 (MS3°livello) .

In allegato alla presente è riportato il prospetto di stampa ricavato dal programma RocLab1.0 nel quale sono riportati i grafici prevedibili per l'ammasso roccioso verificato, vengono ricapitolati i metodi di classificazione dello stesso, oltre alla coesione ed all'angolo d'attrito ricavabili dall'interpolazione del grafico "Mohr-Coulomb", inoltre è riportata una tabella relativa alla classificazione dello stesso dove i valori massimi sono rappresentativi della frazione arenacea e i minimi della pelitica.

I parametri geotecnici ricavati sono stati elaborati statisticamente (metodo semi-probabilistico finalizzato alla definizione del 5° percentile della distribuzione della media dei dati a disposizione) al fine di ottenere per ogni orizzonte stratigrafico i valori caratteristici della coesione c e dell'angolo d'attrito Φ .

I parametri geotecnici pertanto, possono essere ricapitolati come segue:

a) Limo-sabbioso poco addensato (terreno vegetale) da 0,0 a 1.0 metri:

| Peso di volume naturale = 1,80 t/mc | |
|---|---------------------------------|
| $\Phi = 25.60^\circ$ | Parametro medio |
| $\Phi_k = 24.70^\circ$ | Parametro caratteristico |
| Densità Relativa D_r % | 15-20% |
| Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | 30-40 kg/cmq |

b) Sabbia deb.limosa con ghiaia e trovanti, mediamente addensata da 1.0 fino a 3.20 metri:

| Peso di volume naturale = 1,85 t/mc | |
|---|---------------------------------|
| $\Phi = 31.40^\circ$ | Parametro medio |
| $\Phi_k = 27.90^\circ$ | Parametro caratteristico |
| Densità Relativa D_r % | 40-50% |
| Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | 60-70 kg/cmq |

c) Ghiaia deb.sabbiosa molto addensata / Alterazione della Formazione litoide 3.20 a 6.60 metri:

| Peso di volume naturale = 1,80 t/mc | |
|---|---------------------------------|
| $\Phi = 41.50^\circ$ | Parametro medio |
| $\Phi_k = 41.30^\circ$ | Parametro caratteristico |
| Densità Relativa D_r % | 70-80% |
| Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | 140-150 kg/cmq |

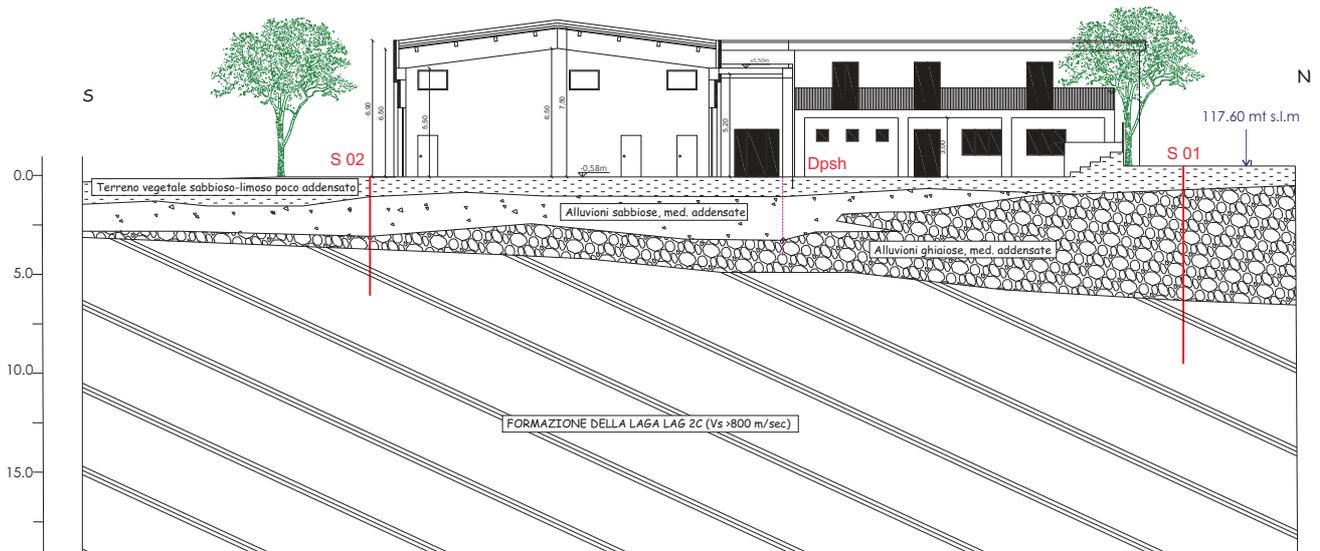
d) Formazione della Lago Lag2C (A>>M) oltre i 6.60 metri

| | |
|---------------------------|--------------|
| Hoek Brown Classification | sci (MPa) 75 |
| | GSI 50 |
| | mi 17 |
| | D 0 |
| Mohr-Coulomb Fit | c (Mpa) 4.30 |
| | F (°) 35.0° |
| Hoek Brown Classification | sci (MPa) 40 |
| | GSI 30 |
| | mi 7 |
| | D 0 |
| Mohr-Coulomb Fit | c (Mpa) 1.24 |
| | F (°) 21.0° |

La tabella riportata sopra riporta la caratterizzazione dell'ammasso roccioso, i parametri in alto sono riferiti alla componente arenacea mentre sotto sono riferiti a quella marnosa.

Sezione Geologica N-S
Via dei Frassini, Monticelli - Comune di Ascoli Piceno

scala 1:200



Alcune considerazioni sulla suscettibilità alla liquefazione del deposito di copertura

Poiché il sito in esame deve essere stabile nei confronti del fenomeno della liquefazione, sono state considerate le condizioni che danno luogo a tali fenomeni, in particolare per l'area in esame sono state considerate le condizioni favorevoli a tali fenomeni come:

- accelerazioni massime attese al piano campagna $> 0,1 g$;
- profondità media della falda superiore a 15 m dal piano campagna (**falda a 3.60 mt** dal p.c. quota della piezometrica rilevata nel sondaggio S02) .

Sebbene siano verificate le prime due circostanze favorevoli all'innescarsi di fenomeni di liquefazione (Par. 7.11.3.4.2 NTC 2018), il sedime del fabbricato oggetto del presente studio, è caratterizzato dalla presenza di depositi eterogenei di sabbie e ghiaie con diffusi trovanti travertinosi, caratterizzati da valori di $(N_1)_{60} > 30$ ricavati dalla DPSH ; pertanto si può affermare con ragionevole certezza che il sedime dell'opera in progetto non presenta condizioni che possono dar luogo a fenomeni di liquefazione, e pertanto la verifica a liquefazione per il deposito in oggetto, potrà essere ragionevolmente omessa (NTC 2018 - 7.11.3.4.2 Esclusione della Verifica a Liquefazione - punto 3-4).

5.2 - Caratteristiche dell'opera, (prestazioni attese e definizione del periodo di ritorno dell'azione sismica)

L'opera, per quanto riguarda la sua Vita nominale (V_n) definita come “numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è destinata” rientra nella categoria delle opere che seppur per brevi periodi possano accogliere affollamenti significativi, per le quali è previsto un valore di V_n pari a 50 anni. Trattandosi di un edificio da destinarsi a Centro d'Aggregazione giovanile si è considerato che la struttura in questione rientra in “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”; ne consegue che per l'edificio in questione si ha un Coefficiente d'uso (C_u) = 1.50 . Dal prodotto di questi due fattori si ottiene la Vita di riferimento V_R ($V_n * C_u$) che corrisponde in questo caso a 75 anni.

Per la verifica dei confronti dello SLV si potrà fare riferimento alla probabilità d'eccedenza del 10% su un periodo di riferimento $V_r = V_n * C_u = (50 * 1.0) = 50$ anni, ovvero con periodo di ritorno di riferimento $T_{r,SLV}$ calcolato secondo la seguente espressione:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{V_R}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{V_R})$$

Ottenendo per il nostro caso i seguenti periodi di riferimento:

$$SLO = 35 \text{ anni} - SLD = 75 \text{ anni} - SLV = 712 \text{ anni} - SLC = 1462 \text{ anni}.$$

5.3 - Definizione dei parametri sismici di base

Il Comune di Ascoli Piceno rientra nella “Zona Sismica 2”, dove l'accelerazione massima di riferimento, raggiunge valori di a_g compresi tra 0,175 e 0,200 g (DGR n. 1142 del 19 settembre 2022 della Regione Marche “Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche, definite su base comunale”).

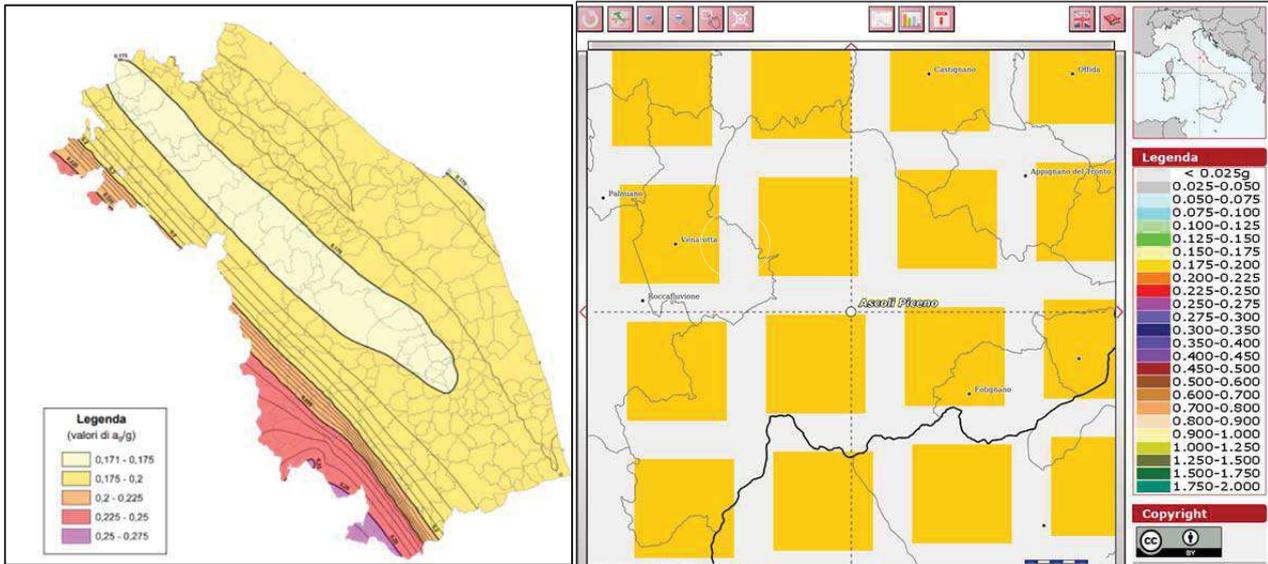


Fig.5.3/A - Allegato C del DGR n. 1142 del 19 settembre 2022 della Regione Marche, a destra tabella estratta da Classificazione sismica del Comune di Ascoli Piceno. (fonte <http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

Nel territorio nazionale la “pericolosità sismica di base” è stata definita da studi condotti dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia attraverso un reticolo di riferimento con maglia avente passo pari a 0,05° (< 10 chilometri) consultabile sul sito internet dell’INGV.

Attraverso una pagina internet messa a disposizione da una nota azienda produttrice di software per l’edilizia è possibile reperire velocemente e con molta facilità i “Parametri di pericolosità Sismica” Ag, Fo (calcolati attraverso l’interpolazione dei 4 nodi più vicini) per tutto il territorio nazionale individuando l’area interessata direttamente dalle sue coordinate oppure tramite l’utilizzo di foto aeree.

La tabella sottostante è stata ricavata direttamente dal sito internet <http://www.geostru.com/Geoapp/parametri-sismici> dalla quale risultano per l’area oggetto di studio i parametri di pericolosità sismica seguenti:

Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 50

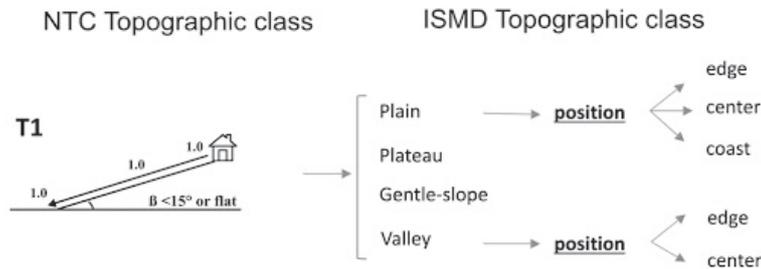
Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

| Stato Limite | Tr [anni] | a _g [g] | F _o | T _c [s] |
|--|-----------|--------------------|----------------|--------------------|
| Operatività (SLO) | 45 | 0.069 | 2.455 | 0.291 |
| Danno (SLD) | 75 | 0.086 | 2.447 | 0.309 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 712 | 0.207 | 2.490 | 0.350 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1462 | 0.264 | 2.528 | 0.358 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 75 | | | |

5.4) Condizioni topografiche (effetti di amplificazione sismica locale)

Per quanto riguarda la condizione topografica, sebbene l'area in esame è collocata su una superficie pianeggiante, riferibile quindi alla categoria T1.



Pertanto sulla base delle indicazioni della tabella riportata e presente nel D.M. 17gennaio 2018, potrà essere considerato un valore del coefficiente S_T uguale 1,00.

5.5) Riferimento Ord.n°55 del 24 aprile 2018 del CSR Sisma 2016

L'allegato I dell'Ordinanza n°55 del 2017 emanata dal CSR Sisma 2016, prevede che “*al fine di definire lo spettro di progetto lo strutturista dovrà confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato, ottenuto dagli studi di MS3° per la microzona d'interesse con quello ottenuto secondo l'approccio semplificato della normativa sismica, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tr di 475y;*”; il fabbricato rientra in **Classe d'uso III**, sulla base dell'Ordinanza n.55 “*Per le costruzioni di classe III e IV, se nessuna delle due condizioni di cui ai punti 1 e 2 del presente paragrafo risultasse verificata, in riferimento al tempo di ritorno di 475 anni, sarà possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica, al fine di determinare gli spettri di risposta per tutti i tempi di ritorno necessari. In caso contrario, occorrerà necessariamente approfondire l'analisi della risposta sismica locale nei modi detti. Sono fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive.*”

L'intervallo di periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di MS3 - Mops 2004 e quello di Norma, ricavato attraverso l'approccio semplificato delle NTC 2017 - CAT E, è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell'opera nelle due direzioni principali, ossia il minore, T_{min} e il maggiore, T_{max} , dei tre periodi di vibrazione dell'edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell'elongamento degli stessi durante la risposta sismica.

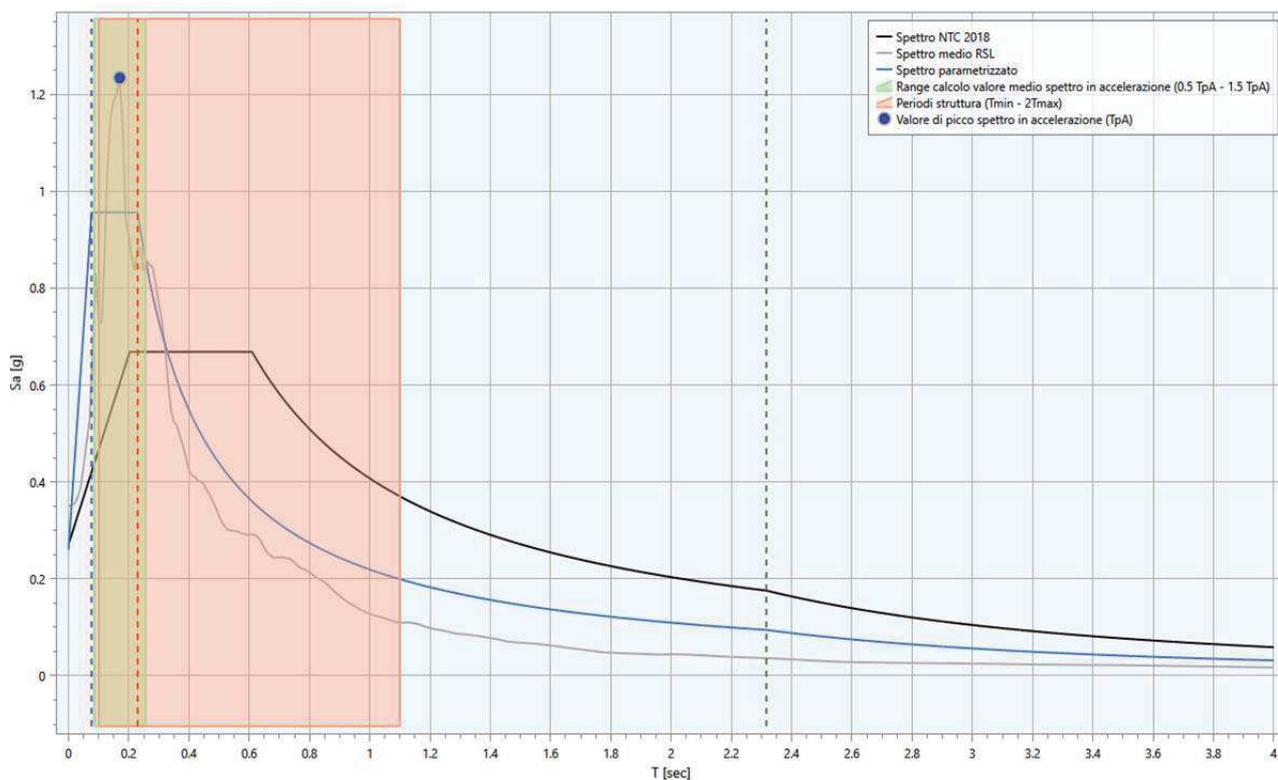
Tale intervallo è compreso tra T_{min} e $2 T_{max}$, e nel caso specifico è stato considerato compreso tra 0.1 sec e 1.1 sec.

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

1. lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2. l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Nel caso specifico risulta:

| T_{min} [sec] | T_{max} [sec] | Rapporto puntuale [%] | Rapporto integrale [%] | Esito |
|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------------|---|
| 0.10 | 0.55 | 104.94 | -17.87 | E' necessaria un'analisi di RSL. |



Dal confronto riportato nel grafico sopra si evince che l'approccio semplificato previsto dalle NTC 2018 (graf. nero) **NON** è sufficientemente cautelativo, in quanto **RISULTA VERIFICATA** la I° condizione prevista dall'Ord. n.55 del 24 aprile 2018, nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1 - 1.1 sec (che contiene T_{min} e $2 T_{max}$), perchè il rapporto puntuale è $>$ del 104%, pertanto il progettista **NON POTRÀ UTILIZZARE GLI SPETTRI DI NORMA** previsti dalle NTC 2018, e si rimanda all'allegato tecnico dove sono esplicitati i parametri sismici degli spettri calcolati secondo l'Analisi di RSL eseguita.

6. CONCLUSIONI

Il seguente studio è stato eseguito in merito ad un progetto che prevede la realizzazione di un Centro d'Aggregazione Giovanile, nel quartiere Monticelli, in via dei Frassini, presso Ascoli Piceno, su commissione della Parrocchia dei SS. Simone e Giuda.

Il seguente elaborato è stato eseguito sulla base delle conoscenze geologiche dell'area, e della bibliografia geologica disponibile (MS3° livello del Comune di Ascoli Piceno), inoltre, la committenza ha messo a disposizione i risultati di una campagna d'indagine eseguita nella particella nel 2012 dal Geol. F. Rosmarini, in merito allo stesso progetto, che nel corso degli anni ha subito delle modifiche; pertanto il presente elaborato è stato adeguato alla normativa vigente.

Dallo studio geotecnico, geofisico ed idrogeologico effettuato all'interno della particella in oggetto, risulta che i terreni presenti nell'area sono caratterizzati dalla presenza in affioramento del materasso alluvionale che sovrasta il basamento geologico della Laga. Lo spessore delle alluvioni aumenta da sud verso nord, ed all'aumento dello spessore, corrisponde un aumento della componente ghiaiosa a discapito delle sabbie e dei limi. Per la verifica delle fondazioni dell'opera in progetto, nella parte dedicata alle norme tecniche cap. 5.1, si fa presente che localmente è stato rilevato un livello superficiale metrico, dalle caratteristiche geotecniche scadenti, e si consiglia pertanto di intestare il piano fondale a partire dalla quota di 1,0 dal pc.

La campagna d'indagini eseguite, ha permesso di caratterizzare il terreno di fondazione sia da un punto di vista fisico meccanico che da un punto di vista sismo-stratigrafico, ed infine di valutarne l'effetto amplificativo rispetto al moto sismico.

L'indagine sismica masw eseguita nell'ottobre 2023, è coerente con quanto osservato dai carotaggi reperiti, in quanto mostra un progressivo aumento delle velocità delle onde di taglio con un valore di V_{seq} pari a 314 m/s, e sebbene tale valore sia ascrivibile ad una categoria di sottosuolo di tipo E, è stato eseguito il confronto richiesto dall'**Ordinanza 55 del 24 aprile 2018, Allegato I°** con lo spettro calcolato dagli studi di MS 3° per la Mops relativa (2004).

Il confronto tra gli spettri, riferito al **Tr475y**, ha evidenziato la necessità di eseguire un'analisi di RSL, in quanto è risultata verificata la prima condizione prevista. Per quanto concerne i parametri sismici di progetto, sebbene sia stata eseguita l'analisi di RSL "vincolata" del modello geologico di sito, questa ha prodotto uno spettro di risposta meno cautelativo della Cat. E - NTC 2018 (calcolata però per $Tr=712y$ -SLV-Classe d'uso III), pertanto, in allegato sono forniti i parametri sismici calcolati per gli stati limite SLD-SLV (712y-75y) calcolati per la categoria di sottosuolo E.

Per quanto riguarda la categoria topografica, il sito è ubicato su un pianoro la cui inclinazione media è $<15^\circ$, pertanto ascrivibile alla categoria topografica T1 con valore del coefficiente $St=1.0$.

Osservando la condizione idrogeologica del sito, descritta nel capitolo 4 della presente relazione, data la presenza di una piccola falda, intercettata lungo la verticale del sondaggio S02 alla quota media di 3.60, non si possono escludere interferenze tra le acque contenute nel sottosuolo e le fondazioni dell'opera in progetto e si consiglia pertanto di regimare correttamente le acque piovane, allontanandole dall'area di fondazioni, in modo da prevenire ad eventuali fenomeni d'alterazione, e garantendo così, un adeguato drenaggio ed una corretta areazione delle pareti e dei pavimenti.

Per quanto riguarda **la Suscettibilità a Liquefazione** del deposito rilevato si può affermare con ragionevole certezza che il sedime dell'edificio in esame non presenta condizioni che possono dar luogo a fenomeni di liquefazione, in quanto sebbene la falda sia presente entro i 15 mt dal p.c., il deposito che costituisce il sedime del fabbricato è fortemente eterogeneo e addensato, data la presenza di diffusi blocchi calcarei metrici e ghiaie; pertanto, la verifica a liquefazione per il deposito in oggetto potrà essere ragionevolmente omessa (NTC 2018 - 7.11.3.4.2 Esclusione della Verifica a Liquefazione - punto 2-3-4).

In conclusione, è consigliata la presenza di personale esperto durante le fasi di esecuzione dei lavori in modo da valutare la bontà delle ipotesi progettuali, e qualora in fase esecutiva siano apportate modifiche allo stato di progetto o si dovessero riscontrare condizioni diverse da quelle rilevate e descritte, si dovrà contattare lo scrivente, al fine di concordare eventuali sopralluoghi per verificare direttamente in cantiere la condizione dei terreni di fondazione.

Arquata del Tronto Novembre 2023



Ubicazione sito: Via dei Frassini 4 - Monticelli, 63100 Ascoli Piceno Ascoli Piceno, Italy

Coordinate (datum WGS84): lon. 13.6203° lat. 42.8482°

RELAZIONE DI CALCOLO

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE



Archivio: ASCOLI_MONTICELLI.lsr - Data : 31/10/2023

Oggetto: *Realizzazione di un Centro d'Aggregazione Giovanile*

Committente

Geologo

Parrocchia SS. Simone e Giuda

Gattoni Mirko

Sommario

| | |
|---|-----|
| 1 - Introduzione | 3 |
| 1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale | 5 |
| 1.2 - Normativa di Riferimento | 6 |
| 2 - Risposta Sismica Locale | 6 |
| 3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D | 7 |
| 3.1 - Metodo lineare equivalente | 7 |
| 3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM | 8 |
| 3.2.1 - Smorzamento | 9 |
| 3.2.2 - Free-field boundaries | 9 |
| 3.3 - Procedimento iterativo | 10 |
| 3.4 - Interpretazione dei risultati..... | 10 |
| 4 - Input | 10 |
| 4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali..... | 10 |
| 4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati | 11 |
| 4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input..... | 11 |
| 4.4 - Modello di Calcolo FEM | 19 |
| 5 - Output | 21 |
| 5.1 - Accelerogrammi Output | 21 |
| 5.2 - Spettri Output | 22 |
| 5.3 - Interpretazione dei risultati..... | 24 |
| 5.4 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL..... | 24 |
| 5.5 - Considerazioni Finali | 41. |

1 - Introduzione

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.

Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

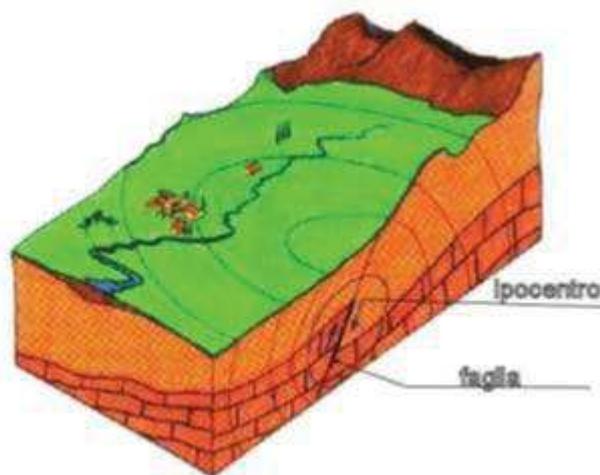


Figura 1. Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al., 1999).

Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S, come già descritto nel capitolo A sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.



Figura 2. Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde P che si propagano con velocità V_p pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{Mv}{\rho}}$$

con:

$$Mv = \lambda + 2G$$

dove:

- λ = modulo di Lamé del terreno;
- G = modulo elastico del taglio del terreno;
- ρ = densità del volume del terreno;

Per le onde P il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde S sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde SV polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde SH polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano π verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda SH , viceversa il moto nel piano costituisce l'onda SV .

Le onde P e S arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (P in S oppure S in P) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.

Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

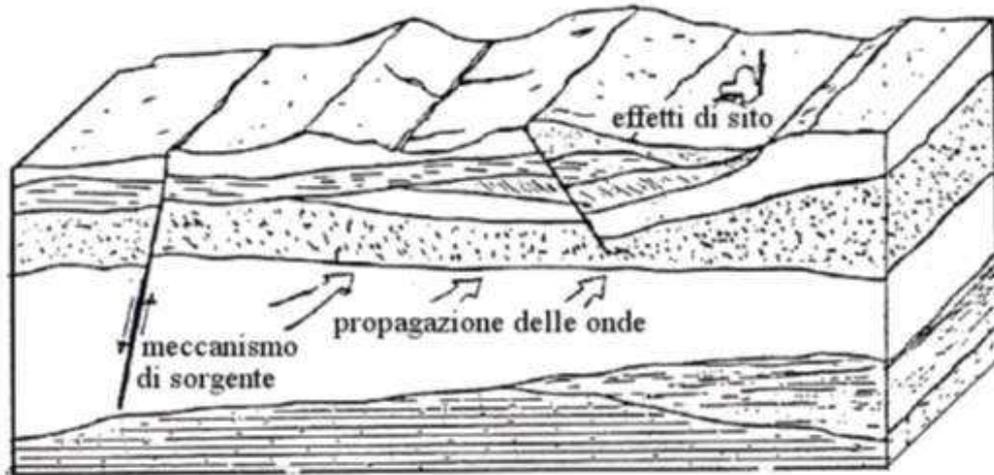


Figura 3. Schema di una situazione reale.

1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella Figura 4, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.

In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deamp1ificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.

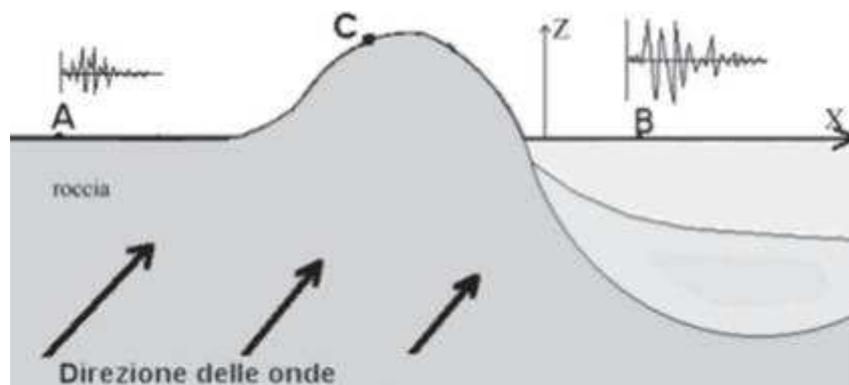


Figura 4. Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine "effetti di bacino" è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: "effetti di bordo".

Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.

Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo.

Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

1.2 - Normativa di Riferimento

La normative di riferimento per lo studio del problema in esame sono:

- NTC 2018 Cap 7.11.3.1 (Risposta Sismica Locale);
- Legge Regionale n. 35 del 19/10/2009 (Allegato 3 - Effetti di sito per interventi di tipo edilizio).

2 - Risposta Sismica Locale

Come già detto in precedenza, 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.

Alla scala della singola opera o del 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.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Dati di disaggregazione;
4. Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;
5. Analisi di Risposta Sismica Locale;
6. Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da indagine sismica MASW);
7. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D

Il codice di calcolo LSR 2d, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

3.1 - Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Figura 5. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

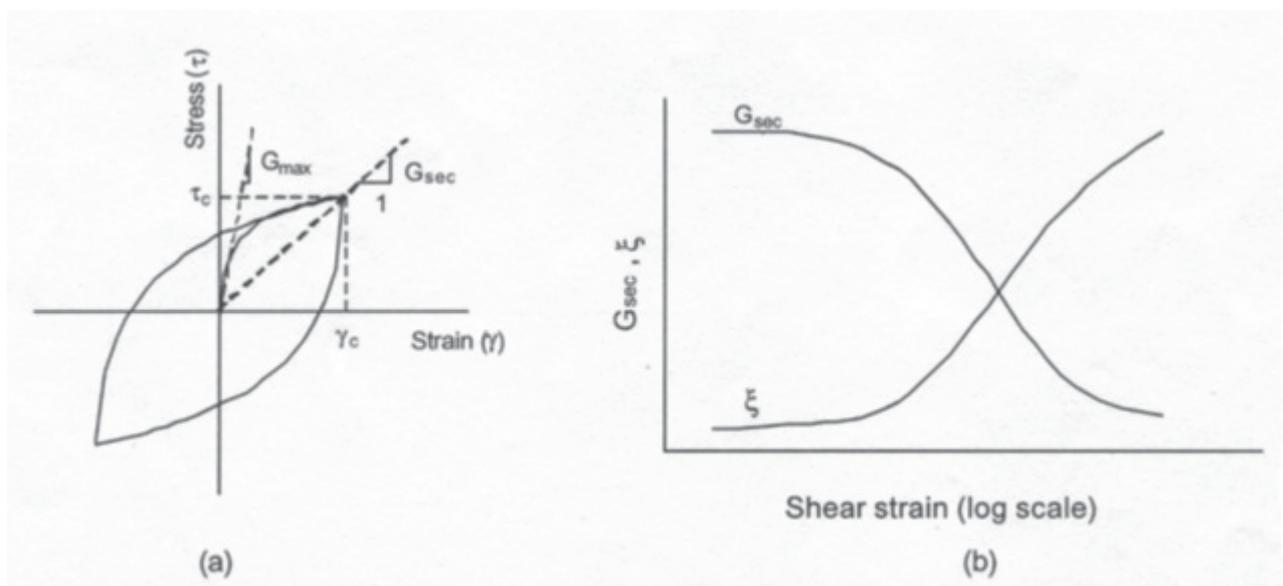


Figura 5. Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Figura 5. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $G_s - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{dt}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Figura 5b).

3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Figura 6) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

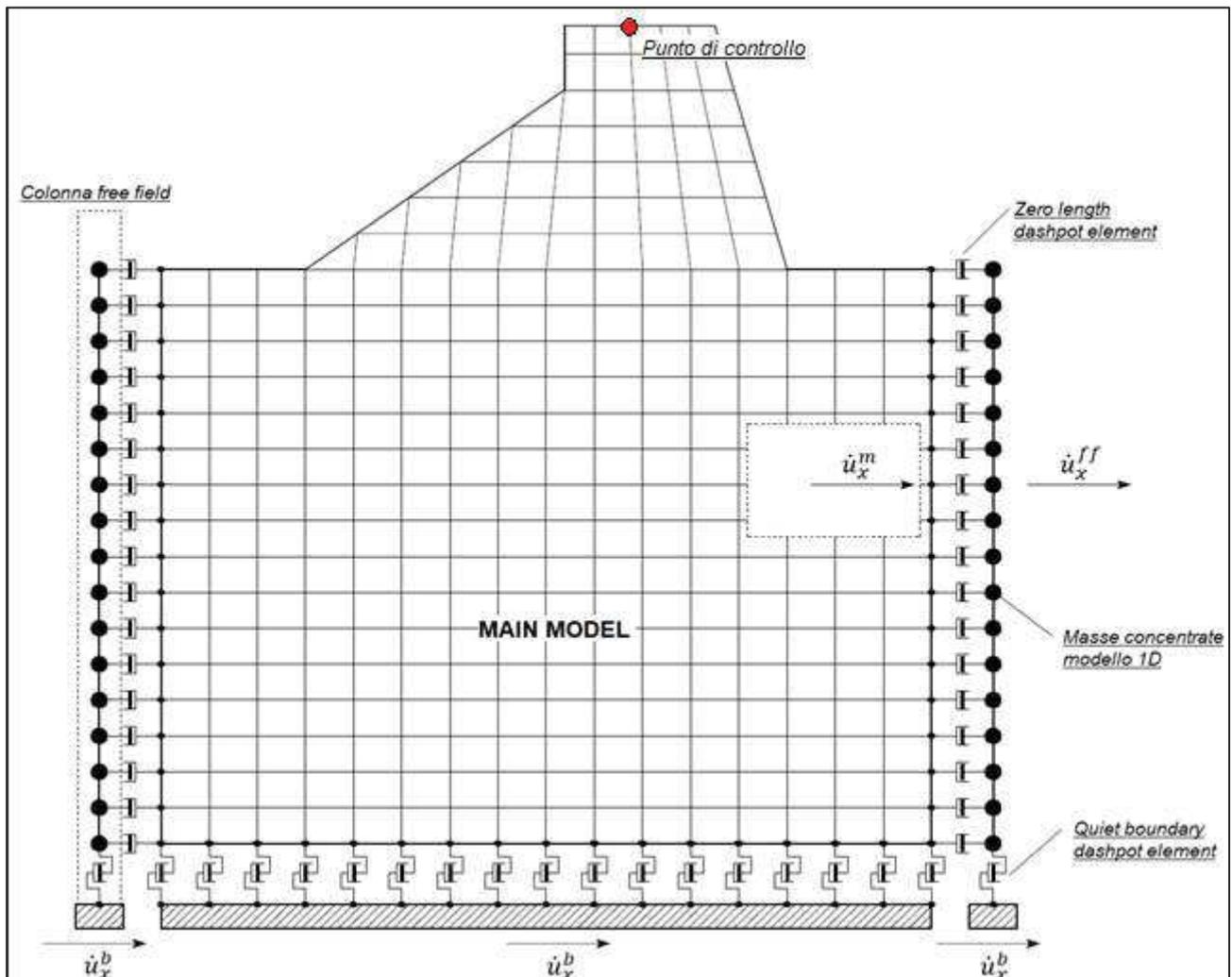


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- M = matrice di massa del sistema;
- C = matrice di smorzamento del sistema;
- K = matrice di rigidezza del sistema;
- \ddot{u}, \dot{u}, u = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo tn e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni tn viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

dove:

- Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo tn e $tn - 1$;
- β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

3.2.1 - Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

3.2.2 - Free-field boundaries

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A \quad (1)$$

$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A \quad (2)$$

dove:

- ρ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;

- A : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- \dot{u}_x^m : velocità del nodo del modello in direzione x ;
- \dot{u}_y^m : velocità del nodo del modello in direzione y ;
- \dot{u}_x^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x ;
- \dot{u}_y^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y .

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2).

3.3 - Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla Figura 5, lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico:

- definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1 , Figura 5);
- aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_i - 1 \sim \gamma_i$).

3.4 - Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.4 - Input

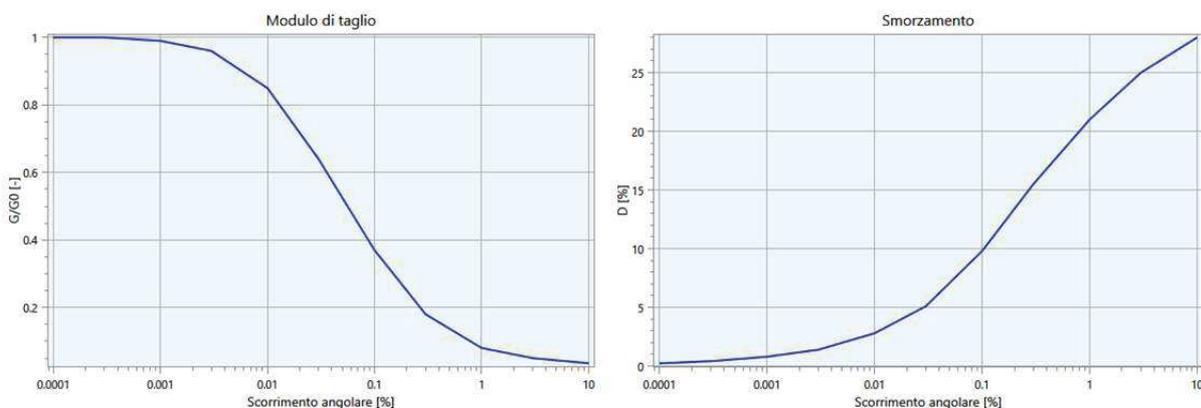
Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai dati di input utilizzati per lo studio della risposta sismica locale del deposito.

4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali

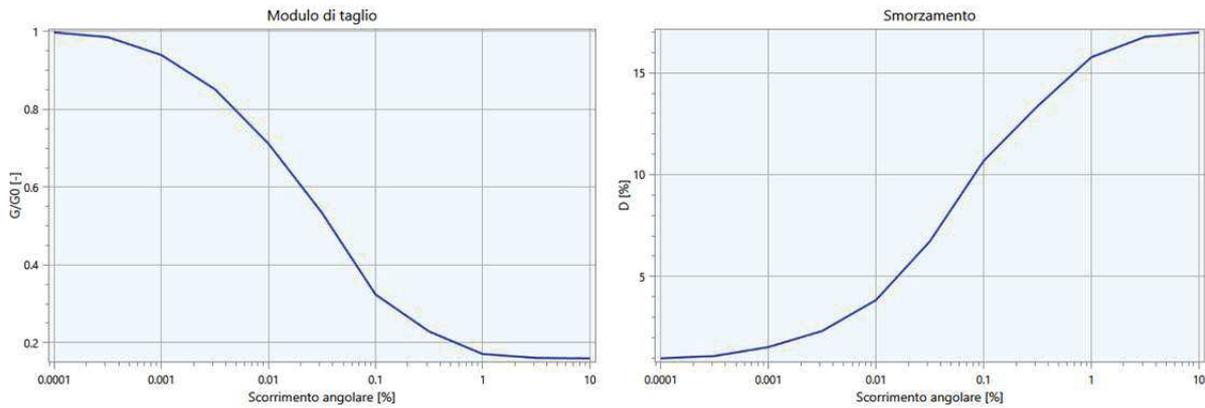
All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D .

Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi:

Curva n. 1: Sand Seed & Idriss (1970)



Curva n. 2: Rollins ghiaia



4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio. Di seguito si riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati, va fatto presente che è stato escluso dal calcolo l'orizzonte litotecnico I, dalle caratteristiche meccaniche e sismiche scadenti:

| Strato | Descrizione | S [m] | ρ [Kg/m ³] | Vs [m/s] | γ | Curva decadimento |
|-------------------------------------|---------------|-------|-----------------------------|----------|----------|---------------------------|
| Sabbie | Orizzonte II | 3.00 | 1800.00 | 300.00 | 0.35 | Sand Seed & Idriss (1970) |
| Ghiaia sabbiosa/formazione alterata | Orizzonte III | 2.50 | 1900.00 | 654.00 | 0.35 | Rollins Ghiaia |

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche strati.

dove:

- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input

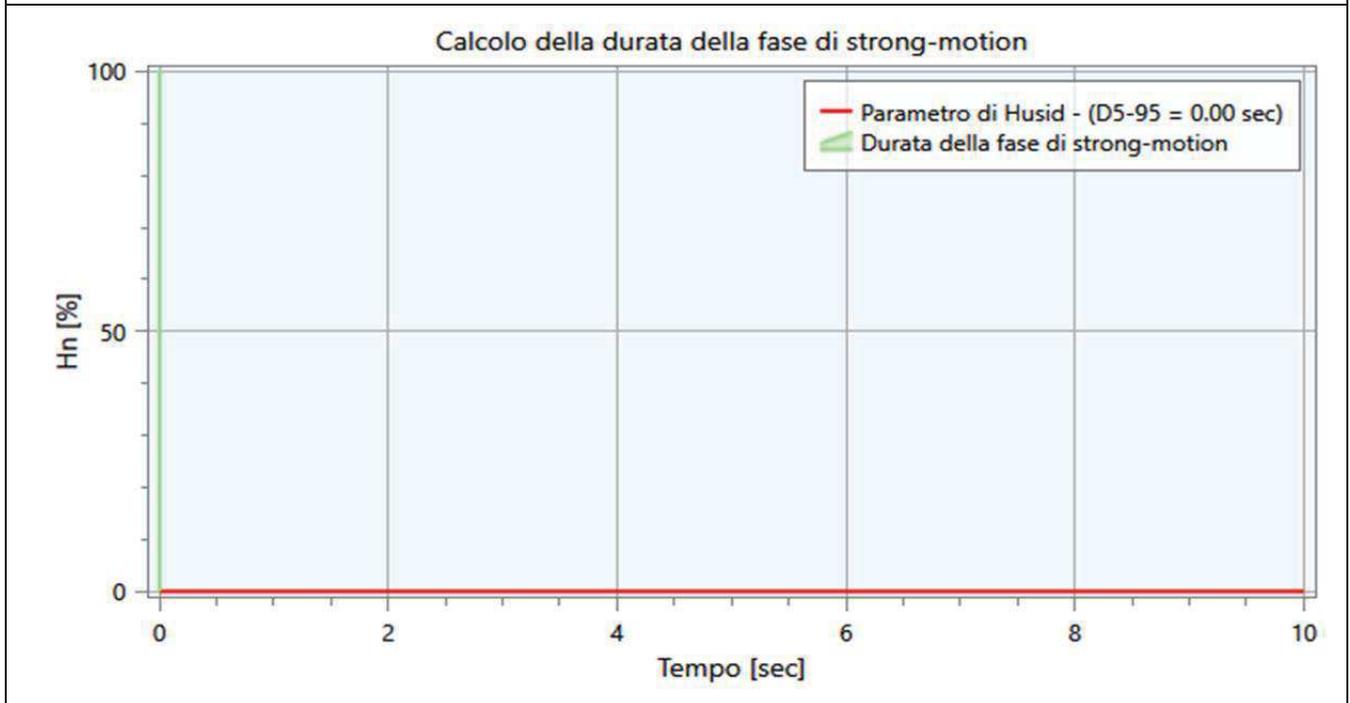
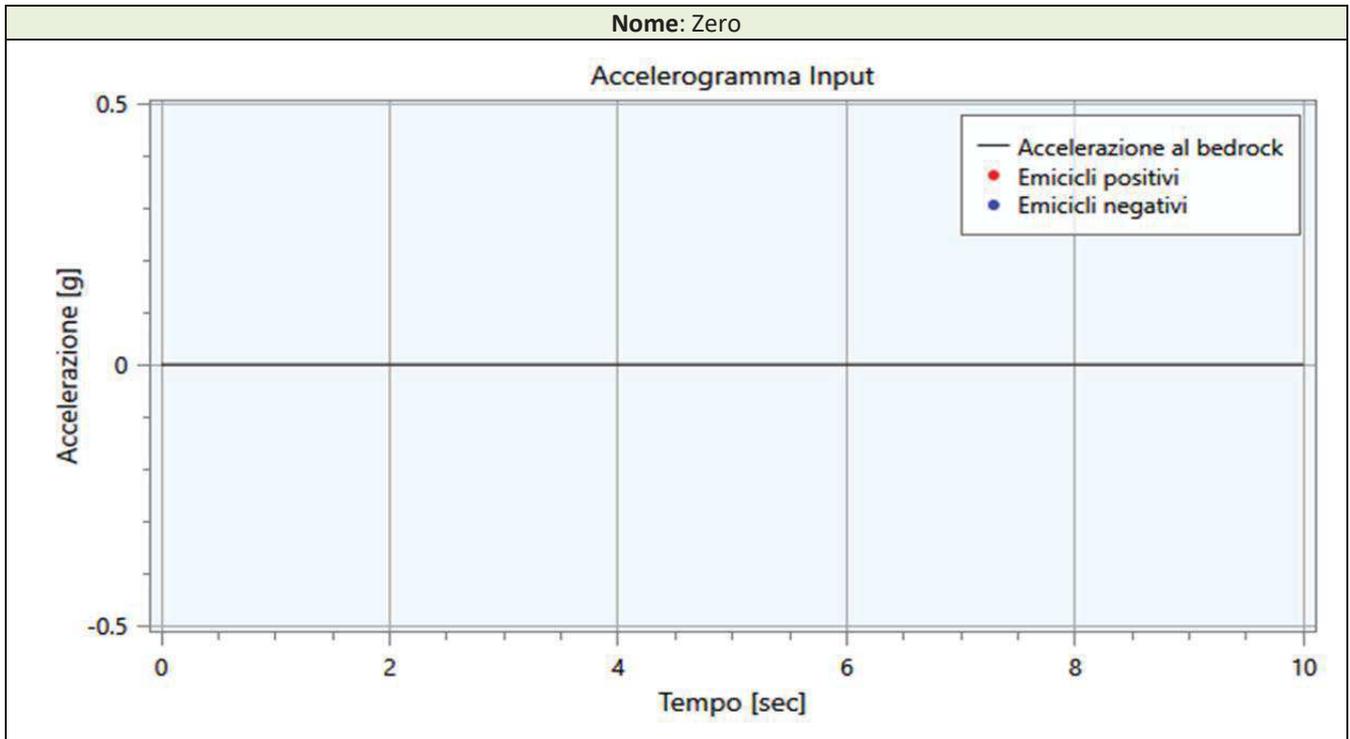
Gli accelerogrammi di input relativi allo stato limite in esame (ad esempio SLV) possono essere ottenuti tramite un'analisi con l'utilizzo dell'applicativo software REXEL v. 3.4 beta, che permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), dell'Eurocodice 8 (EC – CEN 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010). Il database utilizzato è l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito <http://itaca.mi.ingv.it>.

Per ogni accelerogramma viene ottenuto il numero di cicli equivalenti N_{eq} secondo la procedura proposta da Biondi et al. (2012) oltre ad una serie di informazioni di seguito descritte:

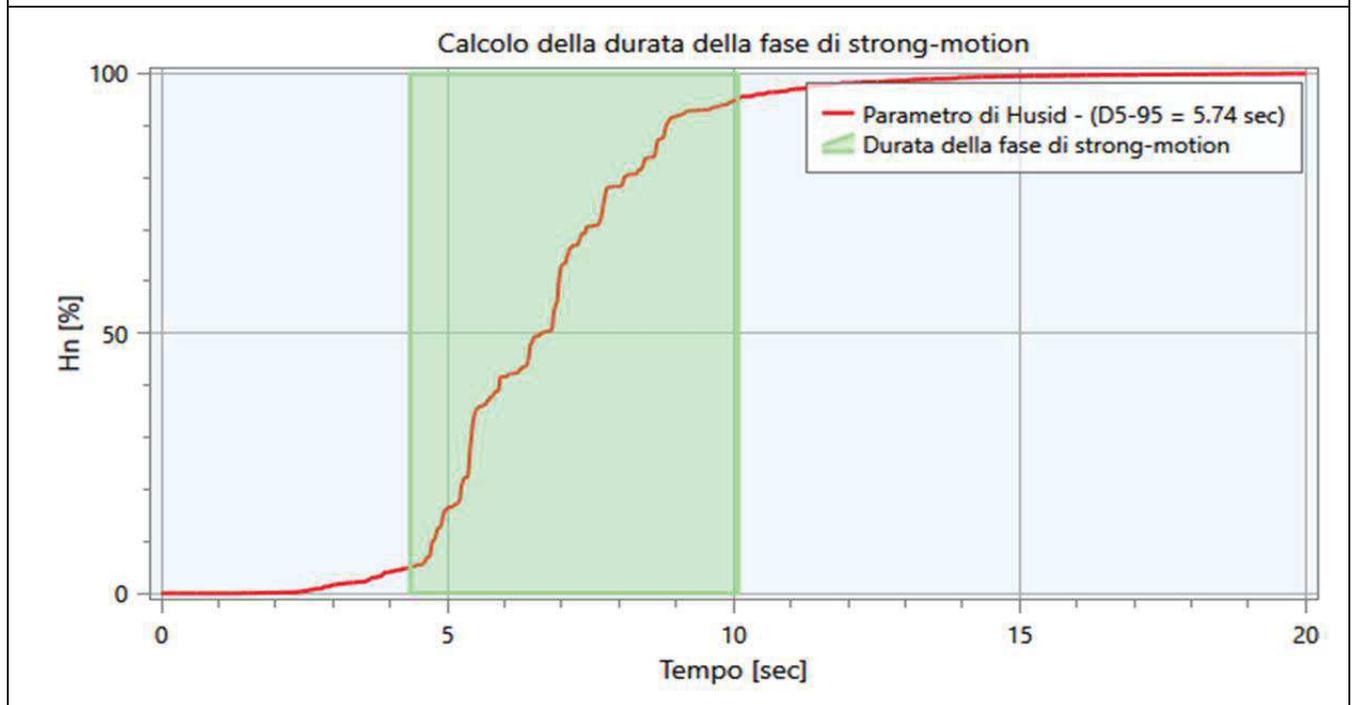
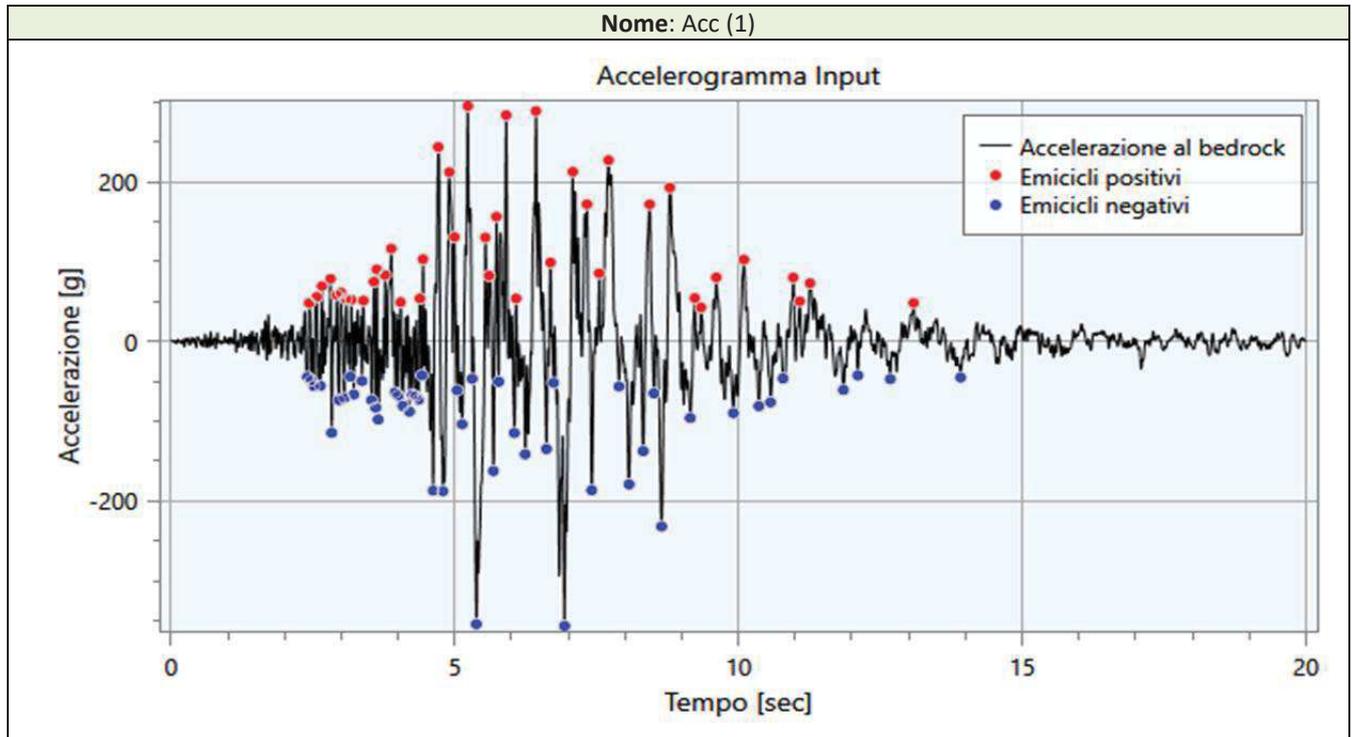
- a_{max} : accelerazione massima;
- I_S : intensità di Arias;
- t_5 : istante iniziale della fase di strong motion;
- t_{95} : istante finale della fase di strong motion;
- D_{5-95} : durata della fase di strong motion;
- v_0 : frequenza di passaggi per lo zero nella fase di strong motion;
- N_{eq} : numero di cicli equivalenti;

Di seguito si riportano gli accelerogrammi di progetto riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':

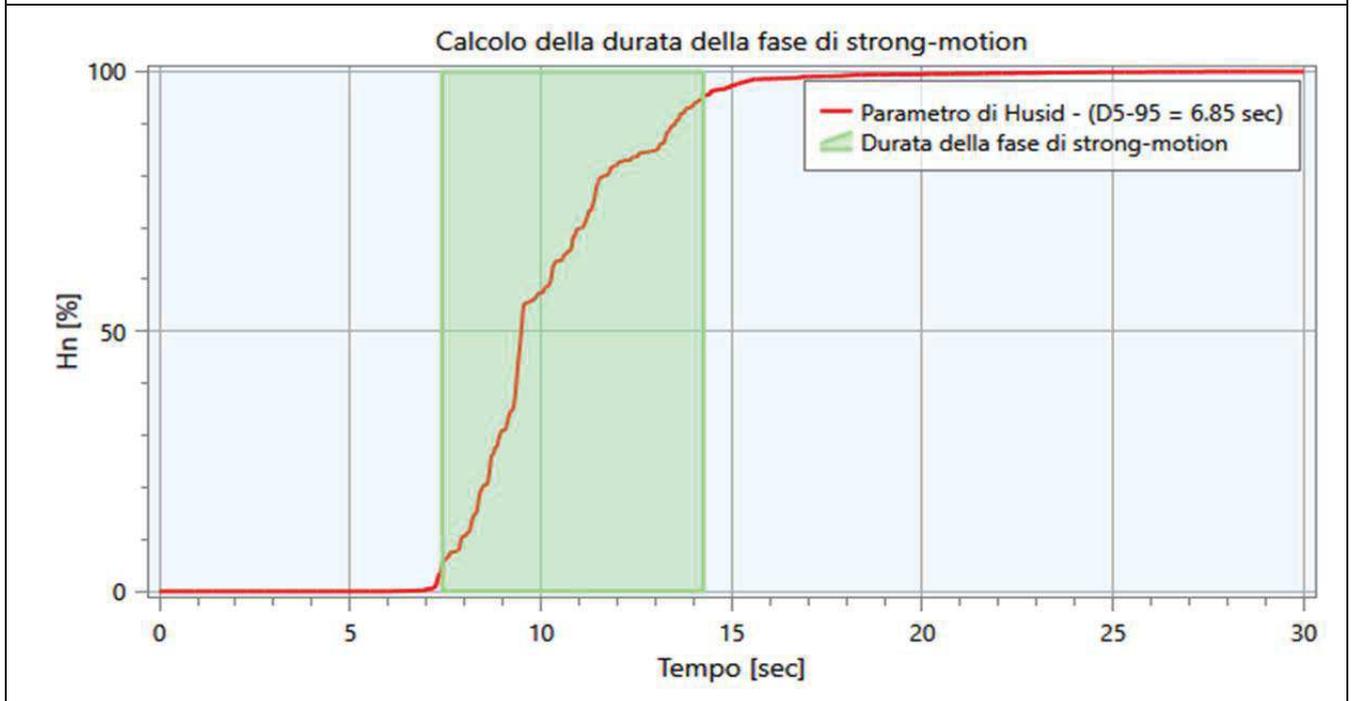
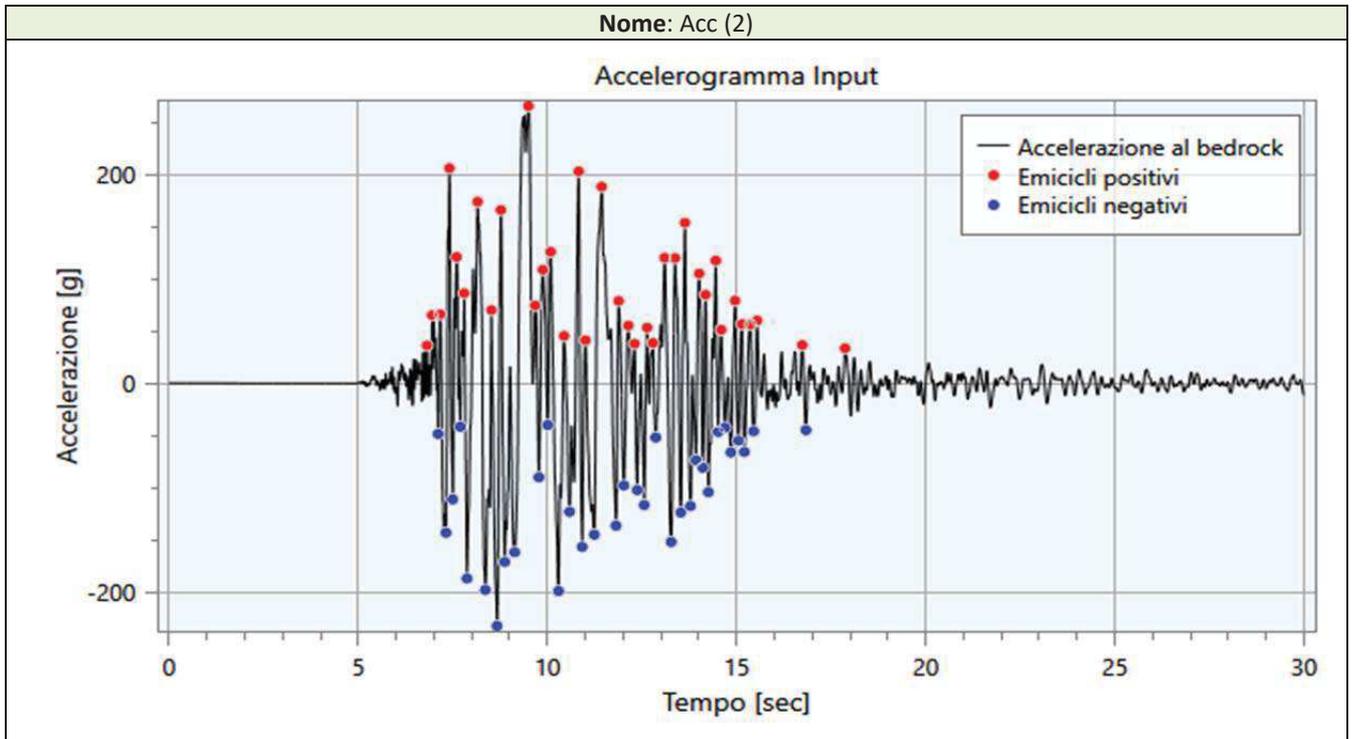
Nome: Zero



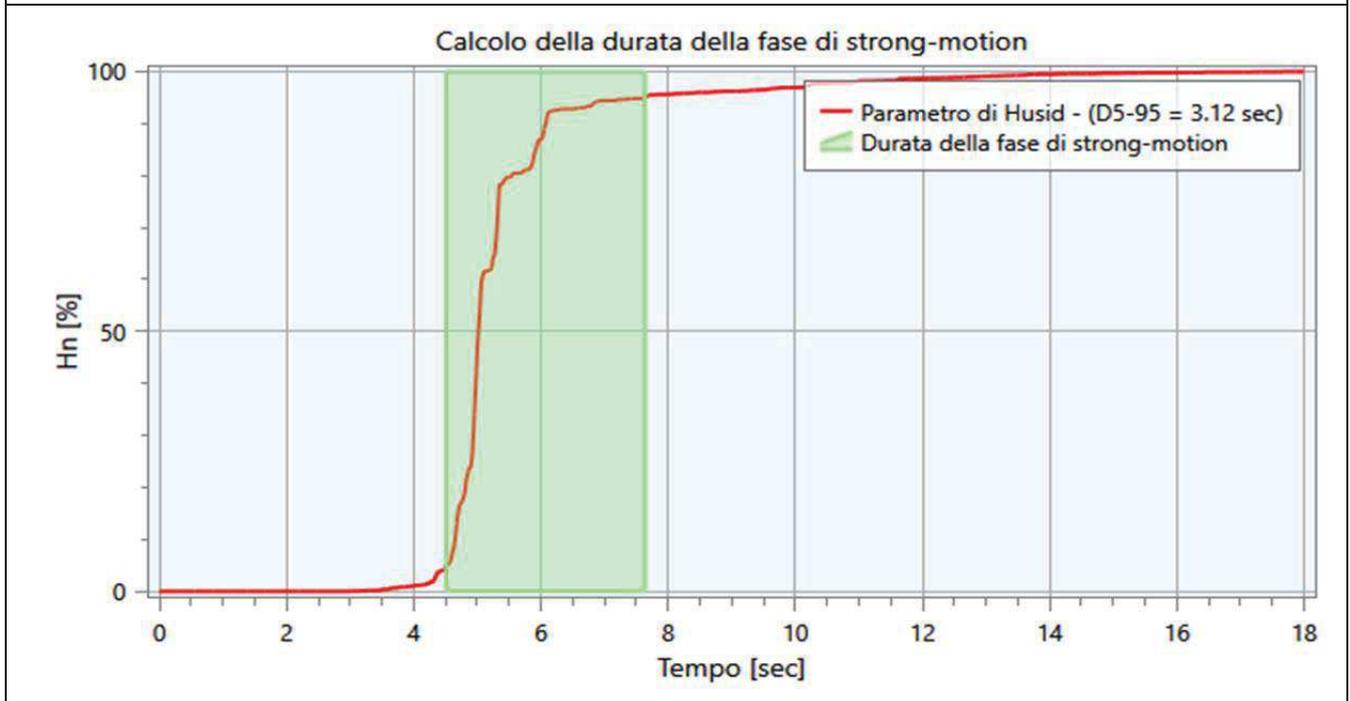
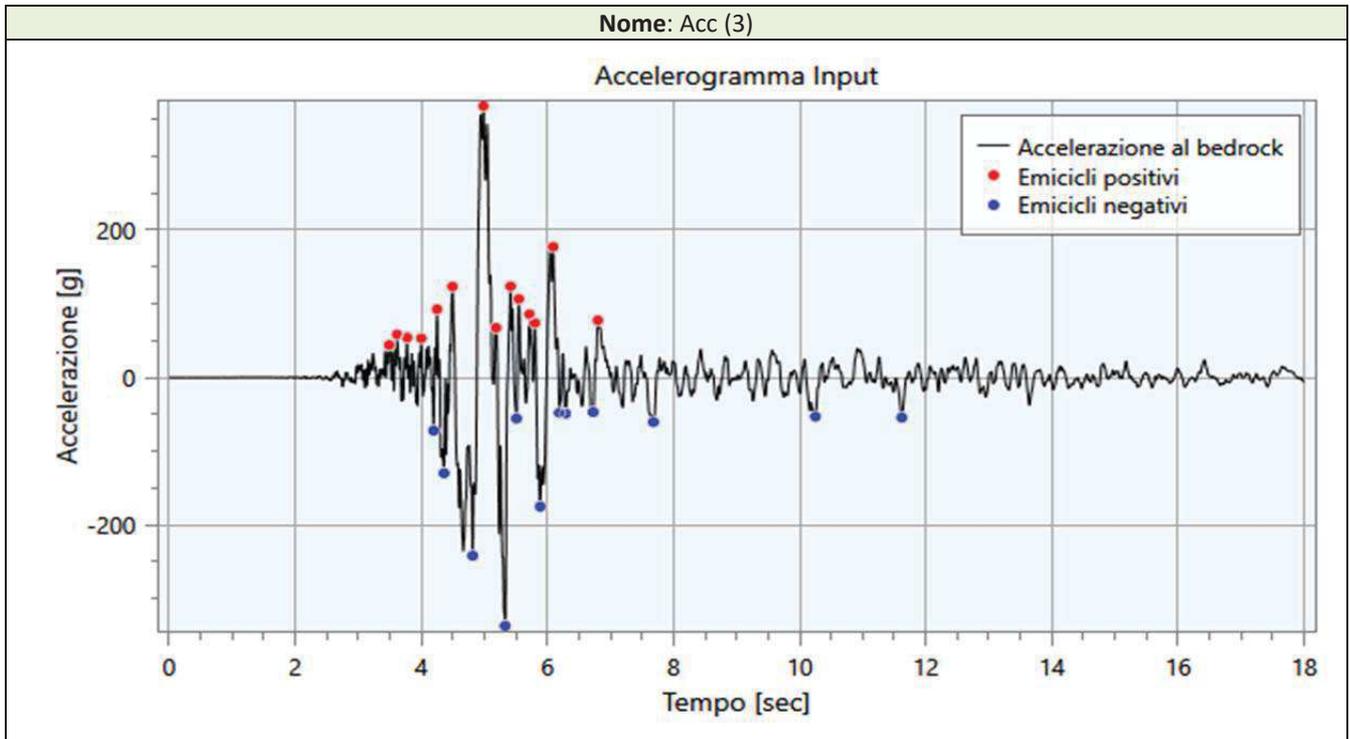
| Info | | Dati | |
|----------------|------|---------------|--|
| a_{max} [g] | 0.00 | Nome evento | |
| I_s [cm/s] | 0.0 | Id evento | |
| t_5 [s] | 0.00 | Data | |
| t_{95} [s] | 0.00 | M_w | |
| D_{5-95} [s] | 0.00 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 0.0 | Sito EC8 | |
| N_{eq} [-] | 0.0 | Nome stazione | |
| | | R_{ep} [km] | |



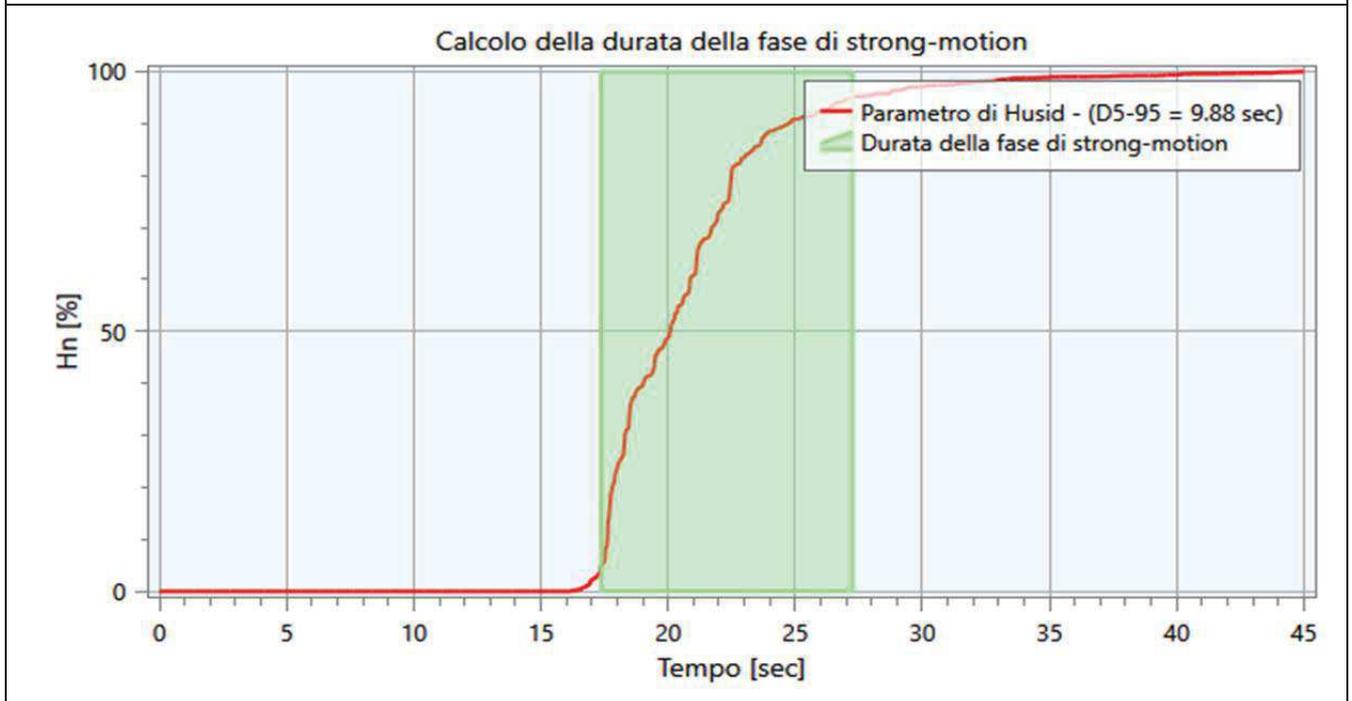
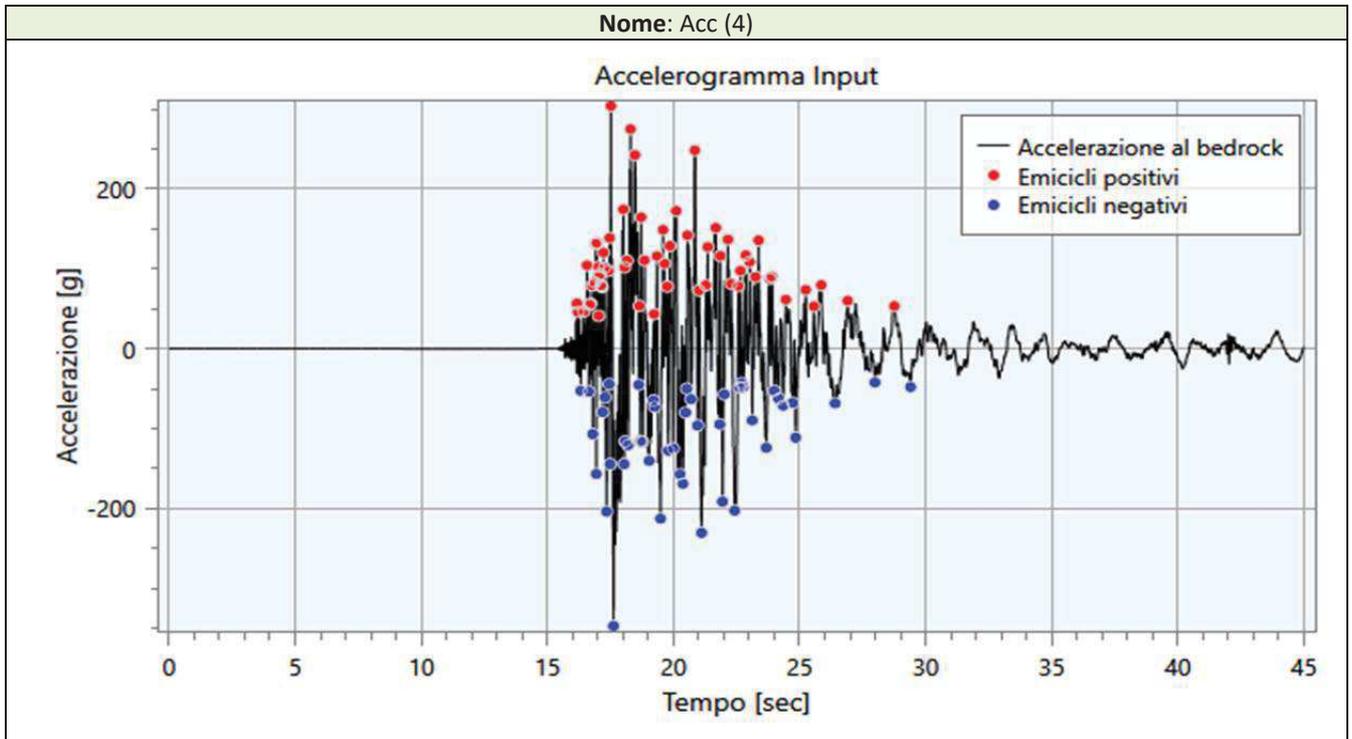
| Info | | Dati | |
|----------------|-------------|---------------|---------------------------|
| a_{max} [g] | 356.08 | Nome evento | CENTRAL_ITALY |
| I_s [cm/s] | 109939265.0 | Id evento | EMSC-20161030_0000029 |
| t_5 [s] | 4.34 | Data | 30/10/2016 |
| t_{95} [s] | 10.08 | M_w | 6.5 |
| D_{5-95} [s] | 5.74 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 11.6 | Sito EC8 | B (inferred from geology) |
| N_{eq} [-] | 12.5 | Nome stazione | PASCIANO CIMITERO INGV |
| | | R_{ep} [km] | 22.6 |



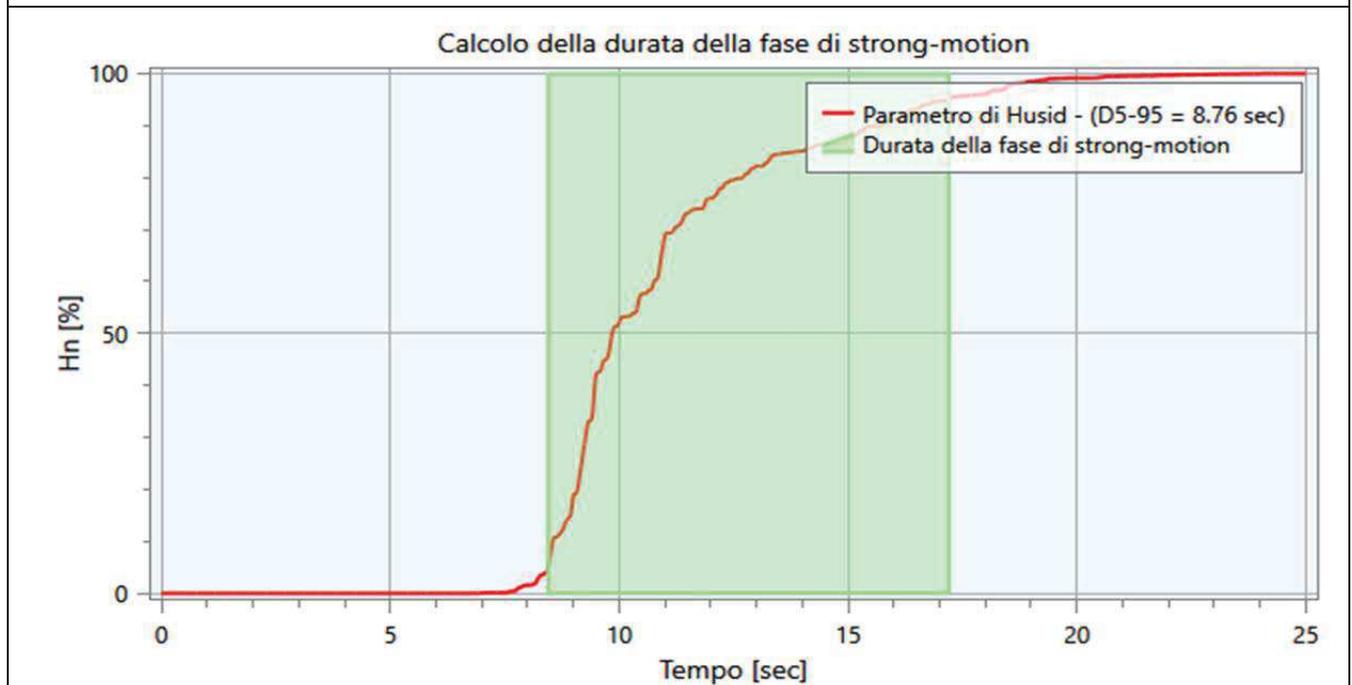
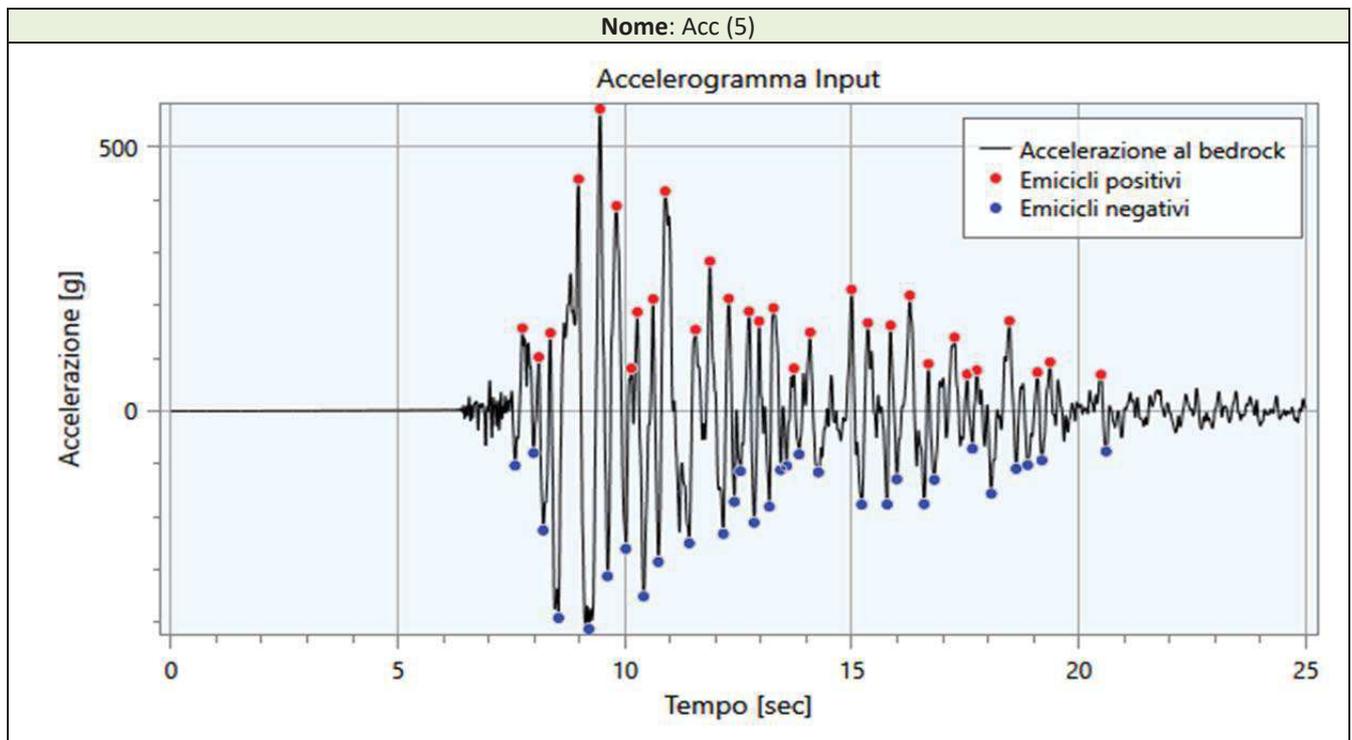
| Info | | Dati | |
|----------------|-------------|---------------|---------------------------|
| a_{max} [g] | 265.49 | Nome evento | EMILIA_2ND_SHOCK |
| I_s [cm/s] | 120478248.7 | Id evento | IT-2012-0011 |
| t_5 [s] | 7.41 | Data | 29/05/2012 |
| t_{95} [s] | 14.26 | M_w | 6.0 |
| D_{5-95} [s] | 6.85 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 7.7 | Sito EC8 | C (inferred from geology) |
| N_{eq} [-] | 14.4 | Nome stazione | MIRE |
| | | R_{ep} [km] | 4.1 |



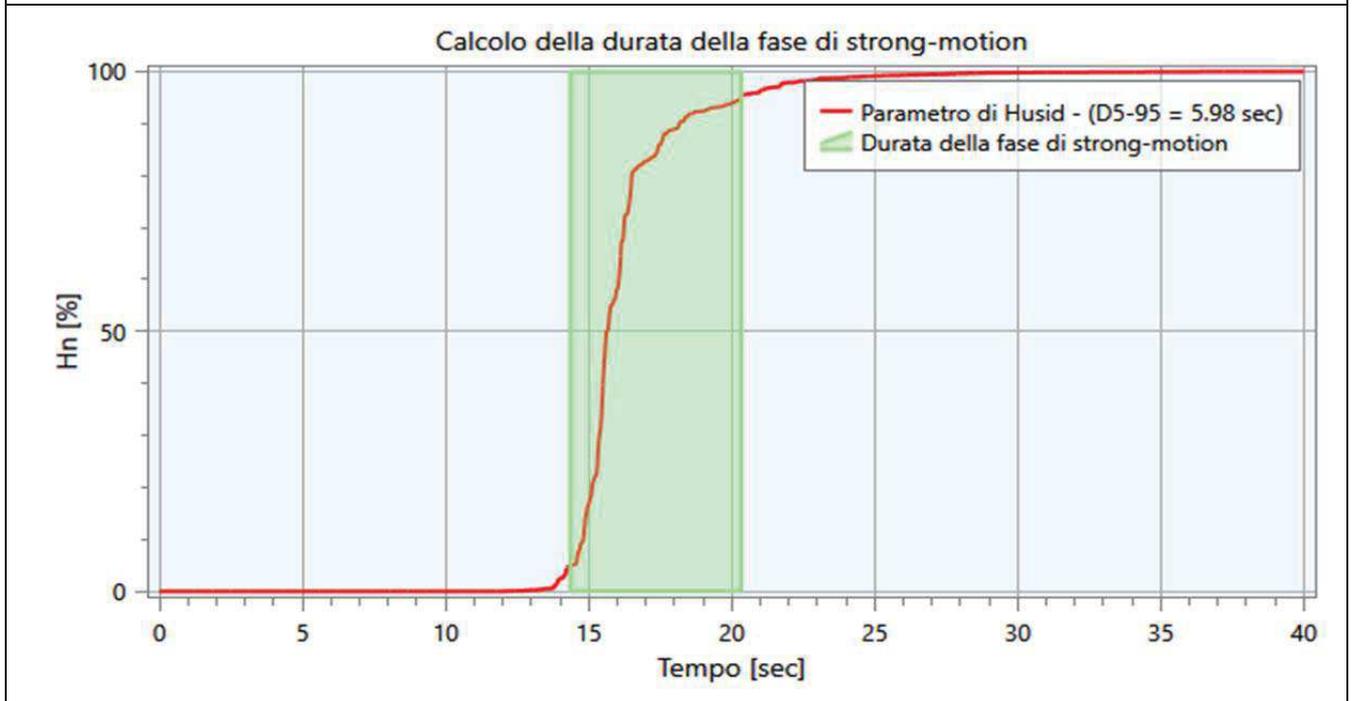
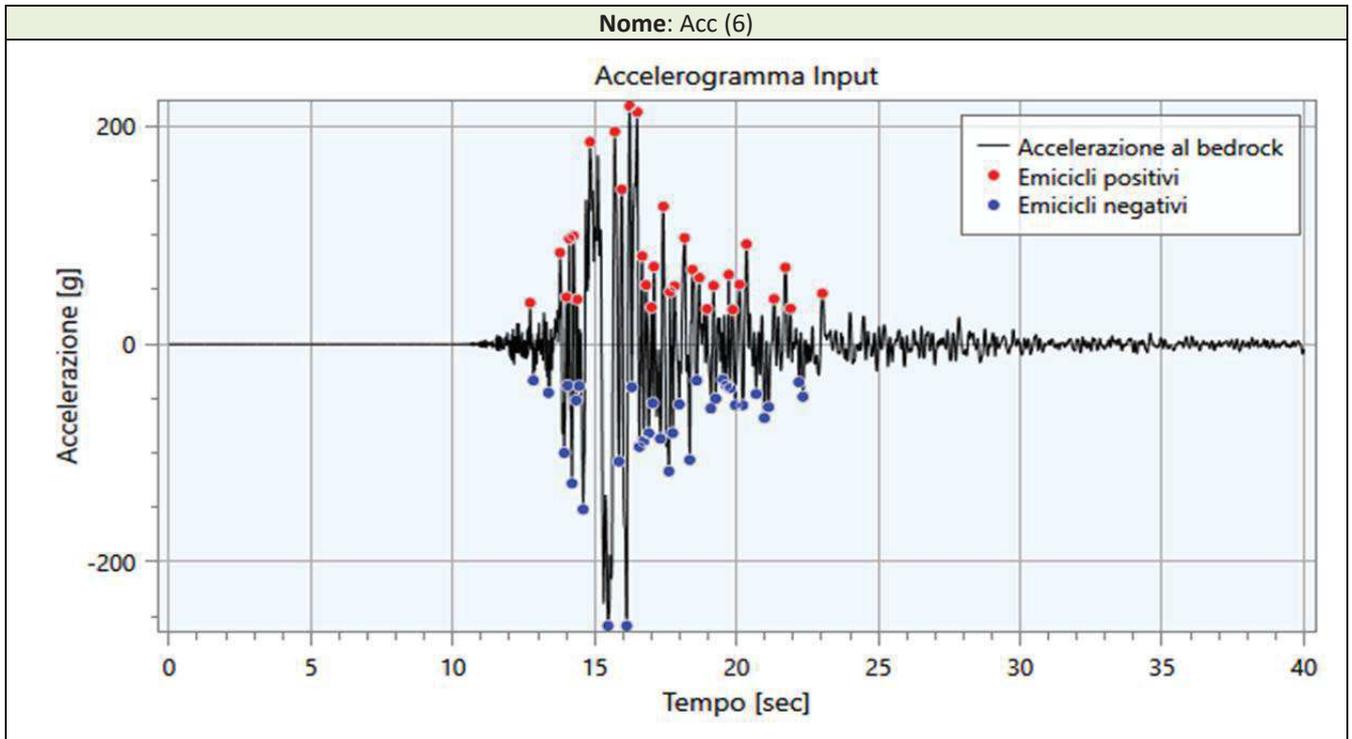
| Info | | Dati | |
|----------------|------------|---------------|-----------------------|
| a_{max} [g] | 368.39 | Nome evento | CENTRAL_ITALY |
| I_s [cm/s] | 69332213.8 | Id evento | EMSC-20160824_0000006 |
| t_5 [s] | 4.51 | Data | 24/08/2016 |
| t_{95} [s] | 7.63 | M_w | 6.0 |
| D_{5-95} [s] | 3.12 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 11.0 | Sito EC8 | B |
| N_{eq} [-] | 4.4 | Nome stazione | AMATRICE |
| | | R_{ep} [km] | 8.5 |



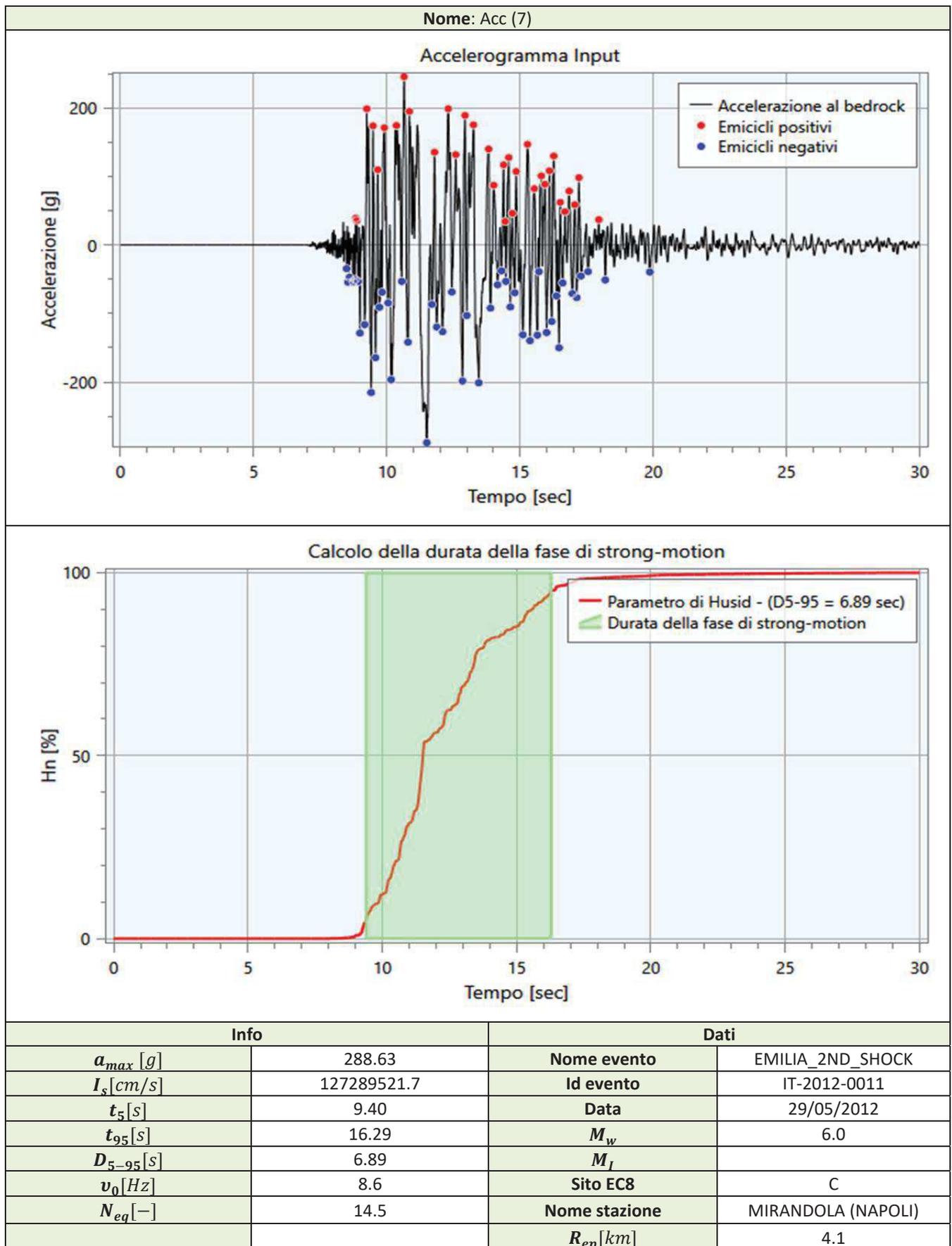
| Info | | Dati | |
|----------------|-------------|---------------|---------------------------------------|
| a_{max} [g] | 346.78 | Nome evento | L_AQUILA |
| I_s [cm/s] | 116115364.8 | Id evento | IT-2009-0009 |
| t_5 [s] | 17.37 | Data | 06/04/2009 |
| t_{95} [s] | 27.25 | M_w | 6.1 |
| D_{5-95} [s] | 9.88 | M_I | |
| ν_0 [Hz] | 11.4 | Sito EC8 | B |
| N_{eq} [-] | 12.7 | Nome stazione | L AQUILA V. ATERNO AQUIL PARK ING. |
| | | R_{ep} [km] | 1.8 |



| Info | | Dati | |
|----------------|-------------|---------------|---------------------------|
| a_{max} [g] | 571.42 | Nome evento | CENTRAL_ITALY |
| I_s [cm/s] | 403692477.6 | Id evento | EMSC-20161030_0000029 |
| t_5 [s] | 8.45 | Data | 30/10/2016 |
| t_{95} [s] | 17.21 | M_w | 6.5 |
| D_{5-95} [s] | 8.76 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 7.0 | Sito EC8 | C (inferred from geology) |
| N_{eq} [-] | 8.7 | Nome stazione | CASTELLUCCIO DI NORCIA |
| | | R_{ep} [km] | 7.8 |



| Info | | Dati | |
|----------------|------------|---------------|--------------------|
| a_{max} [g] | 258.80 | Nome evento | EMILIA_1ST_SHOCK |
| I_s [cm/s] | 83445368.4 | Id evento | IT-2012-0008 |
| t_5 [s] | 14.37 | Data | 20/05/2012 |
| t_{95} [s] | 20.35 | M_w | 6.1 |
| D_{5-95} [s] | 5.98 | M_I | |
| v_0 [Hz] | 9.1 | Sito EC8 | C |
| N_{eq} [-] | 10.1 | Nome stazione | MIRANDOLA (NAPOLI) |
| | | R_{ep} [km] | 16.1 |



4.4 - Modello di Calcolo FEM

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto.

Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma di in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale).

Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop. In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

Analisi (1)

| Condizione | Accelerogramma X |
|------------|------------------|
| CDC (1) | Acc (1) |
| CDC (2) | Acc (2) |
| CDC (3) | Acc (3) |
| CDC (4) | Acc (4) |
| CDC (5) | Acc (5) |
| CDC (6) | Acc (6) |
| CDC (7) | Acc (7) |

Tabella 2. Condizioni di carico.

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della mesh in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della mesh deve soddisfare la seguente relazione:

$$p \leq \frac{V_{s,min}}{8 f_{max}}$$

dove:

- p = passo della mesh;
- $V_{s,min}$ = velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- f_{max} = frequenza massima che si vuole analizzare;

Di seguito si riportano i nodi del modello con le rispettive coordinate nel riferimento X-Z:

| Nodo | X [m] | Z [m] |
|------|-------|-------|
| 1 | -0.25 | 0.00 |
| 2 | 0.25 | 0.00 |
| 3 | -0.25 | -3.00 |
| 4 | 0.25 | -3.00 |
| 5 | -0.25 | -5.50 |
| 6 | 0.25 | -5.50 |
| 7 | -0.25 | -1.50 |
| 8 | 0.25 | -1.50 |

Tabella 3. Nodi del modello FEM.

Di seguito gli elementi:

| Elemento | Nodo 1 | Nodo 2 | Nodo 3 | Nodo 4 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 1 | 7 | 8 | 2 |
| 2 | 7 | 3 | 4 | 8 |
| 3 | 3 | 5 | 6 | 4 |

Tabella 3bis. Elementi del modello FEM.

Le condizioni al contorno del problema in esame (posizione del bedrock) vengono prese in considerazione sul modello FEM mediante l'applicazione di smorzatori viscosi sui nodi facenti parte della porzione di terreno a contatto con il bedrock. Tali smorzatori esprimono due componenti (una orizzontale ed una verticale) di forza proporzionali alla velocità.

Le costanti di smorzamento C_x e C_z sono rispettivamente:

$$C_x = \rho b * V_{sb} * V_{sb} \text{ e } C_z = \rho b * V_{pb} * V_{pb}$$

dove:

- ρb = densità di massa del substrato;
- V_{sb} = velocità delle onde di taglio del substrato;
- V_{pb} = velocità delle onde p del substrato;

Sul modello possono essere applicati dei vincoli fissi nel caso in cui il substrato lo si volesse modellare come infinitamente rigido o per simulare un comportamento monodimensionale. In tal caso vengono applicati su tutti i nodi del modello dei vincoli in direzione verticale, in modo da consentire solo deformazioni di taglio.

Di seguito vengono indicati i vincoli applicati al modello (B: "bloccato"; L: "libero") :

| Nodo | Direzione X | Direzione Z |
|------|-------------|-------------|
| 1 | L | B |
| 2 | L | B |
| 3 | L | B |
| 4 | L | B |
| 5 | L | B |
| 6 | L | B |
| 7 | L | B |
| 8 | L | B |

Tabella 4. Vincoli esterni del Modello FEM.

I cinematismi di controllo, in corrispondenza dei quali vengono monitorate le storie temporali, sono di seguito riportati:

| ID Nodo | Target in X | Target in Z |
|---------|-------------|-------------|
| 1 | SI | NO |
| 2 | NO | NO |
| 3 | NO | NO |
| 4 | NO | NO |
| 5 | NO | NO |
| 6 | NO | NO |
| 7 | NO | NO |
| 8 | NO | NO |

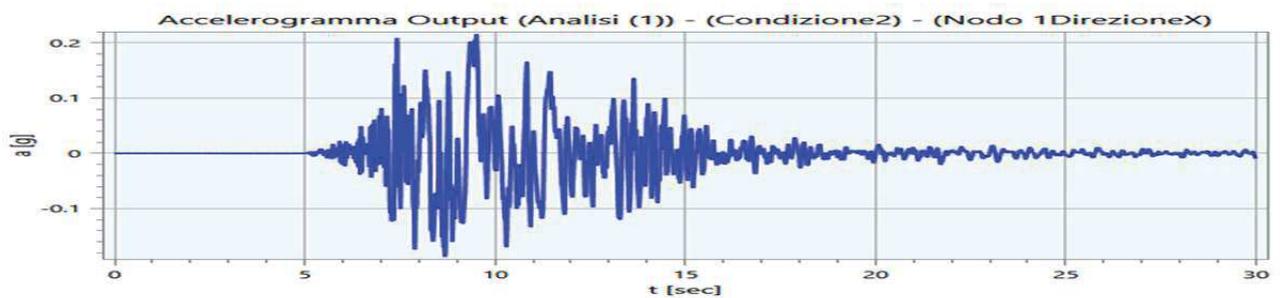
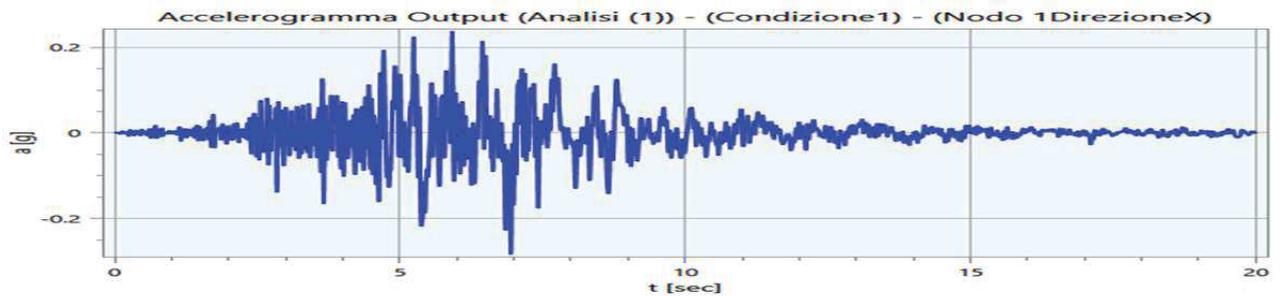
Tabella 5. Cinematismi di controllo.

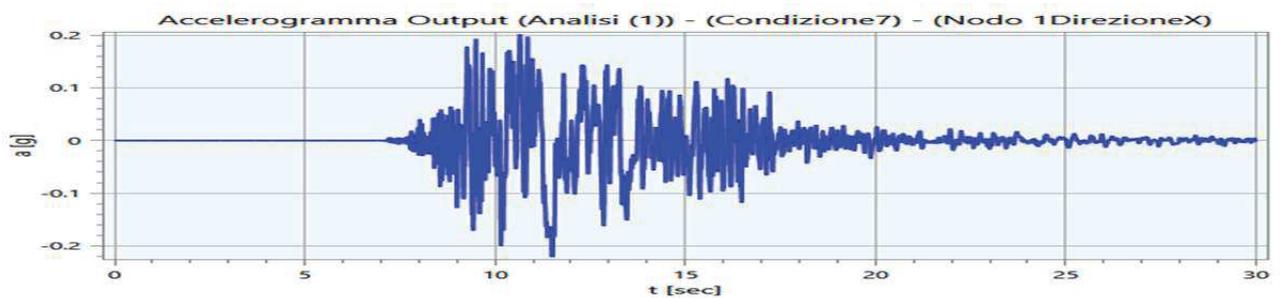
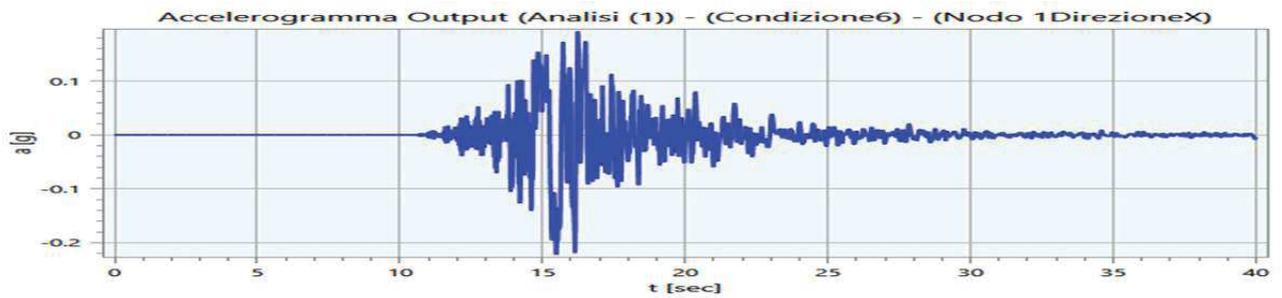
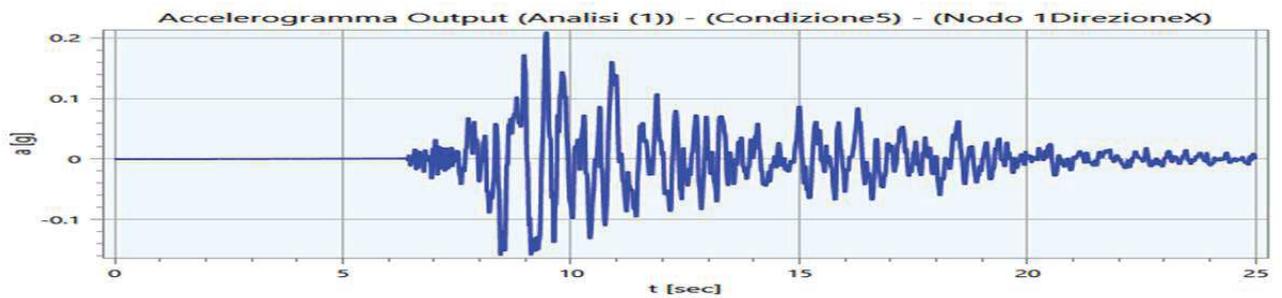
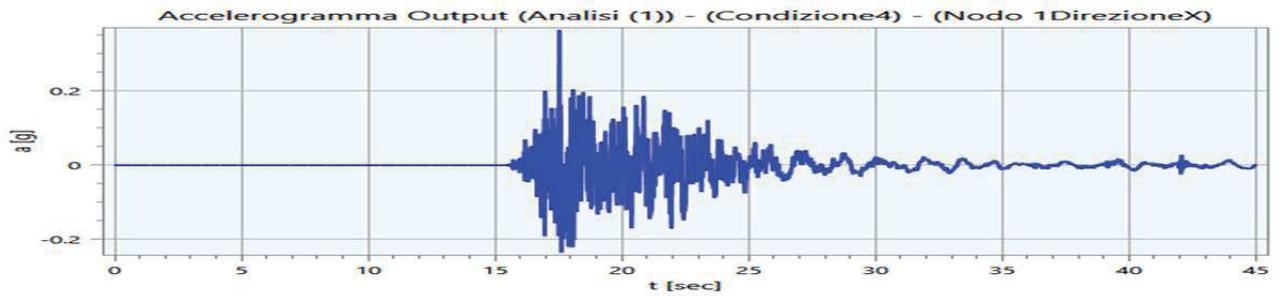
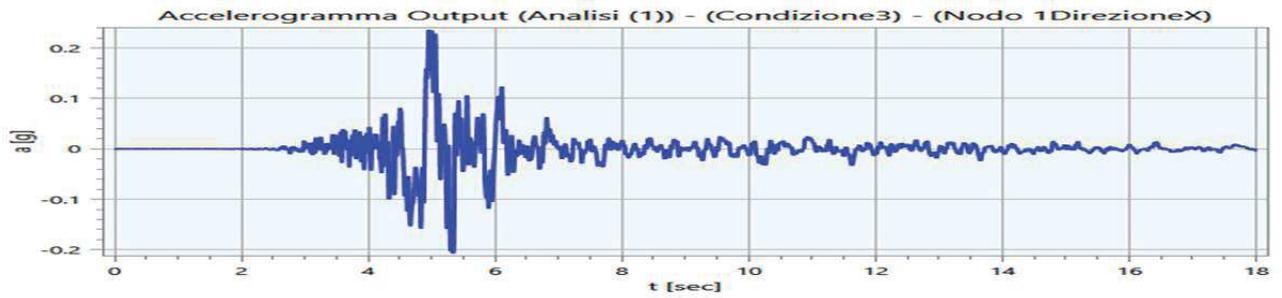
5 - Output

Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai risultati del calcolo.

5.1 - Accelerogrammi Output

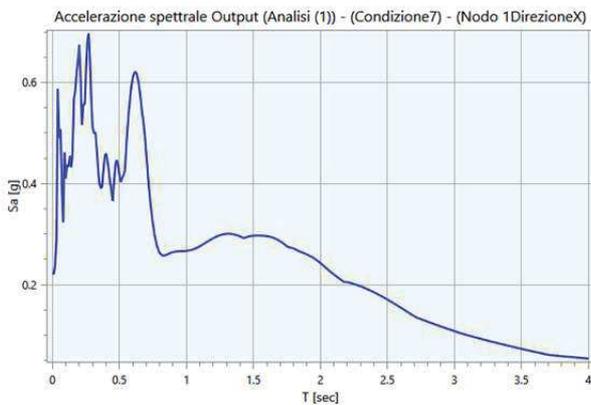
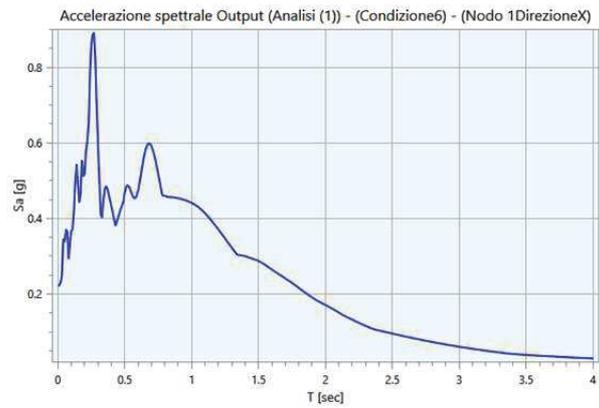
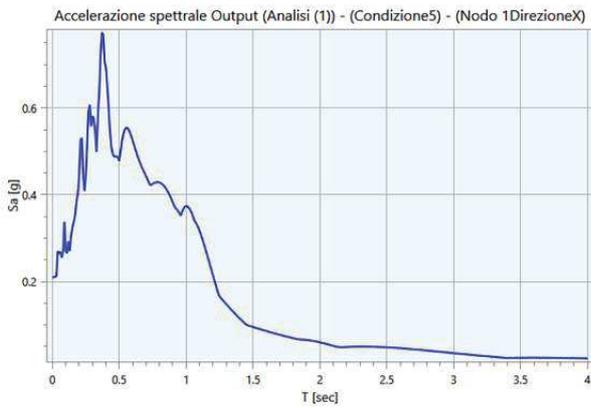
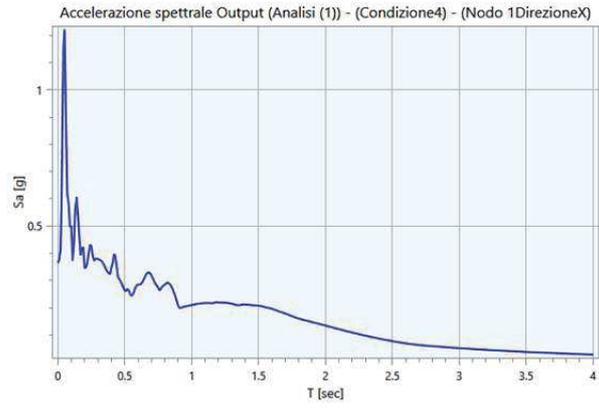
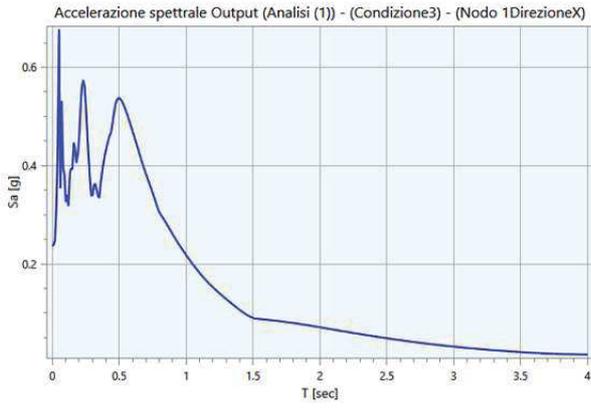
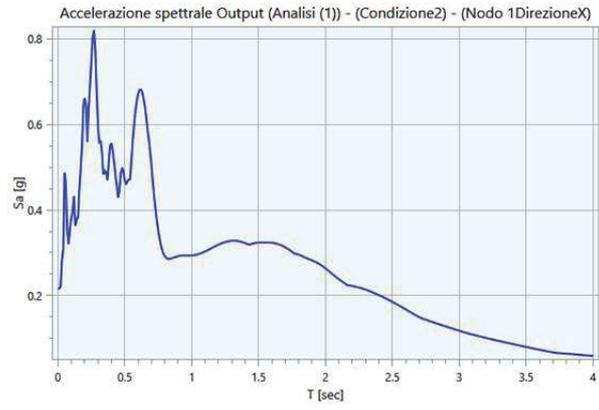
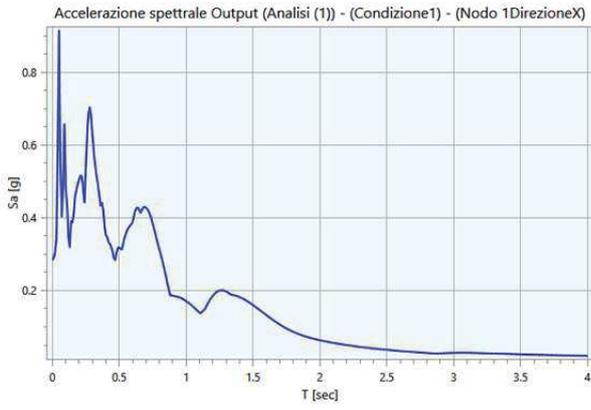
Di seguito vengono riportati gli accelerogrammi relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:





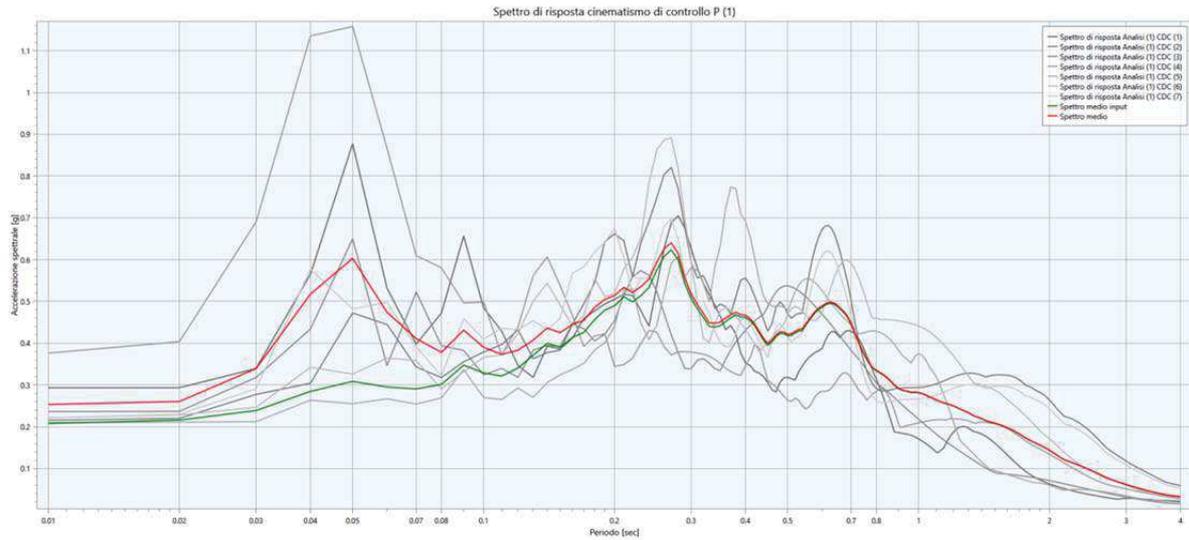
5.2 - Spettri Output

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:



5.3 - Interpretazione dei risultati

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:



5.4 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL

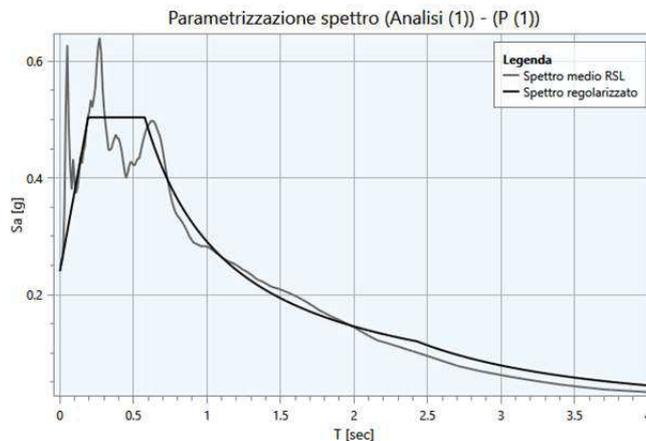
La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione (TA);
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (SA) nell'intorno tra $0.5 TA - 1.5 TA$;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità (TV);
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità (SV) nell'intorno tra $0.8 TV - 1.2 TV$;
- il calcolo del valore di $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$;
- il calcolo del valore di $T_b = 1/3 T_c$;
- il calcolo del valore $T_d = 4 a_g + 1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T_0, T_b, T_c, T_d, T_4 .

Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

Analisi (1)

| Punto di controllo | A_g [g] | F0 | S | A_{max} [g] | T_b [sec] | T_c [sec] | T_d [sec] |
|--------------------|-----------|-------|-------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| P (1) | 0.207 | 2.098 | 1.160 | 0.240 | 0.192 | 0.577 | 2.428 |



dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

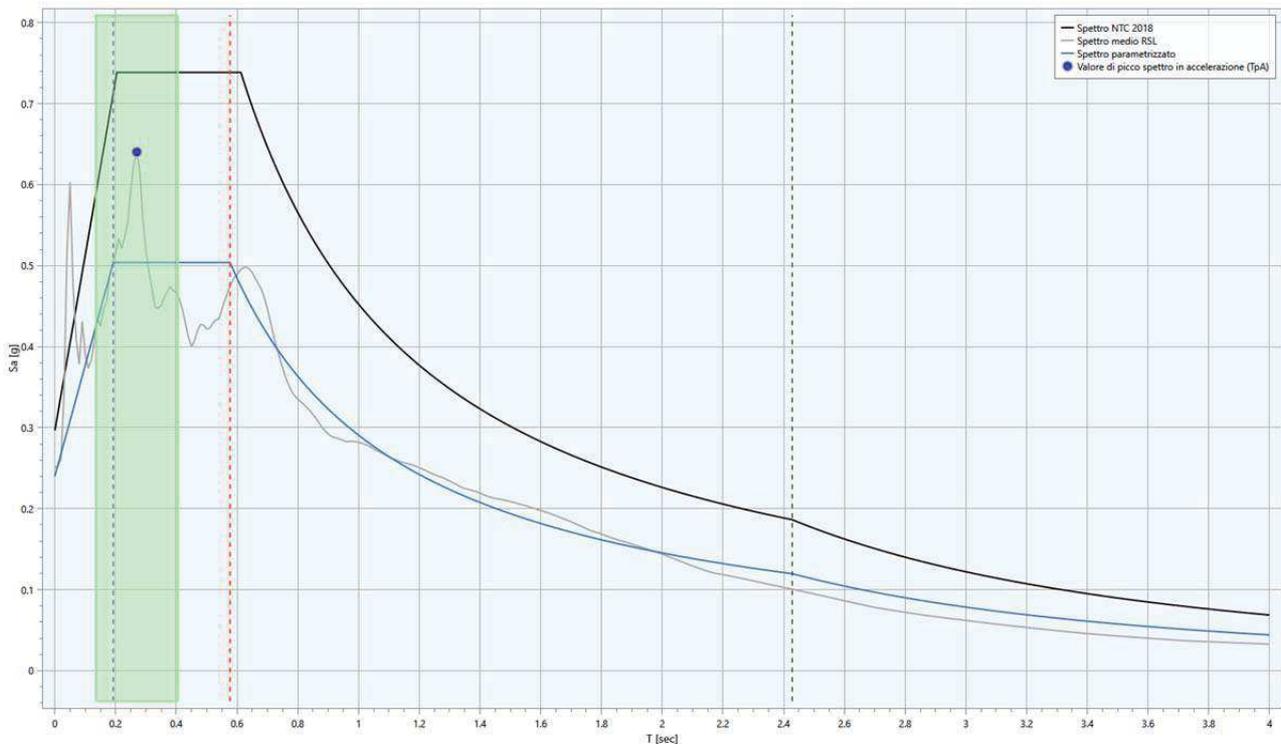


Grafico che mette a confronto lo spettro calcolato dall'analisi di RSL (blu) con quello della Cat.E-NTC 2018 (nero).

5.5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Dal confronto si evince che lo spettro di Norma è più cautelativo dell'analisi di RSL eseguita, sebbene quest'ultima sia vincolata al modello geologico ricavato dalle indagini eseguite; pertanto risulterebbe più cautelativo lo spettro di MS3° livello Mops 2004 (rispetto alla Cat.E e all'analisi di RSL eseguita), va tenuto conto però che la Mops2004 fornita dalla MS3° livello, prende in esame un modello geologico con spessori della copertura alluvionale che vanno dai 4-12, sovrapposti stratigraficamente al substrato fratturato "allentato", per uno spessore non inferiore a 25m. Tale successione non trova riscontro con la successione stratigrafica rilevata nel sito in esame, in quanto la copertura alluvionale si riduce ad uno spessore massimo di circa 6-7 m, e i valori del $V_s > 800$ m/sec già alla profondità 6.60 mt dal pc, senza presentare una coltre di alterazione "allentata".

Pertanto sebbene si rimandi la scelta degli spettri da utilizzare al progettista, si consiglia di utilizzare per le verifiche, lo spettro di Norma ovvero la CAT. E delle NTC 2018 (di cui in allegato sono forniti i parametri spettrali per lo stato limite SLV e SLD), ubicando il piano fondale del fabbricato ad una quota inferiore di almeno 1 mt dal piano campagna.



STUDIO
TECNICO
GEOLOGICO

Studio Tecnico Geologico
Dott. Geol.ROSMARINI FRANCESCO

Largo dei Gladioli 6, 63100 Ascoli Piceno

Cell 329 2077121 – E-mail geo.rosmarini@gmail.com

COMUNE DI ASCOLI PICENO

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DI UN CENTRO SOCIALE DI AGGREGAZIONE GIOVANILE
PRESSO LA PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA

UBICAZIONE:

MONTICELLI - ASCOLI PICENO

COMMITTENTE:

PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA – IL PARROCO DON LUIGI NARDI



INDAGINE SISMICA PASSIVA
Misura dei microtremori

INDICE

| | |
|---|--------|
| 1 – Premessa | pag. 2 |
| 2 – Strumentazione impiegata | pag. 3 |
| 3 - Definizioni | pag. 3 |
| 4 – Ubicazione delle misure e acquisizione dei dati | pag. 3 |
| 5 – Procedura di analisi per stazioni singole H/V | pag. 4 |
| 6 – Conclusioni | pag. 8 |

La presente relazione è composta da n°8 pagine

COMUNE DI ASCOLI PICENO

REALIZZAZIONE DI UN CENTRO SOCIALE DI AGGREGAZIONE GIOVANILE PRESSO LA PARROCCHIA SEI SS. SIMONE E GIUDA

loc. MONTICELLI

COMMITTENTE: Parrocchia dei SS. Simone e Giuda – Il Parroco Don Luigi Nardi

INDAGINE SISMICA PASSIVA: MISURA DEI MICROTREMORI

1 - PREMESSA

Sul suolo circostante la Chiesa dei SS. Simone e Giuda, sito in Comune di Ascoli Piceno in loc. Monticelli, è stata condotta n.1 indagine sismica passiva a stazione singola.

La tecnica utilizzata è basata sui rapporti spettrali o HVSR [Horizontal to Vertical Spectra Ratio]. Essa è totalmente non invasiva, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque¹. I risultati delle registrazioni sono utilizzati per determinare la **frequenza caratteristica di risonanza del sito**. Questa rappresenta un parametro fondamentale per la progettazione di edifici in termini di risposta sismica locale; i progettisti, infatti, devono adottare adeguate precauzioni onde evitare che la frequenza di risonanza dell'edificio da progettare sia prossima a quella del terreno.

Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella degli edifici, si produce una notevole amplificazione delle onde sismiche, inducendo sollecitazioni sulle strutture con grande potere distruttivo [**fenomeno della doppia risonanza**].

¹ Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici [onde oceaniche, vento], dall'attività antropica oltre e dai processi legati alla dinamica terrestre. Esso è conosciuto anche come -microtremore- poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

2 - STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le misure del microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un Tromografo digitale portatile, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento [Tromino®, Micromed s.p.a.] è dotato di tre sensori elettrodinamici [velocimetri] ortogonali. I dati di microtremore ambientale, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti per 20 min alla frequenza di campionamento di 128Hz.

3 - DEFINIZIONI

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

4 - UBICAZIONE DELLE MISURE E ACQUISIZIONE DEI DATI

La prova a stazione singola è stata ubicata come in figura 1 accoppiando lo strumento direttamente al terreno naturale.



Figura 1 – Ubicazione del punto di registrazione dei microtremori.

5 - PROCEDURA DI ANALISI PER STAZIONI SINGOLE H/V

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V, secondo la procedura classica descritta per esempio in SESAME (2005) con parametri:

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

La curva H/V registrata nel sito indica un sottosuolo caratterizzato da un picco di risonanza principale legato al passaggio tra sismostrati a diversa impedenza.

Le risonanze registrate appaiono significative all'analisi statistica secondo i criteri SESAME [2005]. In tabella I si riportano gli esiti dei test Sesame relativamente al picco registrato a 5.75 Hz.

In Figura 2 si riporta il confronto tra la curva H/V sperimentale e teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Figura 4 (secondo il procedimento descritto in *Castellaro e Mulargia, 2009, Bull. Seism. Soc Am., 99, 761-773*)

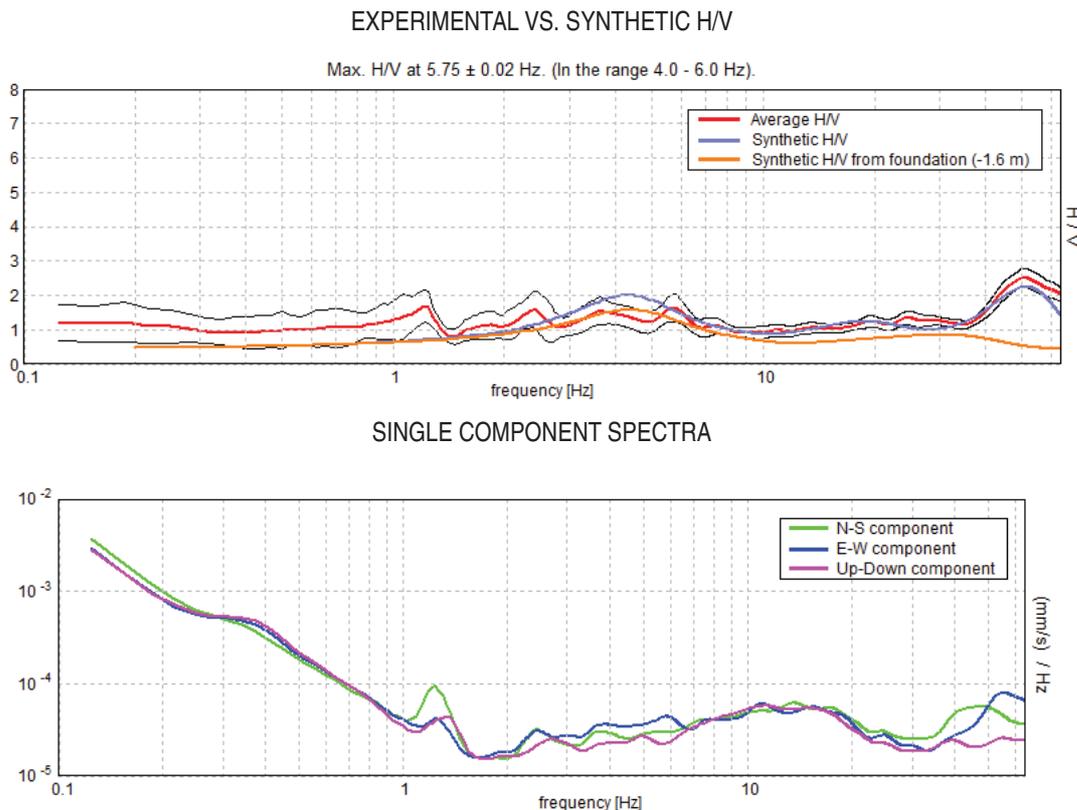


Figura 2 ALTO: Confronto tra la curva H/V sperimentale (rosso), teorica (blu) e teorica con fondazioni a -1.60 m (arancio).
BASSO: Spettri delle tre componenti del moto di velocità.

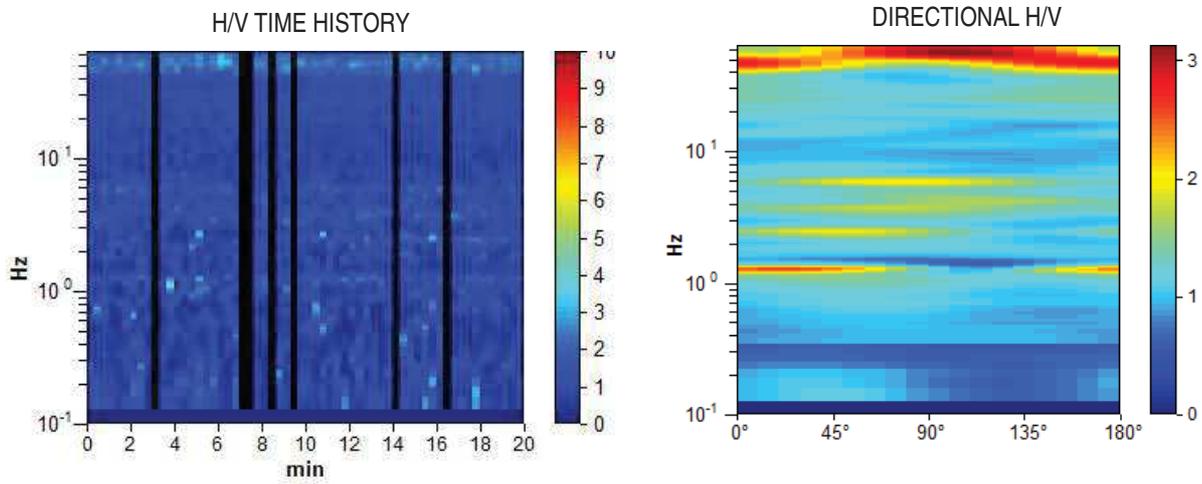


Figura 3 SINISTRA: stabilità temporale della curva H/V durante i 20 minuti di misura (in nero sono rappresentati i transienti eliminati).
DESTRA: grafico direzionale della composizione del tremore (componenti orizzontali).

TABELLA 1

| Picco H/V a 5.75 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 4.0 - 6.0 Hz). | | | | | |
|--|---|-------------------------|------------|------------|------------|
| Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled] | | | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | | $5.75 > 0.50$ | | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | | $6095.0 > 200$ | | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | | Superato 0 volte su 277 | | OK | |
| Criteria for a clear HVSR peak | | | | | |
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | 1.469 Hz | | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | | | NO |
| $A_0 > 2$ | | | | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | | $ 0.001421 < 0.05$ | | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | | $0.00819 < 0.2875$ | | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | | $0.1972 < 1.58$ | | 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 | | | | |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | 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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

Tabella 1 – Test di significatività dei picchi di risonanza.

Il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai primi 30 m di profondità (V_{s30}) calcolato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008) come:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove h_i e V_{s_i} sono gli spessori e le velocità dei singoli strati, è **$V_{s30} = 432$ m/s**. Secondo le NTC 2008 il sito va attribuito alla **categoria di sottosuolo B**.

| Depth at the bottom of the layer [m] | Thickness [m] | V_s [m/s] | Poisson ratio |
|--------------------------------------|---------------|-------------|---------------|
| 0.50 | 0.50 | 100 | 0.35 |
| 3.20 | 2.70 | 225 | 0.35 |
| 3.60 | 0.40 | 380 | 0.35 |
| 13.60 | 10.00 | 350 | 0.35 |
| 33.60 | 20.00 | 550 | 0.35 |
| Inf. | 0.00 | 750 | 0.35 |

Tabella 2 – Modello di sottosuolo. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole V_s . Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure di questo parametro.

$V_s(1.0-31.0)=432\text{m/s}$

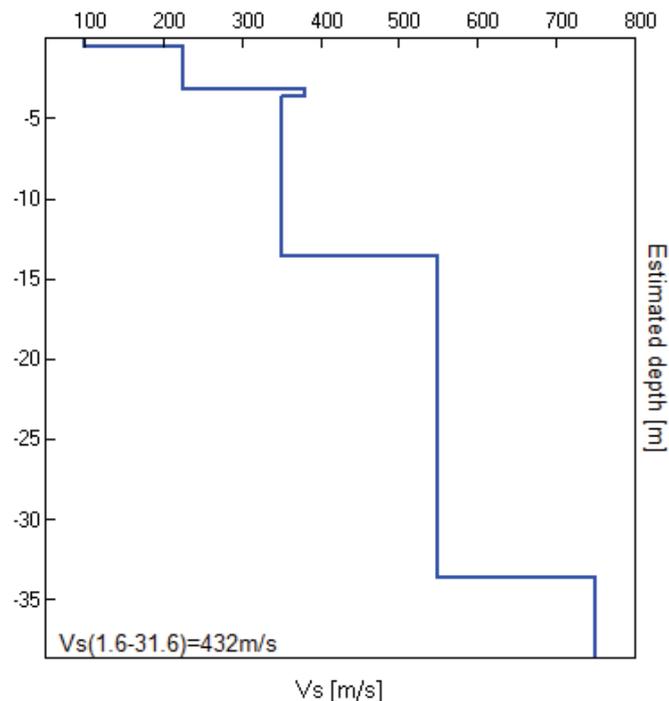


Figura 4 – Modello di velocità delle onde Vs nel sito

6 - CONCLUSIONI

L'indagine ha evidenziato un suolo caratterizzato da:

1. una frequenza di risonanza propria del sito in oggetto pari a 5.75 Hz;
2. una velocità stimata delle onde Vs(1.60-31.60) pari a 432 m/s.

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 il sito ricade nella categoria B.

Ascoli Piceno, Marzo 2012

Dott. Geol. Francesco Rosmarini



STUDIO
TECNICO
GEOLOGICO

Studio Tecnico Geologico
Dott. Geol.ROSMARINI FRANCESCO
Largo dei Gladioli 6, 63100 Ascoli Piceno
Cell 329 2077121 – E-mail geo.rosmarini@gmail.com

COMUNE DI ASCOLI PICENO

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DI UN CENTRO SOCIALE DI AGGREGAZIONE GIOVANILE
PRESSO LA PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA

UBICAZIONE:

MONTICELLI - ASCOLI PICENO

COMMITTENTE:

PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA – IL PARROCO DON LUIGI NARDI



SONDAGGI GEOGNOSTICI

| Studio Tecnico Geologico | | Committente: | | | Sondaggio n° 1 | |
|--|-------------------------|--------------------------------------|------------|----------|--|--------------------------------------|
| Dr. Francesco Rosmarini | | Parrocchia SS Simone e Giuda | | | Data: 28.02.2012 | |
| Largo dei Gladioli, 6 Ascoli Piceno Tel 329 2077121 | | Località: Monticelli – Ascoli Piceno | | | | |
| Metodo di perforazione: Rotazione meccanica con carotiere del diametro di 110 mm | | | | | Quota: | |
| Profondità Progressiva (m) | Profondità dal p.c. (m) | Simbologia | Note falda | Campioni | Descrizione litologica | Resistenza penet. tascabile (Kg/cmq) |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 0,5 | | | | | TERRENO DI RIPORTO: Sabbie e sabbie limose con ciottoli sparsi di varia natura | |
| 1,00 | 1,2 | | | | TERRENO VEGETALE: Limo sabbioso umido marrone mediamente consistente con inglobati rari ciottoli. | |
| 2,00 | | | | | GHIAIA E SABBIA: Ciottoli anche di grandi dimensioni di natura arenacea e calcarea, arrotondati, immersi in matrice sabbiosa. | |
| 3,00 | | | | | | |
| 4,00 | | | | | | |
| 5,00 | | | | | (5.00 ml) Trovante di travertino | |
| 6,00 | | | | | (5.90 ml) Trovante di travertino | |
| 6,8 | | | | | | |
| 7,00 | 7,5 | | | | FORMAZIONE MARINA DEL SUBSTRATO | |
| 8,00 | | | | | Formazione arenacea grigia intercalata a strati marnosi mediamente consistenti di colore grigiastro. La prima parte risulta alterata e con presenza di piccoli ciottoli. | |
| 9,00 | | | | | | |
| 10,00 | | | | | | |
| 11,00 | | | | | | |
| 12,00 | | | | | | |
| 13,00 | | | | | | |
| 14,00 | | | | | FINE SONDAGGIO -8.50 ml DAL p.c. | |
| 15,00 | | | | | | |
| 16,00 | | | | | | |
| 17,00 | | | | | | |
| 18,00 | | | | | | |
| 19,00 | | | | | | |
| 20,00 | | | | | | |
| 21,00 | | | | | | |
| 22,00 | | | | | | |

Note: a) prelievo campioni: ; b) livello falda ; c) modeste infiltrazioni idriche:

| Studio Tecnico Geologico | | Committente: | | | Sondaggio n° 2 | |
|--|-------------------------|--------------------------------------|------------|----------|---|--------------------------------------|
| Dr. Francesco Rosmarini | | Parrocchia SS Simone e Giuda | | | Data: 29.02.2012 | |
| Largo dei Gladioli, 6 Ascoli Piceno Tel 329 2077121 | | Località: Monticelli – Ascoli Piceno | | | | |
| Metodo di perforazione: Rotazione meccanica con carotiere del diametro di 110 mm | | | | | Quota: | |
| Profondità Progressiva (m) | Profondità dal p.c. (m) | Simbologia | Note falda | Campioni | Descrizione litologica | Resistenza penet. tascabile (Kg/cmq) |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 1,00 | 1,4 | | | | TERRENO VEGETALE: Limi e limi sabbiosi umidi marrone mediamente consistente con inglobati rari ciottoli di diverse dimensioni. | |
| 2,00 | | | | | SABBIA: Sabbie e sabbie limose nocciola mediamente consistenti, umide, con intercalazioni di ciottoli di dimensioni centimetriche. | |
| 3,00 | 3,0 | | | | GHIAIA E SABBIA: Ciottoli di natura arenacea e calcarea di dimensioni centimetriche immerse in matrice sabbiosa grossolana. | |
| 3,60 | 3,6 | | | | | |
| 4,00 | 4,5 | | | | FORMAZIONE MARINA DEL SUBSTRATO Formazione arenacea grigia intercalata a strati marnosi mediamente consistenti di colore grigiastro. La prima parte risulta alterata e con presenza di piccoli ciottoli. | |
| 5,00 | | | | | | |
| 6,00 | | | | | | |
| 6,60 | | | | | | |
| 7,00 | | | | | | |
| 8,00 | | | | | | |
| 9,00 | | | | | | |
| 10,00 | | | | | | |
| 11,00 | | | | | | |
| 12,00 | | | | | | |
| 13,00 | | | | | | |
| 14,00 | | | | | | |
| 15,00 | | | | | | |
| 16,00 | | | | | | |
| 17,00 | | | | | | |
| 18,00 | | | | | | |
| 19,00 | | | | | | |
| 20,00 | | | | | | |
| 21,00 | | | | | | |
| 22,00 | | | | | | |
| | | | | | FINE SONDAGGIO -6.0 ml DAL p.c. | |

Note: a) prelievo campioni: ; b) livello falda ; c) modeste infiltrazioni idriche:



STUDIO
TECNICO
GEOLOGICO

Studio Tecnico Geologico
Dott. Geol.ROSMARINI FRANCESCO
Largo dei Gladioli 6, 63100 Ascoli Piceno
Cell 329 2077121 – E-mail geo.rosmarini@gmail.com

COMUNE DI ASCOLI PICENO

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DI UN CENTRO SOCIALE DI AGGREGAZIONE GIOVANILE
PRESSO LA PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA

UBICAZIONE:

MONTICELLI - ASCOLI PICENO

COMMITTENTE:

PARROCCHIA DEI SS. SIMONE E GIUDA – IL PARROCO DON LUIGI NARDI



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



Cerreto d'Esi, 02 marzo 2012

COMMITTENTE: Parrocchia SS. Simone e Giuda

CANTIERE: Monticelli - AP

PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm² angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg

Peso massa passiva: 4,2 Kg

legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q_d = resistenza alla penetrazione dinamica

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC_m = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N_{spt equiv} = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello - Japanese National Railway)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Webb)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975, Buisman-Sanglerat)

γ = peso unità di volume

V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)

K_o = modulo di reazione (Navfac)

ν = modulo di Poisson

C_u = coesione non drenata (Terzaghi e Peck, Schmertmann 1975)



Geodrill s.a.s.
 Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
 Via Roma, 14 Tel/Fax 0732678888
 60043 Cerreto d'Esse (AN)
 P.IVA: 02334920424
 E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esse, 02 marzo 2012

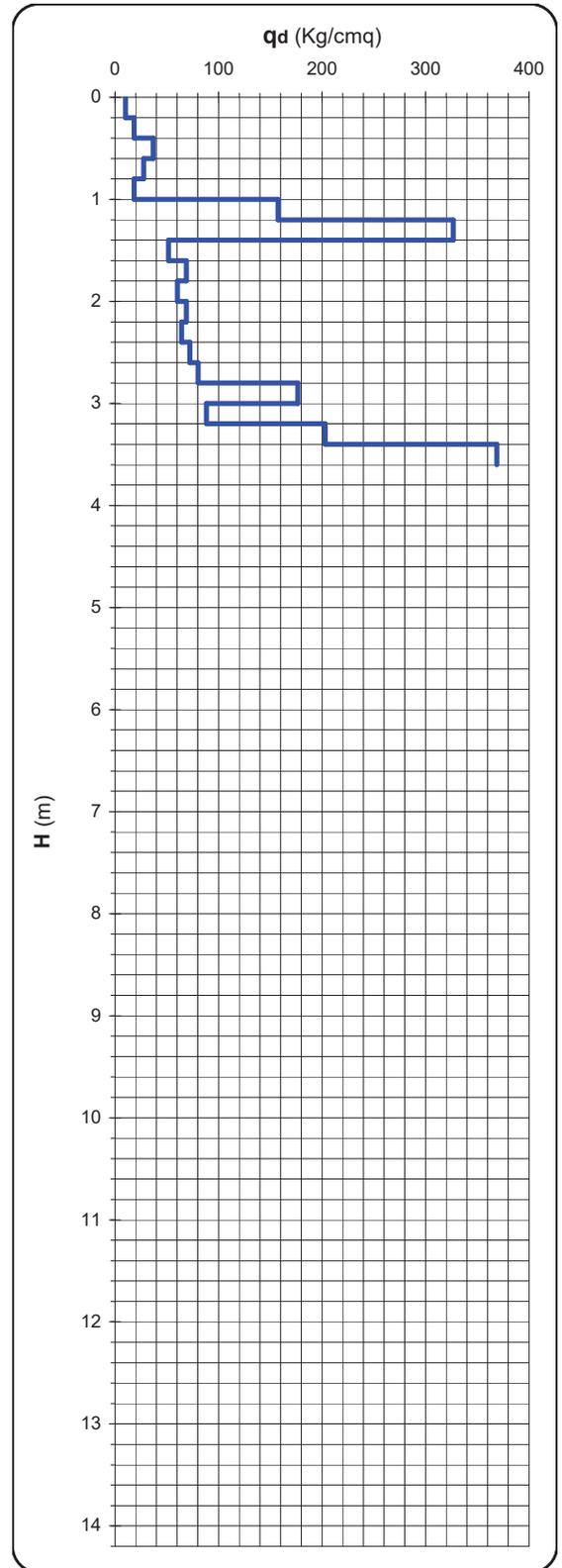
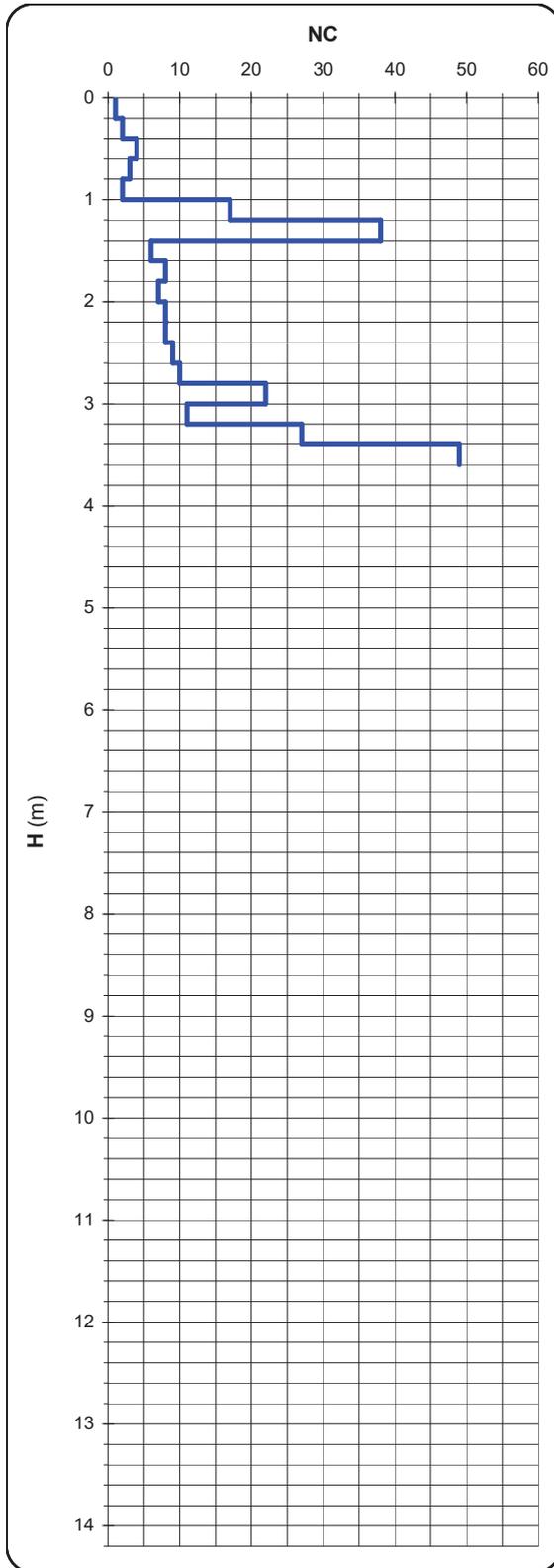
COMMITTENTE: Parrocchia SS. Simone e Giuda
 CANTIERE: Monticelli - AP

PROVA N.1 del 01/03/12

PROF.: 3,80 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

| H (m) | NC | q _d (Kg/cm ²) |
|-------|---------|--------------------------------------|
| 0,2 | 1 | 10,03 |
| 0,4 | 2 | 18,53 |
| 0,6 | 4 | 37,05 |
| 0,8 | 3 | 27,79 |
| 1,0 | 2 | 18,53 |
| 1,2 | 17 | 157,46 |
| 1,4 | 38 | 326,85 |
| 1,6 | 6 | 51,61 |
| 1,8 | 8 | 68,81 |
| 2,0 | 7 | 60,21 |
| 2,2 | 8 | 68,81 |
| 2,4 | 8 | 64,23 |
| 2,6 | 9 | 72,25 |
| 2,8 | 10 | 80,28 |
| 3,0 | 22 | 176,62 |
| 3,2 | 11 | 88,31 |
| 3,4 | 27 | 203,22 |
| 3,6 | 49 | 368,81 |
| 3,8 | rifiuto | |
| 4,0 | | |
| 4,2 | | |
| 4,4 | | |
| 4,6 | | |
| 4,8 | | |
| 5,0 | | |
| 5,2 | | |
| 5,4 | | |
| 5,6 | | |
| 5,8 | | |
| 6,0 | | |
| 6,2 | | |
| 6,4 | | |
| 6,6 | | |
| 6,8 | | |
| 7,0 | | |
| 7,2 | | |
| 7,4 | | |
| 7,6 | | |
| 7,8 | | |
| 8,0 | | |
| 8,2 | | |
| 8,4 | | |
| 8,6 | | |
| 8,8 | | |
| 9,0 | | |
| 9,2 | | |
| 9,4 | | |
| 9,6 | | |
| 9,8 | | |
| 10,0 | | |
| 10,2 | | |
| 10,4 | | |
| 10,6 | | |
| 10,8 | | |
| 11,0 | | |
| 11,2 | | |
| 11,4 | | |
| 11,6 | | |
| 11,8 | | |
| 12,0 | | |
| 12,2 | | |
| 12,4 | | |
| 12,6 | | |
| 12,8 | | |
| 13,0 | | |
| 13,2 | | |
| 13,4 | | |
| 13,6 | | |
| 13,8 | | |
| 14,0 | | |
| 14,2 | | |



Ubicazione sito: Via dei Frassini 4 - Monticelli, 63100 Ascoli Piceno Ascoli Piceno, Italia

Coordinate (datum WGS84): lon. 13.6203° lat. 42.8482°

Archivio: ASCOLI_MONTICELLI.Isr - Data : 24/10/2023

**RELAZIONE ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DI DATI SISMICI
INDAGINE MASW**



Oggetto: *Realizzazione di un Centro d'Aggregazione Giovanile*

| Committente | Geologo |
|-------------------------------|----------------|
| Parrocchia SS. Simone e Giuda | Gattoni Mirko |

INDICE

| | |
|---|---|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA..... | 3 |
| 2.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche | 3 |
| 2.1.1 Sismica attiva | 3 |
| 2.2 Tecniche di indagine | 4 |
| 2.2.1 Tecnica Masw | 4 |
| 2.3 Approccio analitico | 4 |
| 2.3.1 Analisi Masw | 4 |
| 3. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE..... | 5 |
| 3.1 Elaborazione prove sismica attiva..... | 5 |
| 4. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO | 5 |
| 4.1 Categoria di sottosuolo..... | 6 |

Tavole:

| | |
|----------------|----------------------------------|
| Tavola 1 | Certificati indagini MASW |
|----------------|----------------------------------|

Allegati:

| | |
|------------------|---|
| Allegato 1 | Specifiche tecniche strumentazione |
|------------------|---|

1. PREMESSA

Su commissione della Parrocchia dei Santi Simone e Giuda, nell'ambito del progetto di "Realizzazione di un centro sociale di aggregazione giovanile presso la Parrocchia dei SS. Simone e Giuda", in località Monticelli, nel comune di Ascoli Piceno (AP), è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche finalizzata alla caratterizzazione sismica del sito di progetto tramite la ricostruzione dei modelli sismostratigrafici del sottosuolo e la determinazione della Categoria di sottosuolo, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018.

Nello specifico sono state svolte le seguenti indagini sismiche:

- N. 1 profilo Masw (Multi-channel Analysis of Surface Waves);

2. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA

Le prospezioni sismiche vengono utilizzate nell'ambito dell'esplorazione del sottosuolo tramite lo studio della propagazione di onde elastiche generate o artificialmente mediante esplosioni controllate, vibrazioni indotte sul terreno con intensità e frequenza note, masse battenti di vario peso e tipologia o con sorgenti naturali.

Nel caso di sorgenti artificiali si parlerà di sismica attiva e rientrano in questa categoria le indagini di sismica a rifrazione, a riflessione le indagini Masw, le Sasw e tutte le prove eseguite in foro (down-hole, cross-hole, up-hole) mentre nel caso di sorgenti naturali (*noise*) si parlerà di sismica passiva che comprendono le prove sismiche ReMi, Nakamura, Spac, Esac.

2.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche

2.1.1 Sismica attiva

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo PASI 16S24 (mod.2007) con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo a 24 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza propria di 4.5 Hz.

È stata eseguita una serie di punti di energizzazione (shot) a distanze variabili dai geofoni G1 e G24, selezionando poi, in fase di elaborazione, lo shot che presentava la migliore qualità del segnale. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato (Fig.2.1.1).

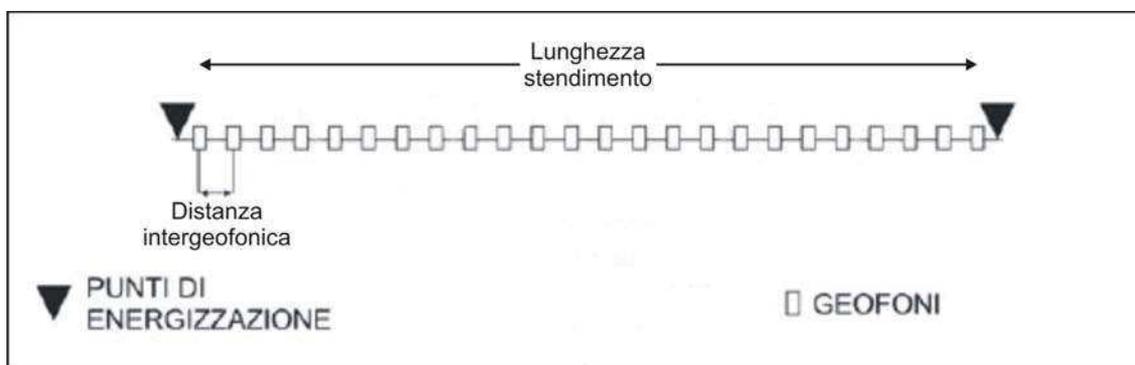


Fig. 2.1.1 - Schema sismica MASW

Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un geofono starter posto in corrispondenza della testa della mazza.

| PROFILO | Tecnica di indagine | lunghezza stendimento (m) | distanza intergeofonica (m) | orientazione stendimento | durata acquisizione (s) | tempo di campionamento (ms) |
|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| SM_01 | Sismica in tecnica MASW | 34.5 | 1.5 | - | 1.0 | 0.500 |

2.2 Tecniche di indagine

2.2.1 Tecnica Masw

L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente una ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro $V_{s,eq}$ necessario per la classificazione dei suoli in base alle NTC 2018 che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica.

Per quanto concerne la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine MASW non è troppo diversa da una comune acquisizione per un'indagine di sismica a rifrazione, in quanto le onde di superficie sono facilmente generabili da una qualsiasi sorgente sismica quale ad esempio una mazza. L'acquisizione del dato prevede di effettuare uno stendimento di 24 geofoni (preferibilmente da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito. I sismogrammi così ottenuti vengono poi selezionati in fase di elaborazione, utilizzando solamente lo shoot che presenta la migliore qualità del segnale.

2.3 Approccio analitico

2.3.1 Analisi Masw

Il profilo $V_{s,eq}$ con il metodo MASW viene ricavato tramite l'inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh, che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione P e onde di taglio verticali Sv. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh; la dispersione è una deformazione di un treno di onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza, le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo e presentano normalmente più elevate velocità di fase. Il calcolo del profilo di velocità delle onde di Rayleigh, $V(fase)/Frequenza$, viene quindi convertito nel profilo di V_s /profondità. La procedura utilizzata per la determinazione del profilo prevede quattro operazioni svolte in successione:

1. acquisizione delle onde superficiali (dati di campo);
2. determinazione dello spettro di velocità;

3. individuazione della curva di dispersione sullo spettro di velocità;
4. inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (soft computing) e rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

Resta comunque sottinteso che il calcolo algoritmico non prevede un risultato univoco ma una serie di risultati attendibili in un range di modelli validi e per tale motivo i dati finali possono presentare discordanze rispetto ai modelli ottenuti con altre tecniche di indagine sismica (down hole, cross hole, ecc. Il fit tra il modello calcolato con tecnica MASW e il modello ottenuto con altri metodi di indagine sismica è quindi funzione delle conoscenze geologiche di sito e per tale motivo la presenza di dati ricavati da indagini integrative (sondaggi, penetrometrie, ecc) permette di restringere il campo di incertezza, ottimizzando il modello finale.

3. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE

3.1 Elaborazione prove sismica attiva

L'elaborazione del dato tramite la tecnica di inversione ha permesso quindi di ricostruire un modello sismostratigrafico del terreno che mostra la presenza di n. 4 orizzonti di velocità:

| STRATO | SPESSORE medio | VELOCITA' Vs media | LITOLOGIA | CARATTERISTICHE FISICHE |
|--------|----------------|--------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | 1.10 m | 153 m/s | Terreno vegetale | Poco consistente |
| 2 | 3.00 m | 300 m/s | Terreni granulari prevalenti | Mediamente addensati |
| 3 | 2.50 m | 654 m/s | Substrato torbiditico | Da poco a non alterato |
| 4 | n.d. | 850 m/s | | |

Fig. 3.1 – Modello sismostratigrafico

Dai dati sopra esposti si può quindi constatare un graduale aumento di velocità delle onde S con la profondità.

Ulteriori dettagli dei dati acquisiti sono esposti negli elaborati grafici delle tavole.

4. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

4.1 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di $V_{s,eq}$ (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (in m) 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 al disopra del substrato sismico (con $V_s > 800$ m/s), fino ad un H massimo di 30 m (V_{s30}).

L'indagine sismica ha permesso quindi di ricostruire il seguente profilo sismostratigrafico necessario per il calcolo delle $V_{s,eq}$:

| STRATO | SPESSORE medio (h_i) | VELOCITA' media (V_s) |
|--------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 1.10 m | 153 m/s |
| 2 | 3.00 m | 300 m/s |
| 3 | 2.50 m | 654 m/s |
| 4 | n.d. | 850 m/s |

Dai dati sopra elencati si evince la presenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30.0 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 6.60 m di profondità ($H = 6.60$ nella precedente espressione):

$$V_{s,eq} (6.60 \text{ m}) = 314 \text{ m/s}$$

Pertanto, sulla base di questi valori e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

Categoria di sottosuolo E : Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri.

CERTIFICATO DI PROVA INDAGINE SISMICA MASW

Dott. Geol. Gattoni Mirko

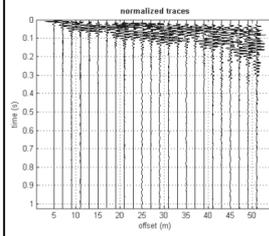
Codice Certificato di prova: SM_01

Committente: Parrocchia dei Santi Simone e Giuda-Data Esecuzione:24/10/2023
Località: Monticelli - Comune: Ascoli Piceno (AP)

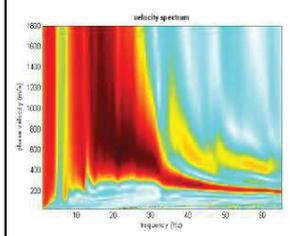
| SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE | |
|-------------------------------------|-----------|
| Profilo | SM_01 |
| Tipo geofoni | verticali |
| Frequenza geofoni | 4.5 Hz |
| N° geofoni | 24 |
| N° scoppi | 7 |
| Lunghezza stendimento | 34.5 m |
| Distanza intergeofonica | 1.5 m |
| Durata acquisizione | 1 s |
| Tempo di campionamento | 0.500 ms |
| Superficie di esecuzione | terreno |



SISMOGRAMMI



SPETTRO



DATI NUMERICI

| | | |
|--|----------|--|
| Rayleigh wave analysis | | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -61.3363 | -6.69904 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -65.0386 | -6.69904 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -56.1307 | -6.69904 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -55.7158 | -6.69904 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -60.6651 | -6.69904 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -50.68 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -50.96 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -63.8953 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -53.8684 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -49.4946 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -54.8739 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -59.5175 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -74.8354 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -68.2235 | -5.16547 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -64.2267 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -51.6011 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -39.7647 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -58.2325 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -62.7432 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -55.4854 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -43.6466 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -55.957 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -75.0648 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -53.4702 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -54.0201 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -55.4753 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -50.8787 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -42.0943 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -56.47 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -62.4819 | -4.63365 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -52.4338 | -4.06759 | |

Now a finer search around the most promising search space area

| | | |
|---|----------|--|
| Rayleigh wave analysis | | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -92.4304 | -4.06759 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -75.8754 | -4.06759 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -81.3354 | -4.06759 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -73.8405 | -4.06759 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -70.9226 | -4.06759 | |
| Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -76.0457 | -4.06759 | |

Modello Medio
VS (m/s): 153 300 654 850
Spessore (m): 1.1 3.0 2.5

Fundamental mode
Mean model
f(Hz) VR(m/s)
10.5933 720.5519
16.7652 648.9817
21.327 567.0395
25.7547 496.0918
29.7799 427.2343
31.9266 363.1618
34.2075 319.1455
39.0377 275.3332
46.6855 243.3462
55.1384 213.0621
63.0545 185.0642

First higher mode
Mean model
23.3396 723.3114
28.304 552.9415

winMASW Pro
Surface Wave Analysis
www.eliosoft.it

PROFILO DI VELOCITA' 1D Vs.eq (Vs6.6) =314m/s

