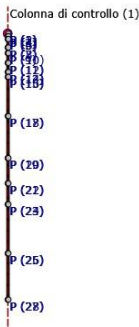


Ubicazione sito:  
Coordinate (datum WGS84): lon. 11.9832° lat. 44.7941°

Archivio: RSL\_Punto Verde IP10.lsr - Data : 22/12/2025

RELAZIONE DI CALCOLO

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE



Oggetto: RSL Punto Verde – Variante Urbanistica

Committente

Progettista

Societa Agricola Punto Verde Ss,  
Via Punta, Fiscaglia, FE

Geologo Thomas Veronese

## Sommario

1 - Introduzione .....	3
1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale .....	6
1.2 - Normativa di Riferimento .....	7
2 - Risposta Sismica Locale .....	9
3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D .....	10
3.1 - Metodo lineare equivalente .....	10
3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM .....	12
3.2.1 - Smorzamento .....	13
3.2.2 - Free-field boundaries .....	13
3.3 - Procedimento iterativo .....	14
3.4 - Interpretazione dei risultati .....	15
4 - Input .....	16
4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali .....	16
4.2 - Profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m e profilo di Vs profondo .....	29
4.3 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati .....	39
4.4 - Accelerogrammi e Spettri di Input .....	41
5 - Output .....	50
5.1 - Accelerogrammi Output .....	50
5.2 - Spettri Output .....	53
5.3 - Interpretazione dei risultati .....	57
5.4 - Fattori di amplificazione richiesti da DGR 476/2021 dalla RSL .....	59

## 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.

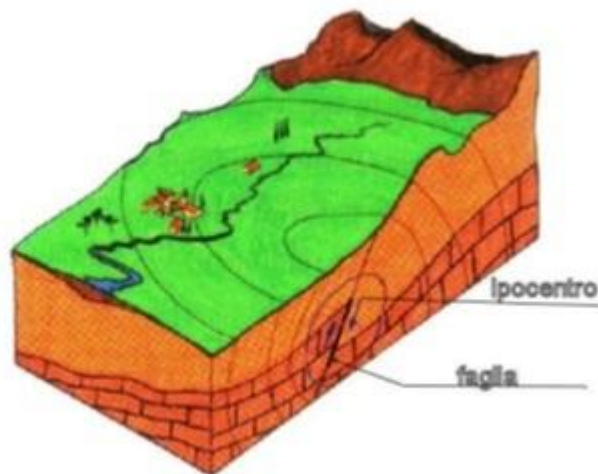
Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

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:

- $\lambda$  = modulo di Lamé del terreno;
- $G$  = modulo elastico del taglio del terreno;
- $\rho$  = 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  $\pi$  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.

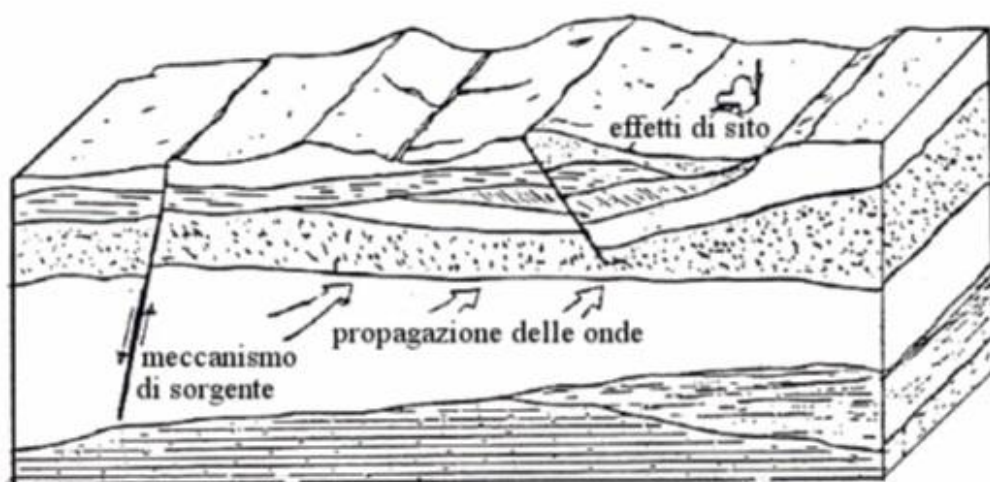
Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime. Le onde sismiche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

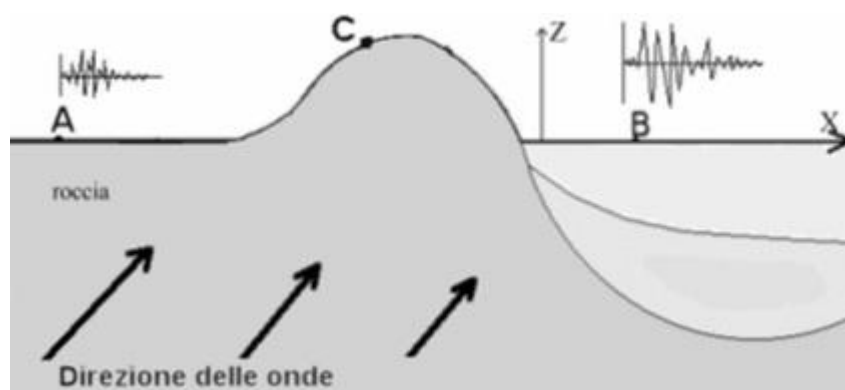


Figura 4. Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

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".

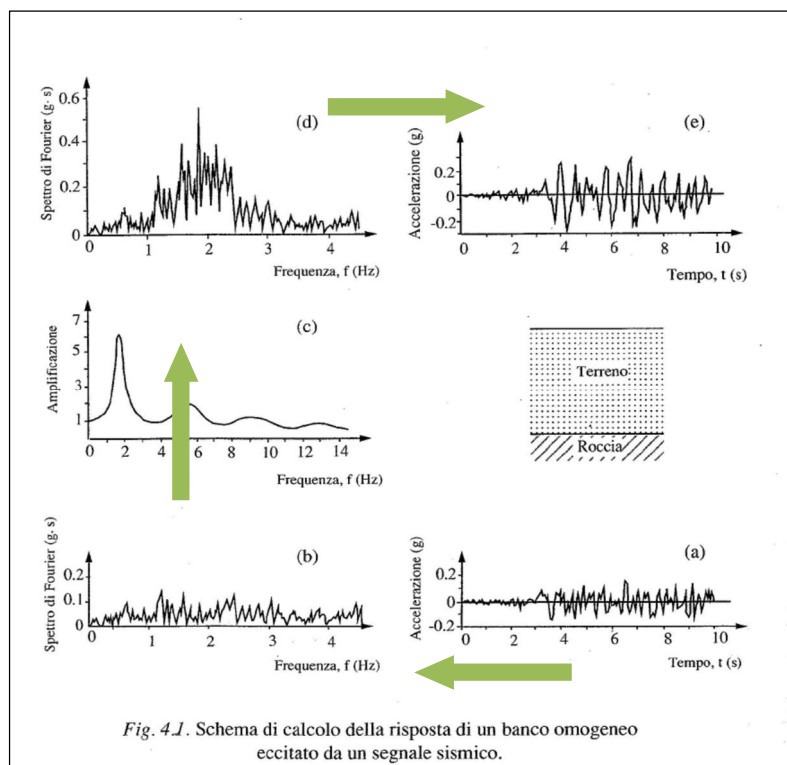
Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza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

Si riporta in **FIGURA 4.1** lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.



**FIGURA 4.1**

Per procedere a questo tipo di studio serve:

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve bibliografiche idonee per rappresentare il decadimento del modulo  $G_0$ , espresse attraverso il rapporto  $G/G_0$ , e curve di smorzamento  $D$ ;
- curve bibliografiche idonee di  $G_0$  e  $D$ , da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

## 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);

- **Delibera di Giunta Regionale n. 476 del 12/04/2021 e sua integrazione DGR n. 564 del 26/04/2021.**

Le delibere sono state pubblicare sul [BURERT n. 137 del 12/5/2021 \(parte seconda\)](#)  e [BURERT n. 111 del 20/04/2021](#) 

- [DGR n. 476 del 12/04/2021 \(PDF - 1,4 MB\)](#)
- [DGR n. 564 del 26/04/2021 \(PDF - 579,4 KB\)](#) (integrativa)

L'aggiornamento riguarda la selezione di nuovi segnali (accelerogrammi) di riferimento per le analisi di risposta sismica locale negli studi di terzo livello. Rispetto ai precedenti indirizzi, approvati con DGR 630/2019, la differenza consiste quindi nella sostituzione dell'Allegato A4.

- [Nota esplicativa dove sono indicate anche le modalità per scaricare i nuovi accelerogrammi \(PDF - 5,4 MB\)](#);
- [Allegato A \(PDF - 388,2 KB\)](#)  
Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. 24/2017);
- [Allegato A1 \(PDF - 116,8 KB\)](#)  
Indicazioni per l'elaborazione della cartografia delle aree suscettibili di effetti locali (primo livello di approfondimento);
- [Allegato A2 \(PDF - 480,0 KB\)](#)  
Tabelle e formule per la stima dei fattori di amplificazione sismica per la microzonazione sismica (secondo livello di approfondimento);
- [Allegato A3 \(PDF - 706,2 KB\)](#)  
Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento;
- [Allegato A4 \(PDF - 74,3 KB\)](#)  
Segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento;
- [File KMZ \(- 192,8 KB\)](#);
- [Sito per scaricare gli accelerogrammi](#) 

## 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.

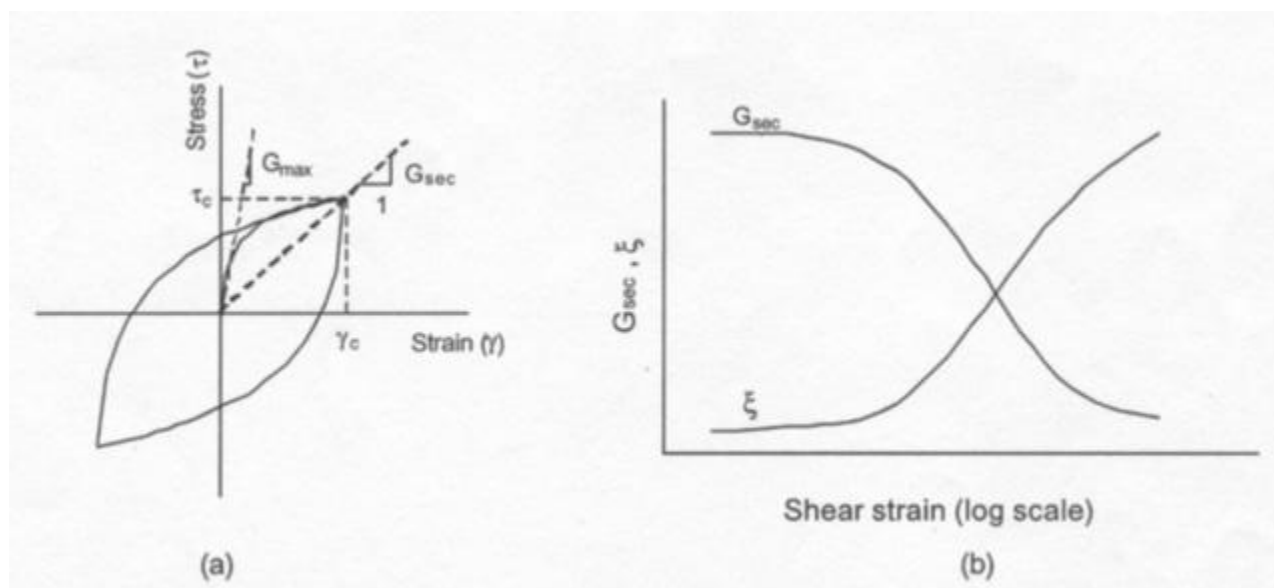
In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche 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  $\tau$  dipende dalla deformazione  $\gamma$  e dalla sua derivata  $\dot{\gamma}$ , secondo la relazione:

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

dove:

- $G$  = Modulo di taglio;
- $\eta$  = 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:

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

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:

- $\Delta W^{dissp}$  = 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'interno dell' 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.

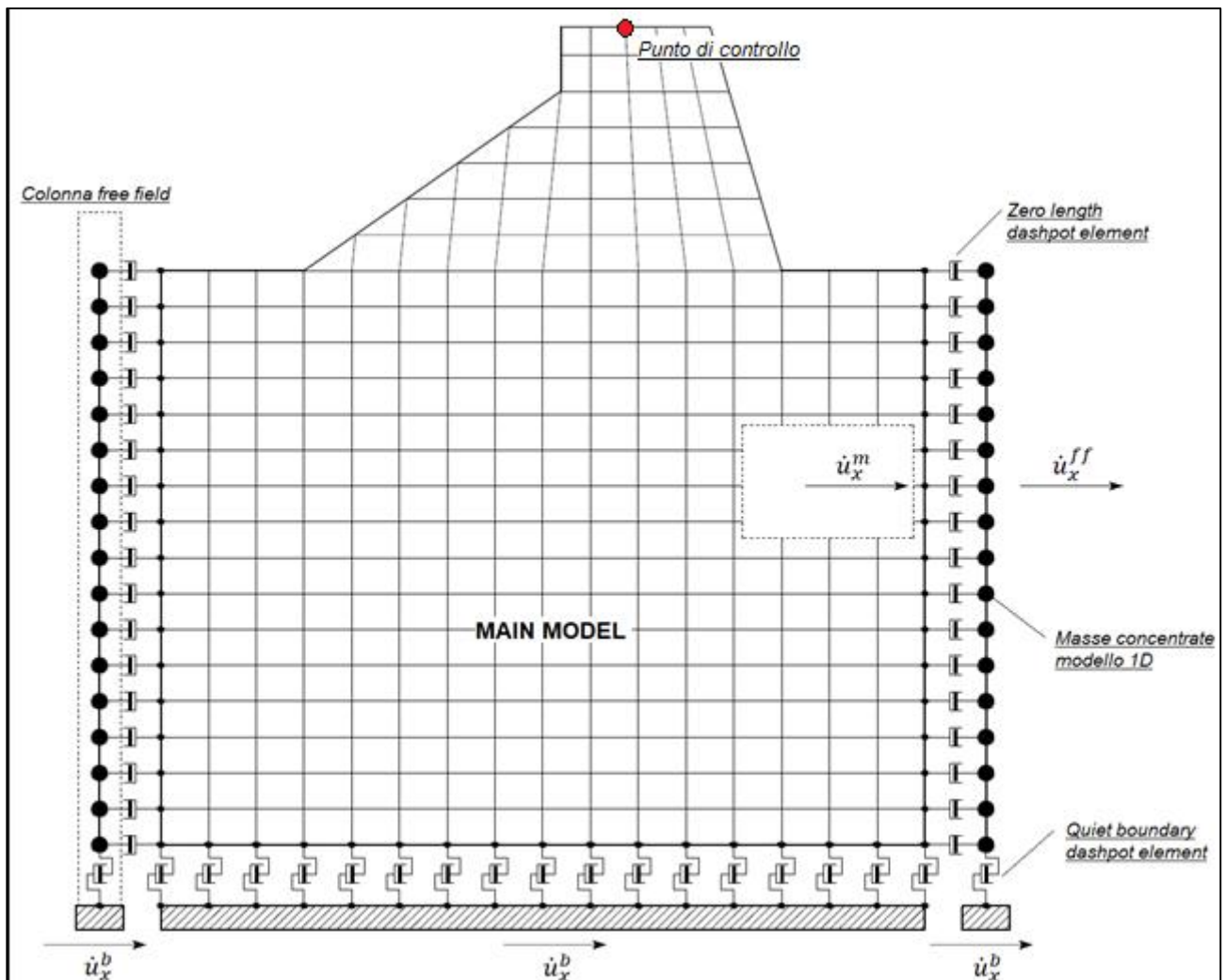


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

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

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:

- $\Delta t$  = incremento temporale tra l'istante di tempo  $tn$  e  $tn - 1$ ;
- $\beta$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- $\gamma$  = 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:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$  = 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:

- $\omega_1$  = 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  $\omega_i$  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:

- $\rho$ : 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 rigidezza 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 ( $\gamma_1$ , 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  $D$ .

Per un dettagliato studio di risposta sismica locale condotti nel 2016 a Migliarino per il Progetto di ampliamento della scuola secondaria di primo grado denominata "G. Mazzini" sita in via Gramsci n. 10, sono stati prelevati 5 campioni indisturbati negli orizzonti visibili nella figura che segue, e sono stati sottoposti a prova di colonna risonante.

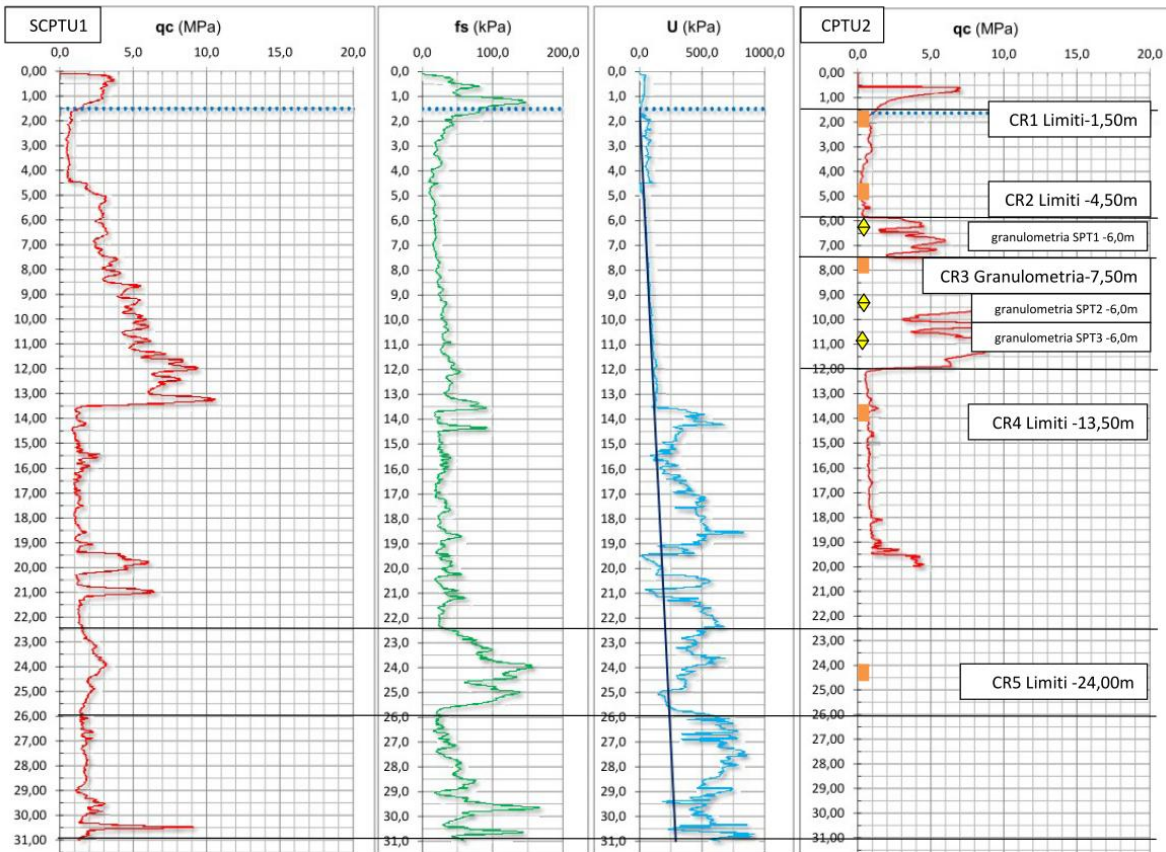
Si è fatto riferimento poi ad altre curve di letteratura e bibliografiche.

Nella **tabella 4.1.** sono riportati i dati dei campioni prelevati e le prove a cui sono stati sottoposti.

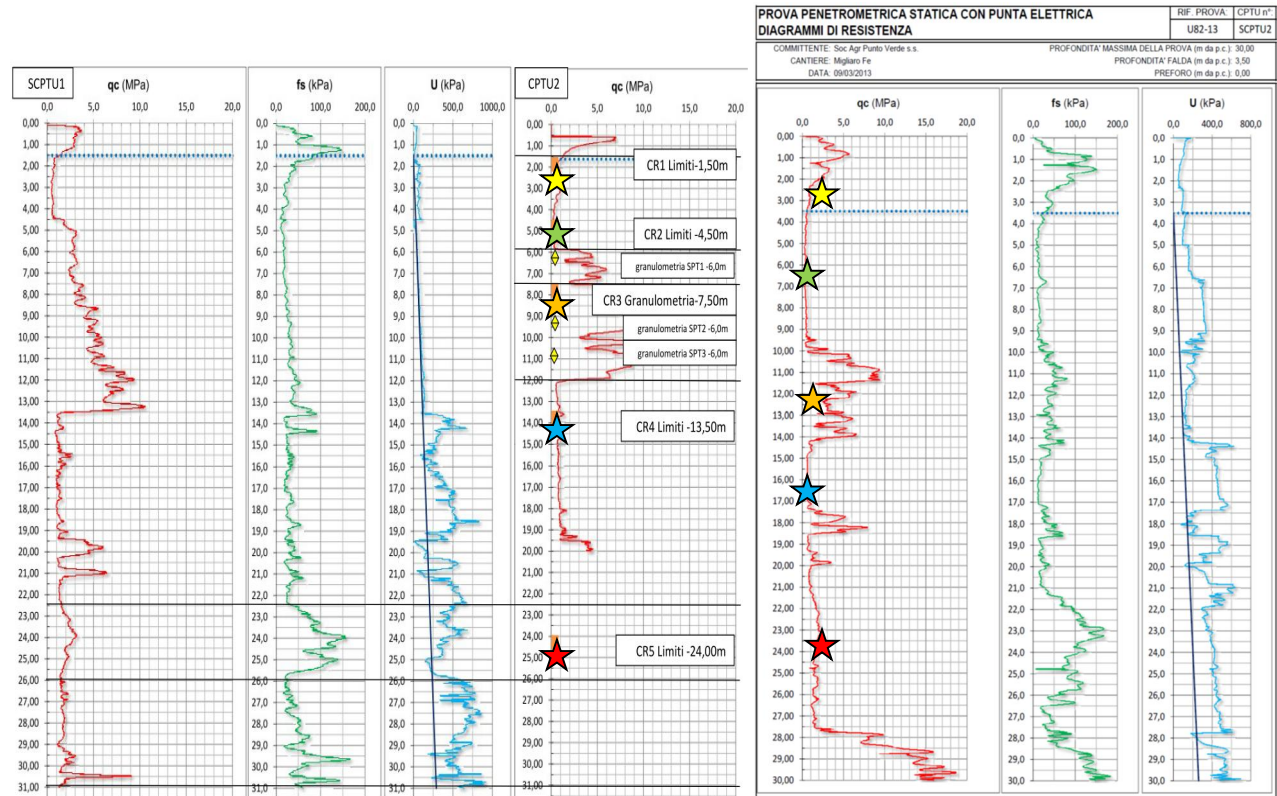
Nome campione	Profondità (m da p.c.)	Colonna Risonante	Analisi granulometrica	Limiti di Atterberg	Prova di taglio diretto
SH1	1.5-2.0				
SH2	4.5-5.1				
SPT1	6.0-6.45				
SH3	7.5-8.1				
SPT2	9.0-9.45				
SPT3	10.5-10.95				
SH4	13.5-14.1				
SH5	24-24.6				
C1	25.5-25.8				

**Tabella 4.1.** - Elenco dei campioni prelevati e tipo di indagini di laboratorio eseguite

In **FIGURA 4.1.** si riportai il diagramma delle resistenze delle indagini penetrometriche eseguite a Migliarino per poi fare la selezione delle migliori colonne risonanti da attribuire ai terreni di Migliaro rilevati nella proprietà della Punto Verde (**FIGURA 4.2.**).



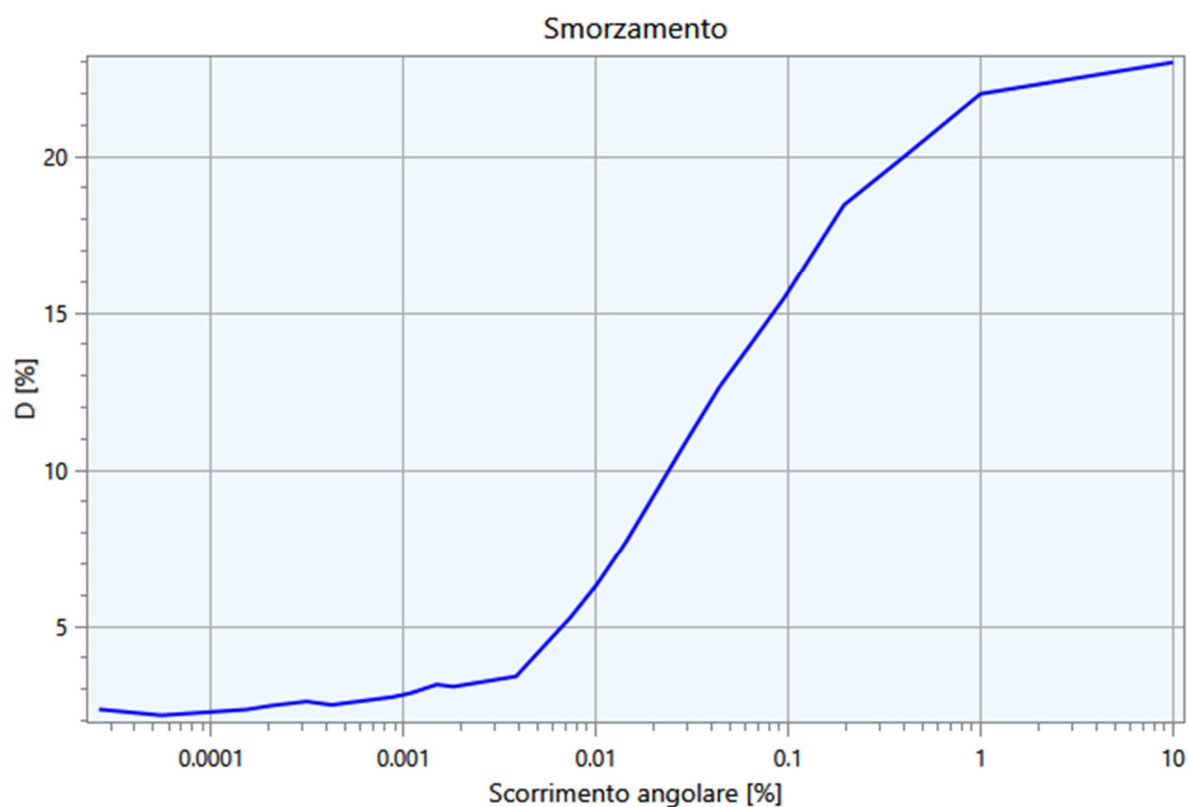
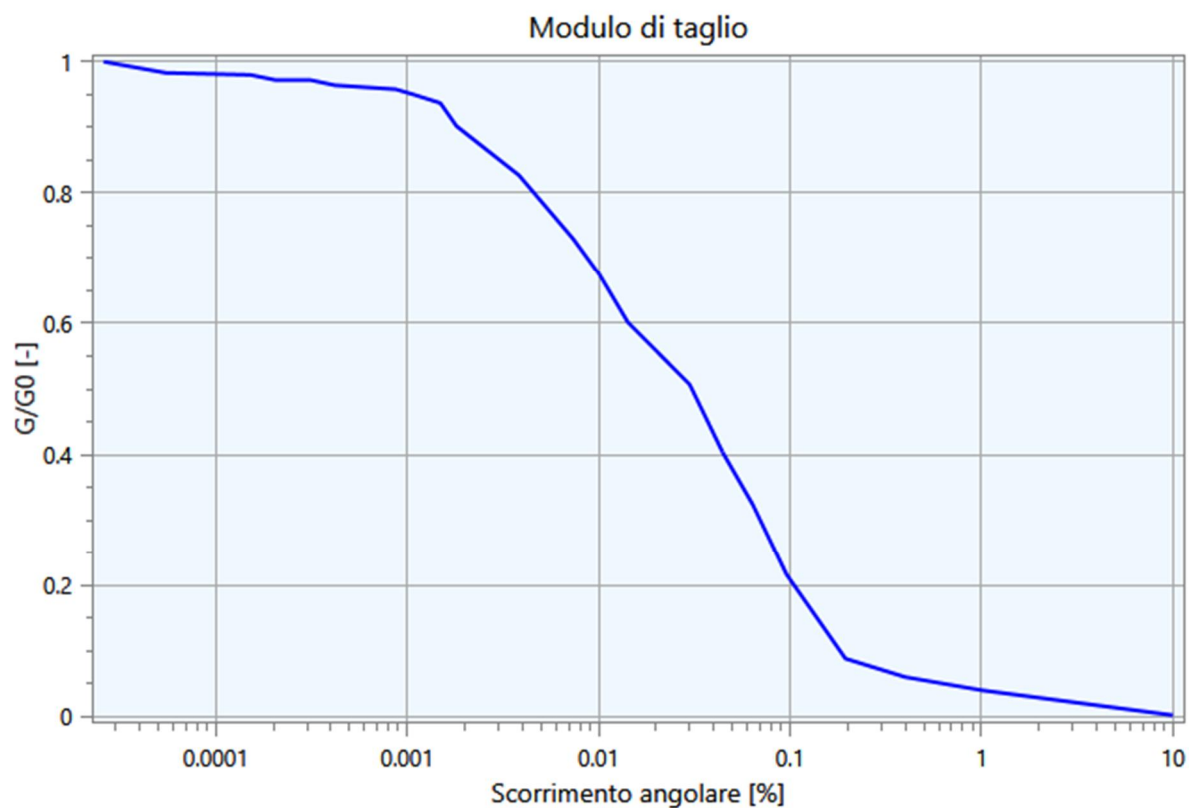
**FIGURA 4.1** – Penetrometrie CPTU1 e CPTU2 con ubicazione dei campioni e alcune prove eseguite sui medesimi.

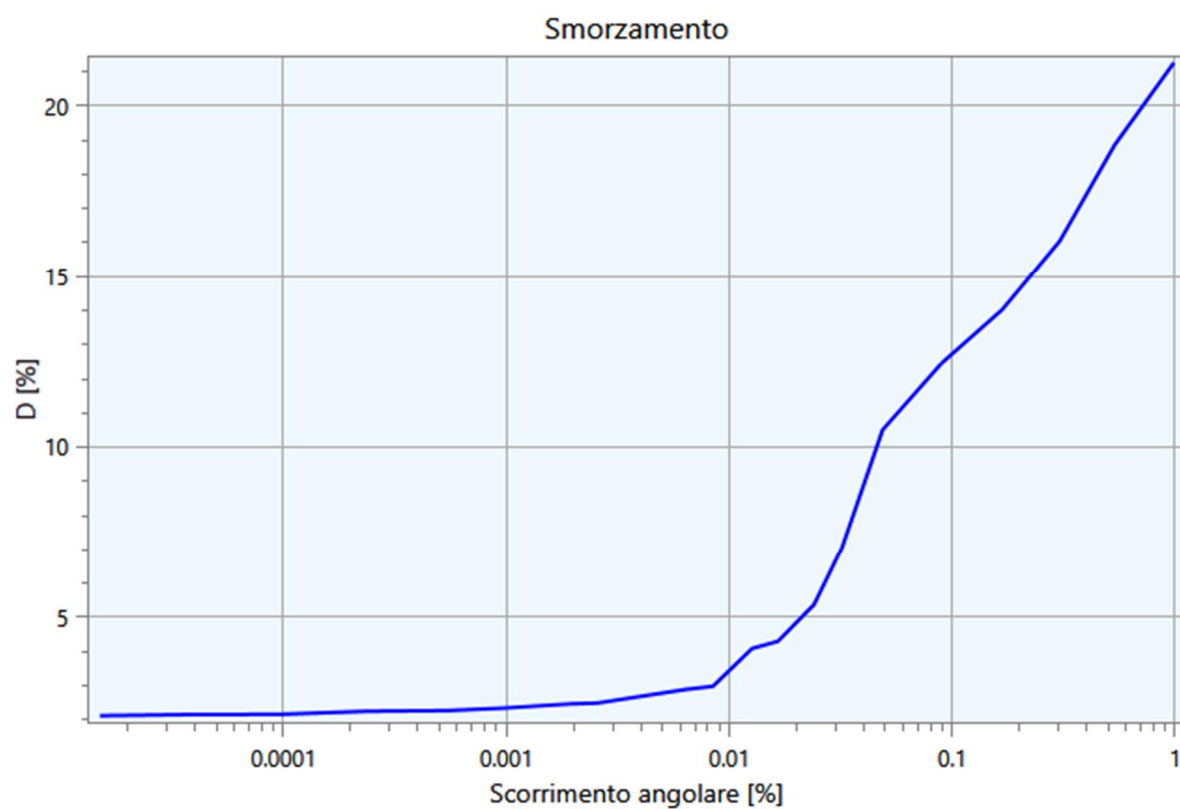
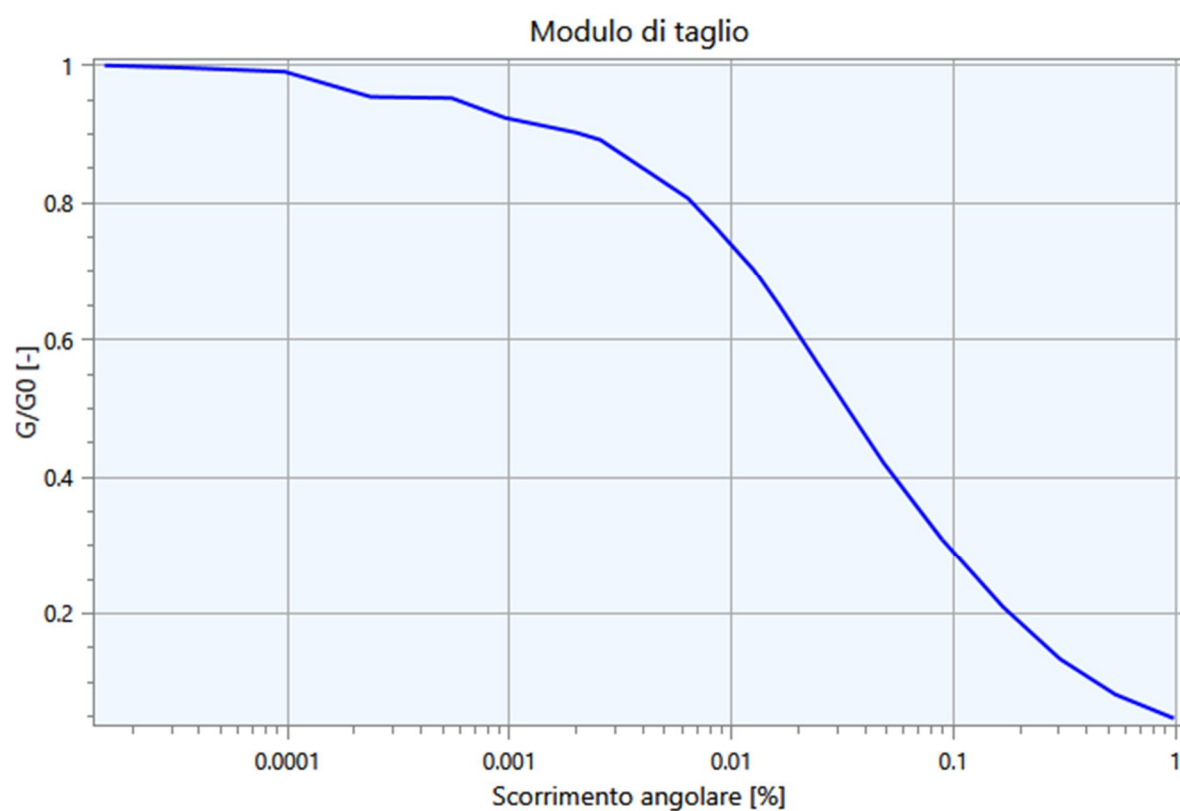


**FIGURA 4.2.** - Abbinamento delle curve di decadimento del modulo  $G_0$  e di Dumping.

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

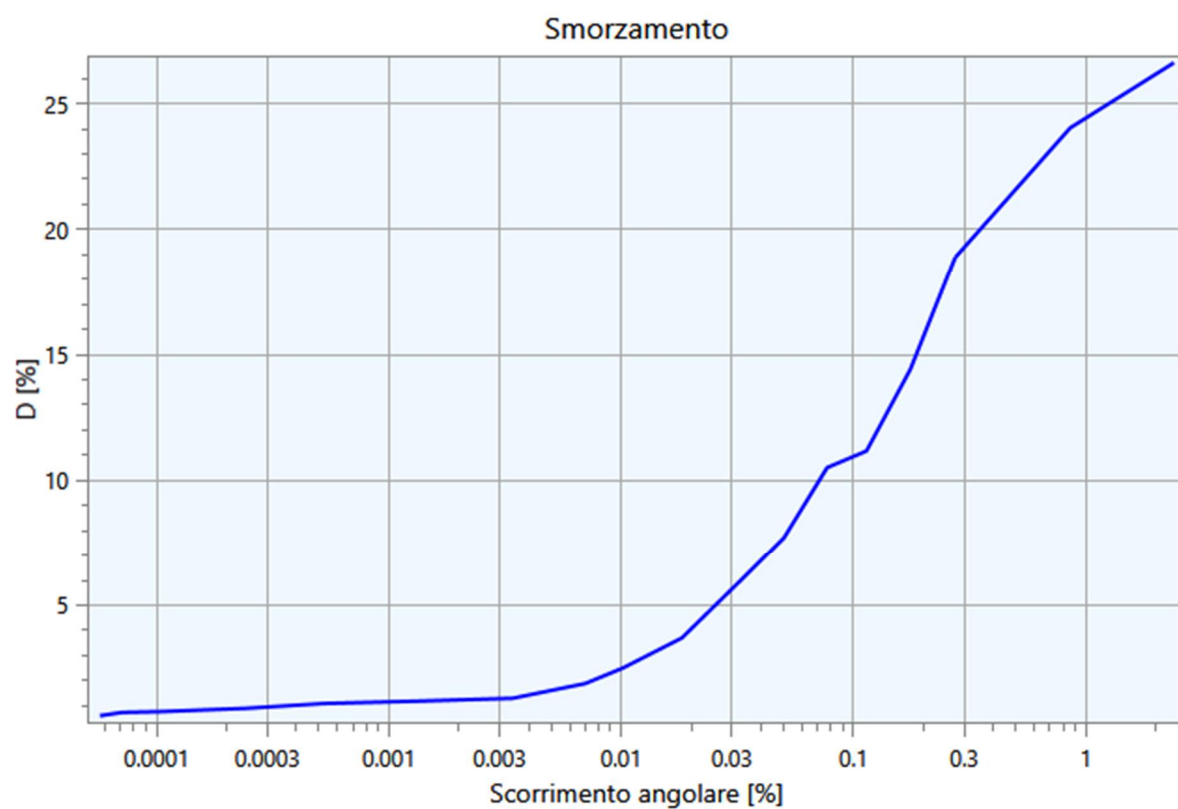
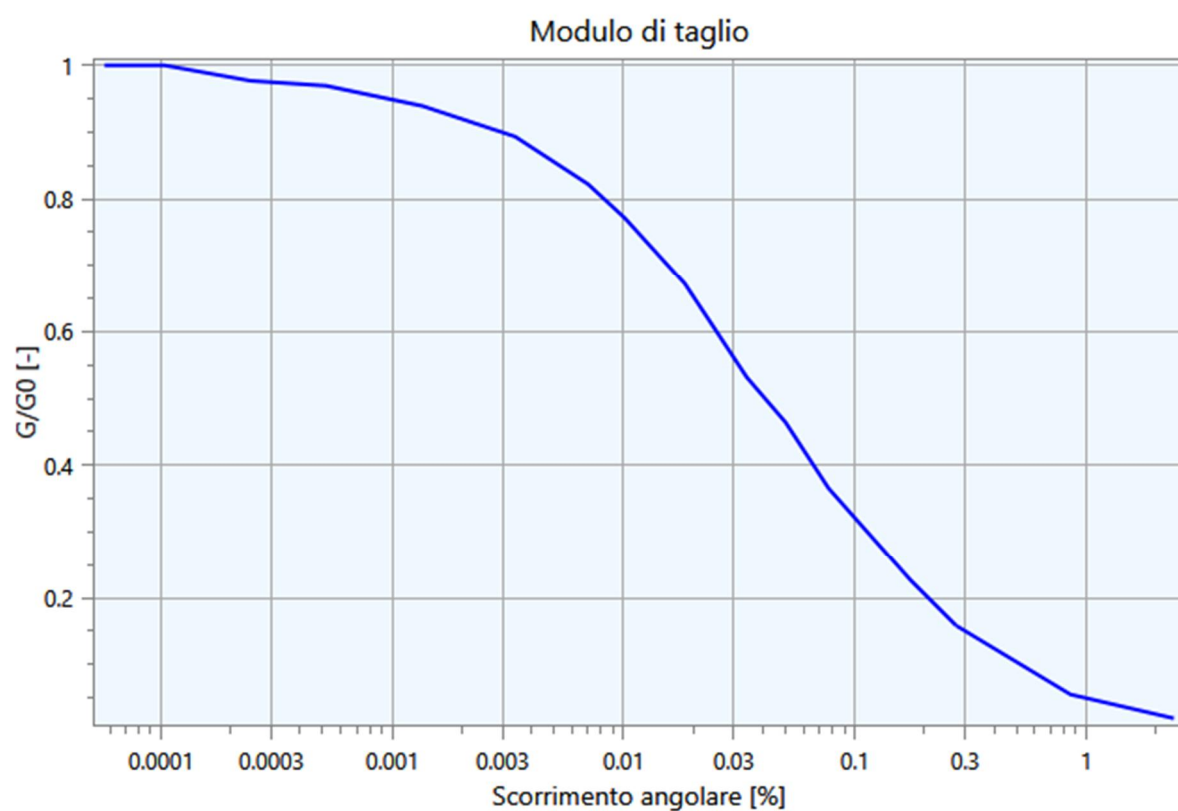
**Curva n. 1: Bond Cr1**



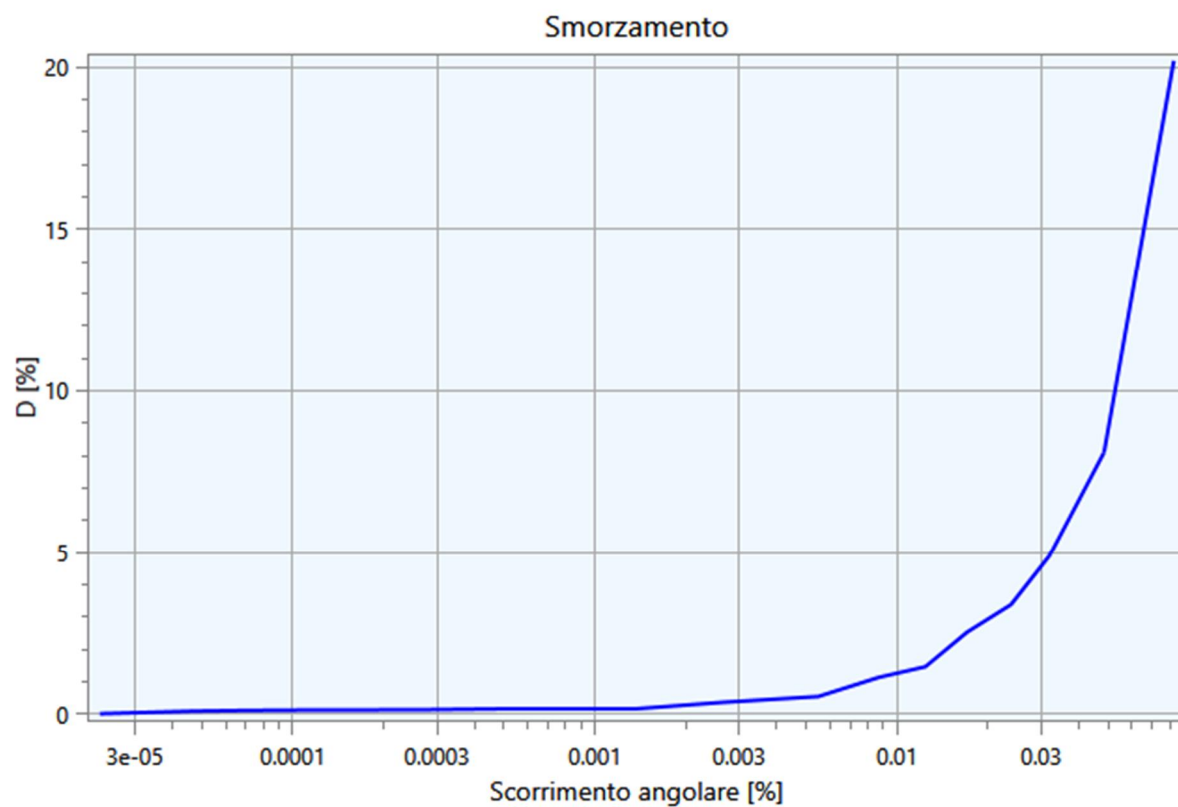
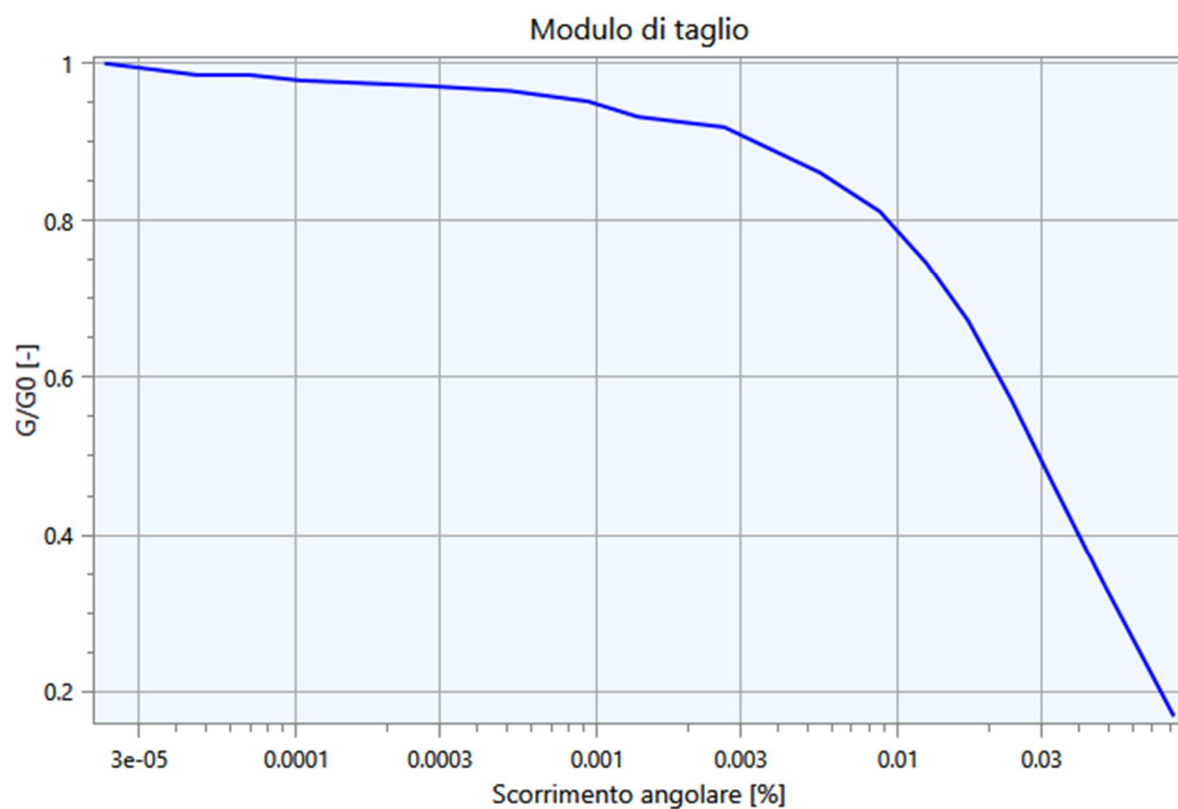
**Curva n. 2: Migliarino SH1**



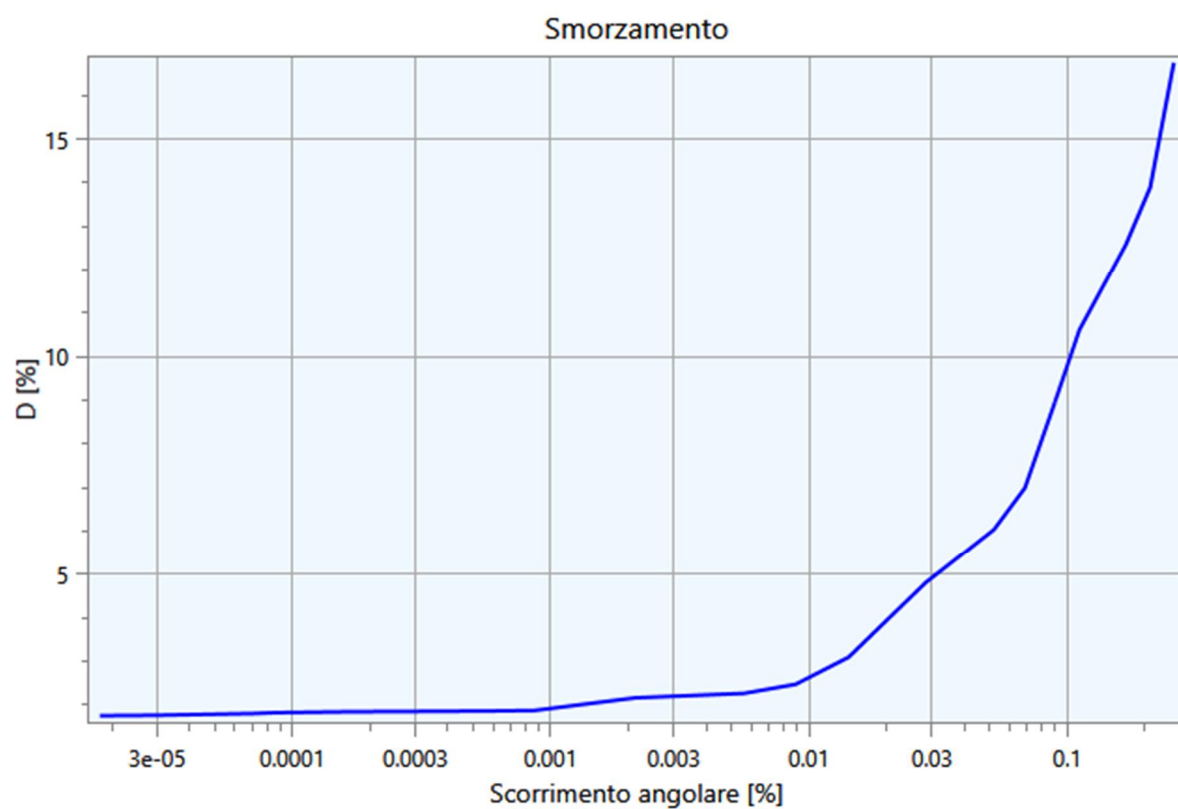
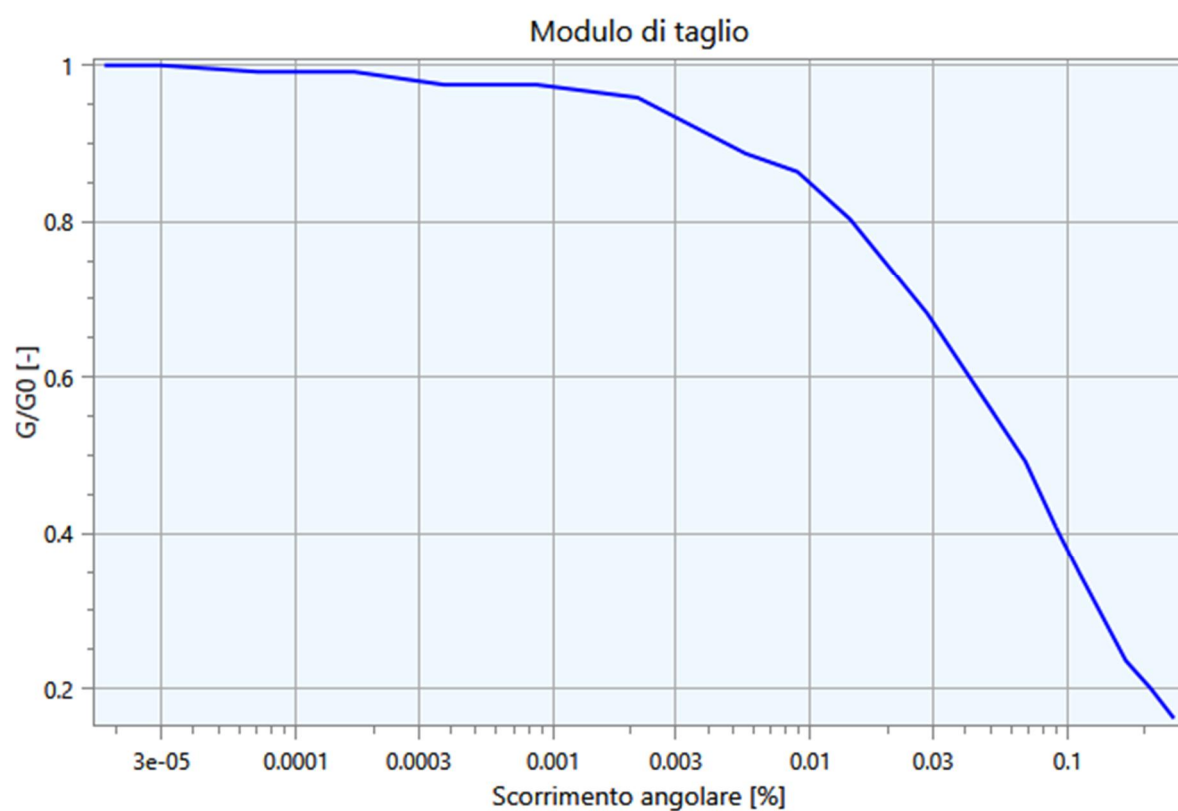
**Curva n. 3: Migliarino SH2**



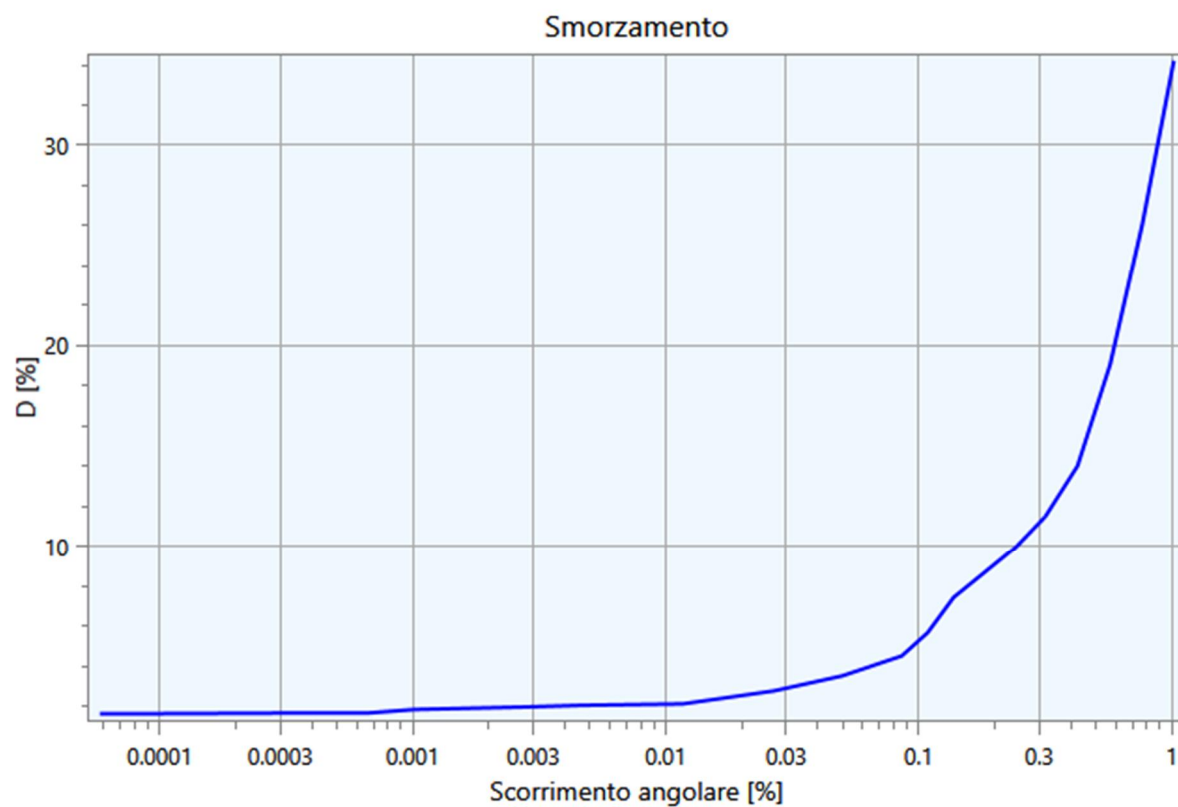
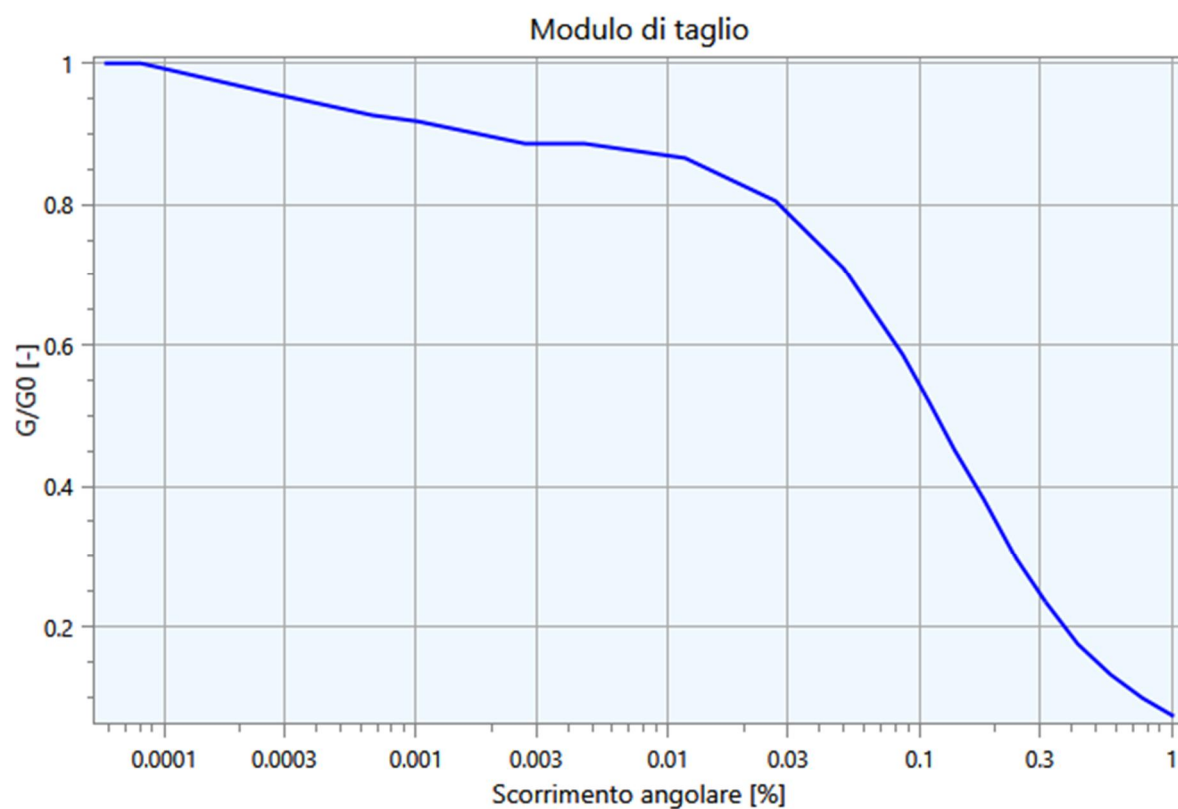


**Curva n. 4: Migliarino OST3**

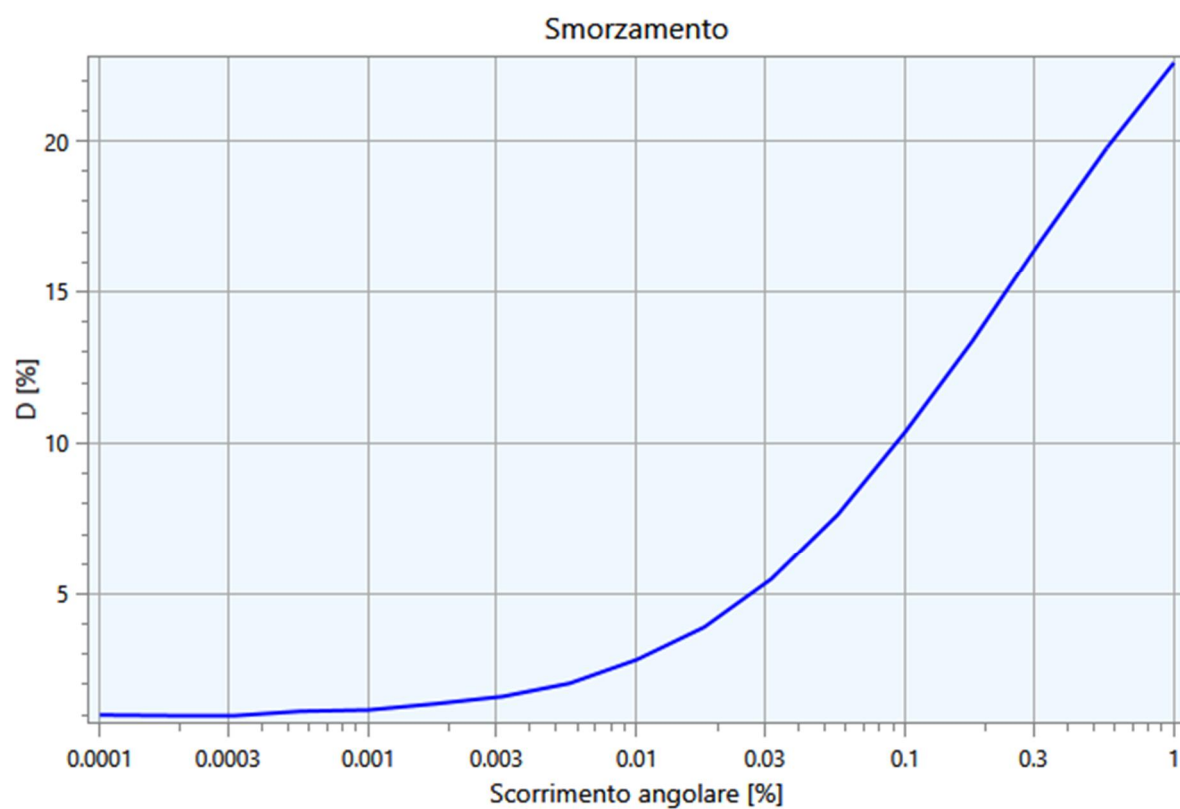
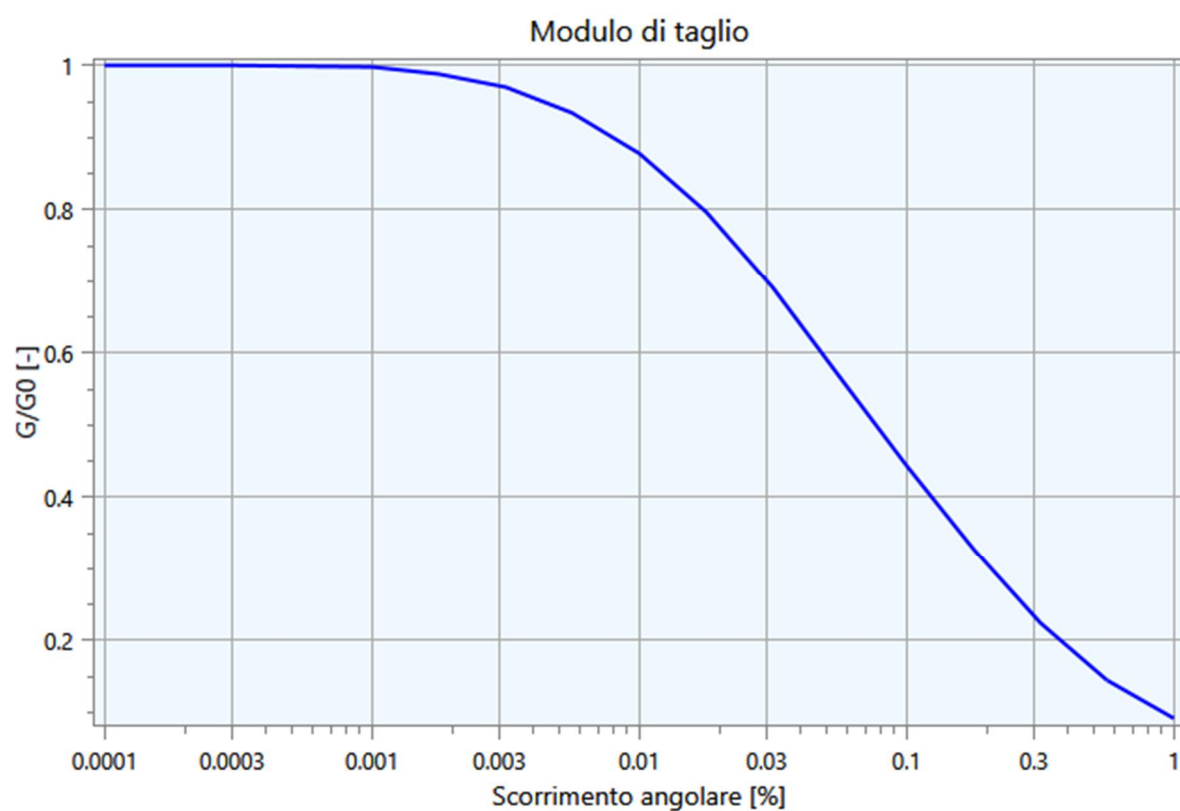
**Curva n. 5: Migliarino SH4**

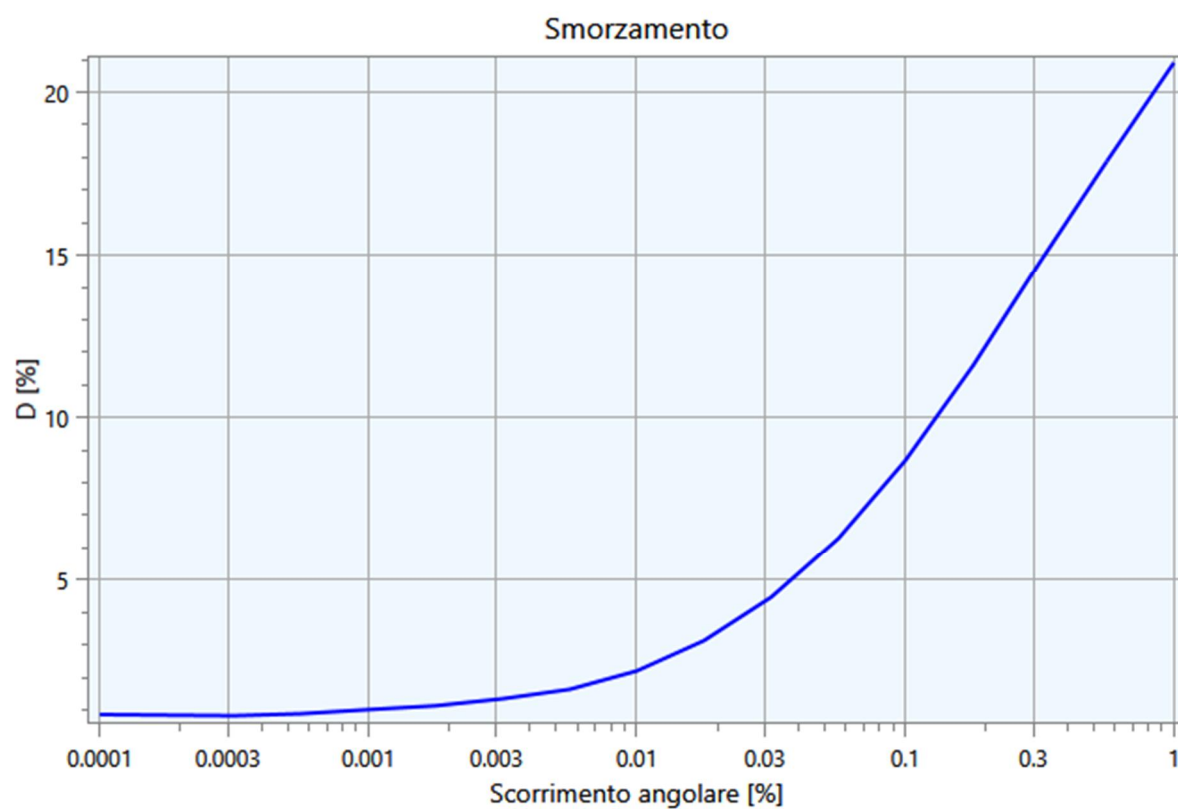
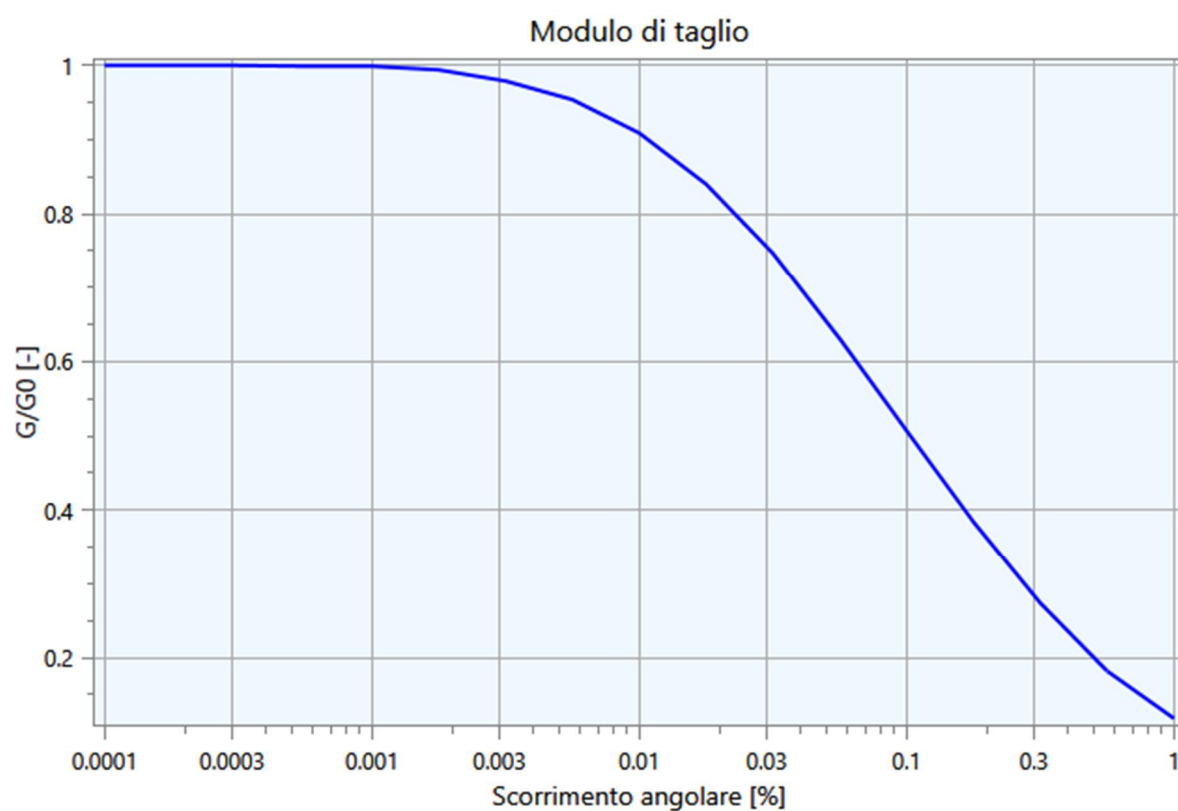


## Curva n. 6: Migliarino SH5

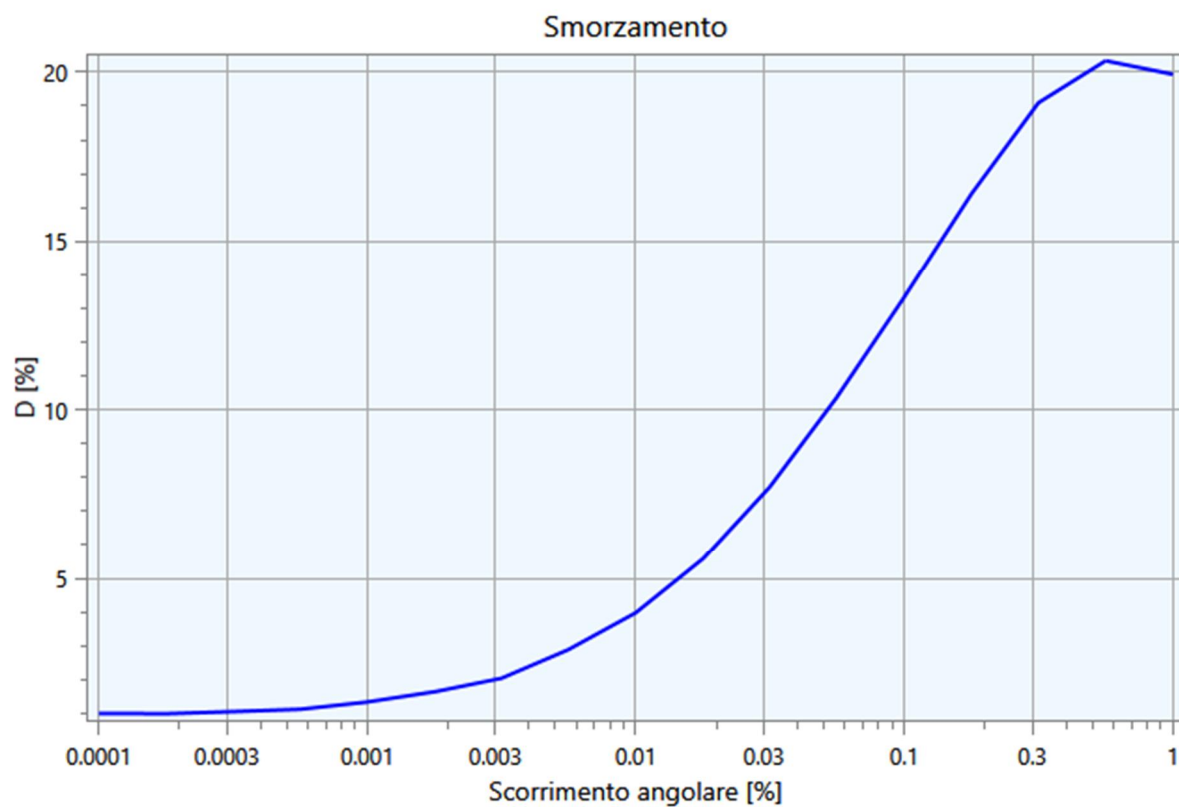
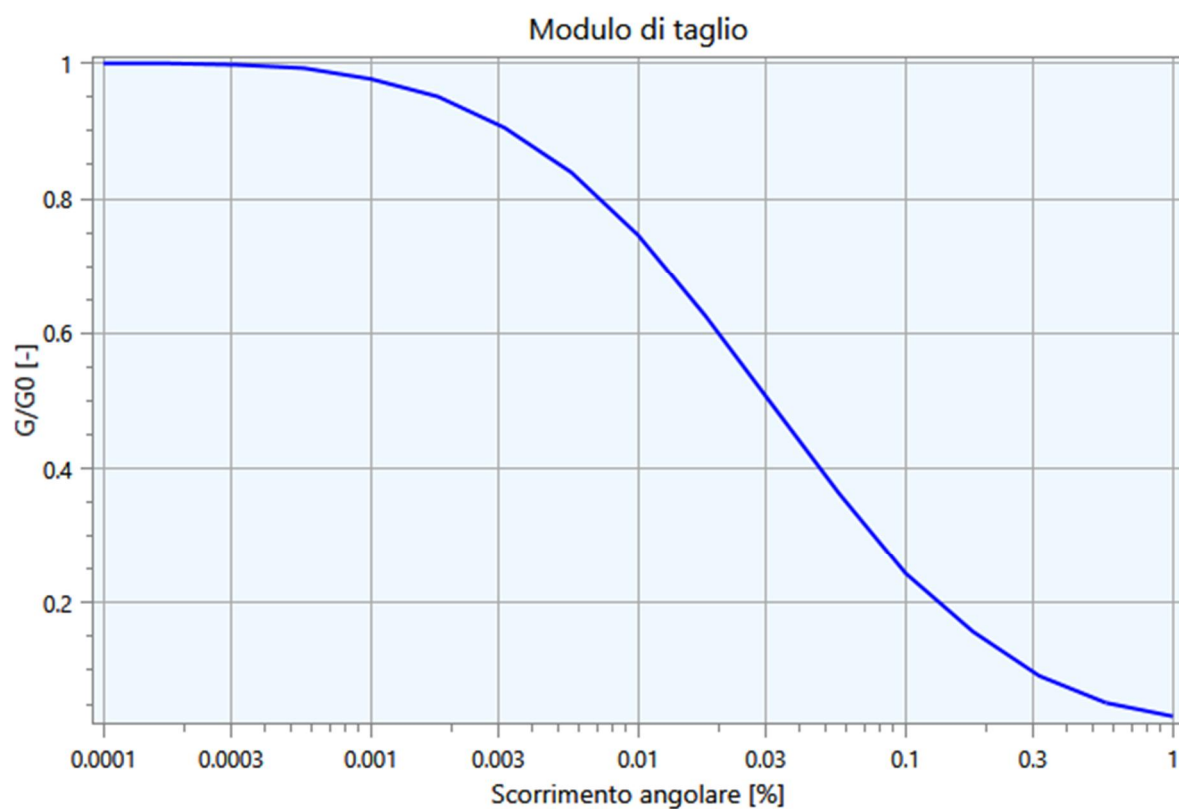


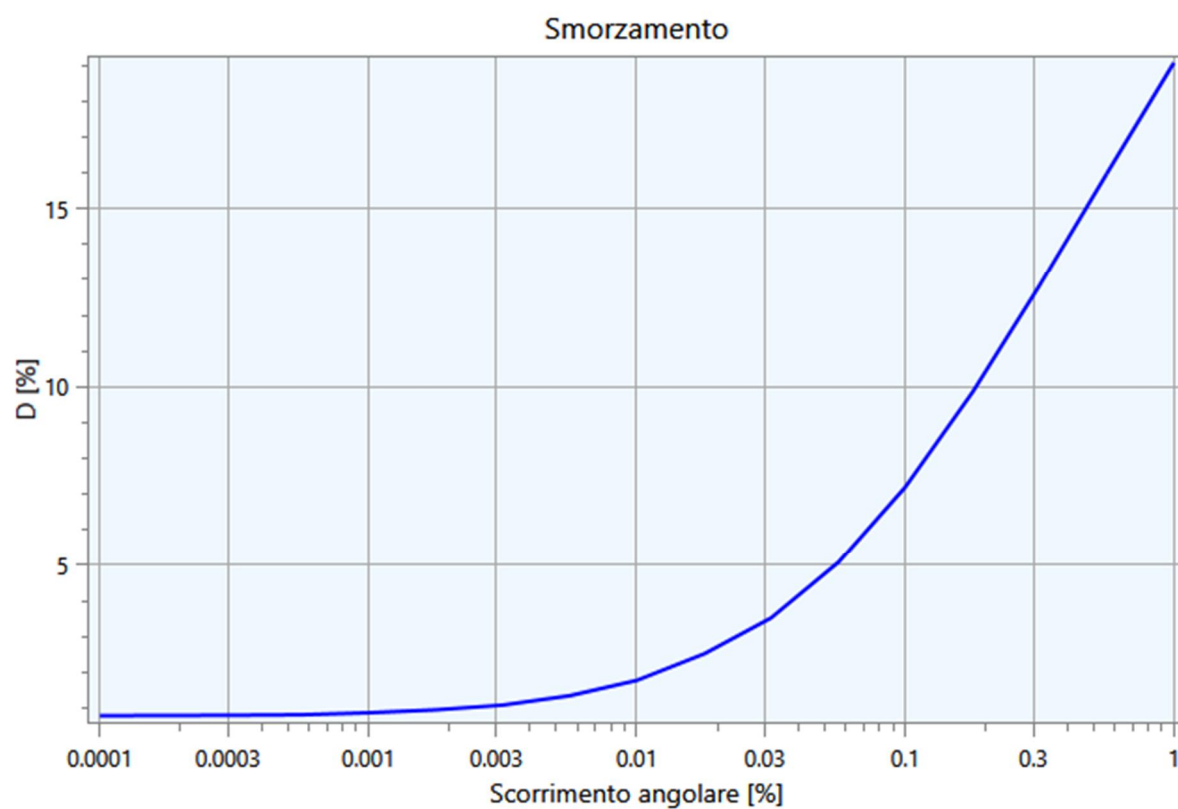
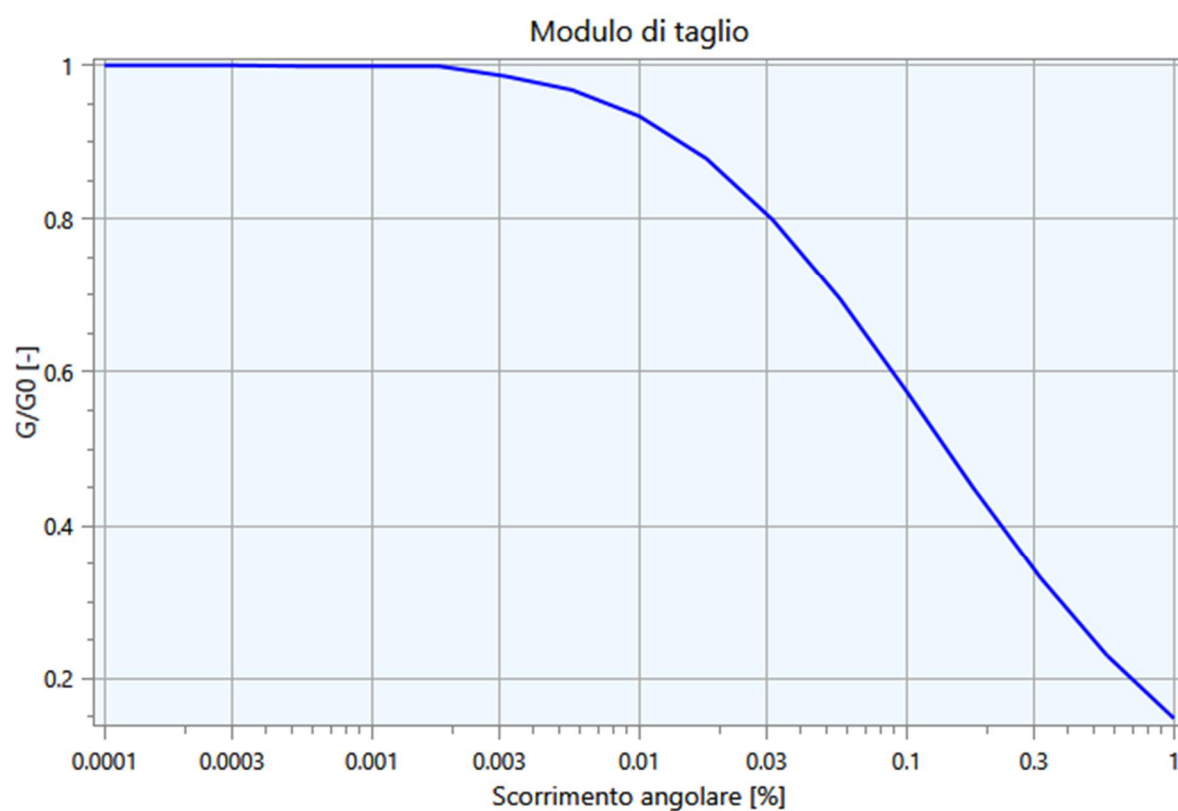
**Curva n. 7:** EPRI (93), 50-120 ft



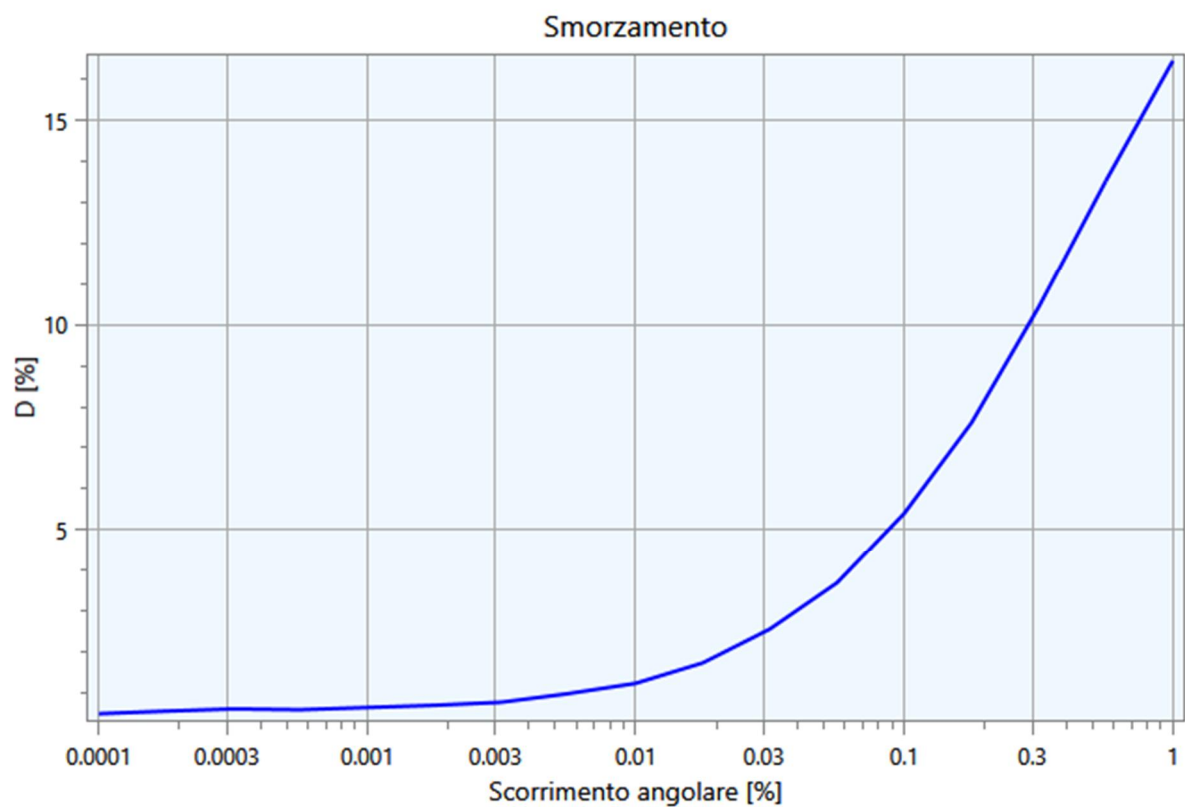
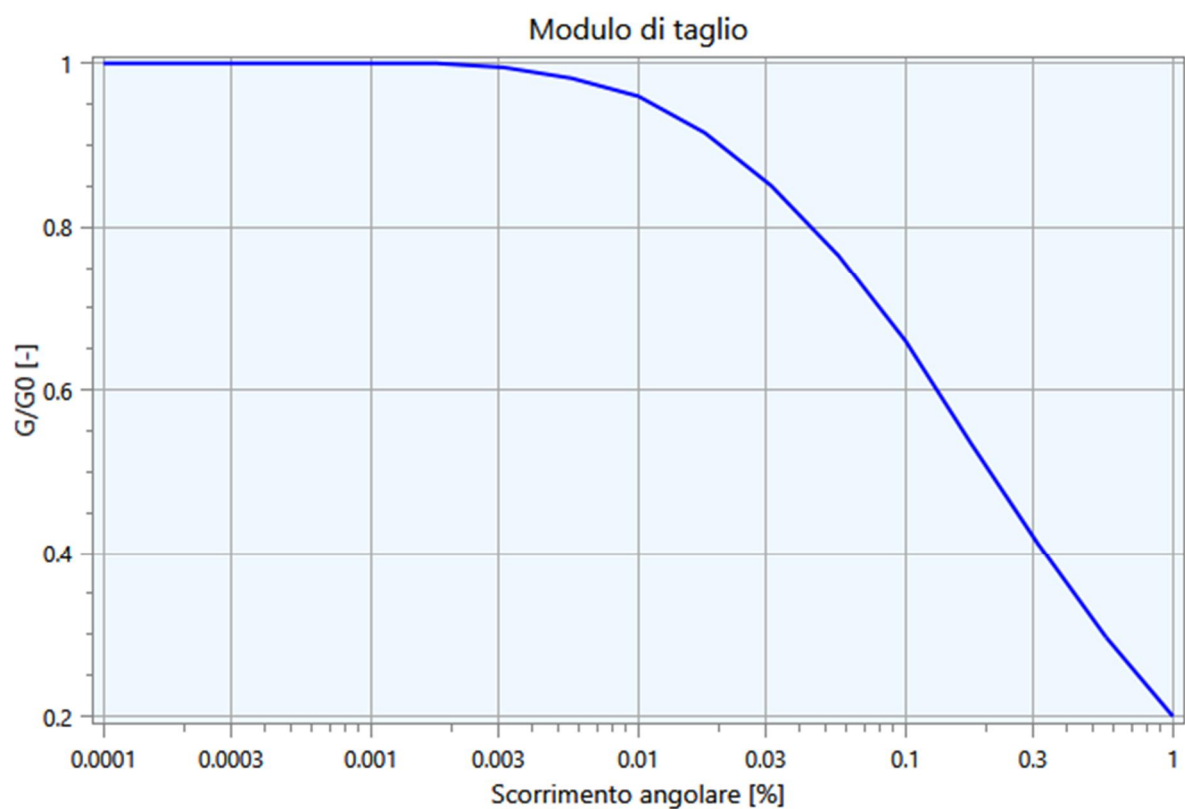
**Curva n. 8:** EPRI (93), 120-250 ft

**Curva n. 9:** EPRI (93),  $PI=10$



**Curva n. 10:** EPRI (93), 250-500 ft

**Curva n. 11:** EPRI (93), 500-1000 ft





## 4.2 – Profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m e profilo di Vs profondo

Per il profilo di velocità delle onde di taglio Vs si è fatto riferimento ad una prova penetrometrica con cono sismico eseguita nel 2013 (rif. U82-13) all'interno dell'area di studio ovvero del complesso dell'azienda agricola Punto Verde di Migliaro. In **FIGURA 4.3.** viene riportata l'ubicazione di tutte le indagini svolte dallo scrivente in questi anni.



**FIGURA 4.3.** – ubicazione di tutte le indagini storiche eseguite dallo scrivente nello stabilimento della Punto Verde.

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U82-13	CPTU1

COMMITTENTE: Soc Agr Punto Verde s.s.

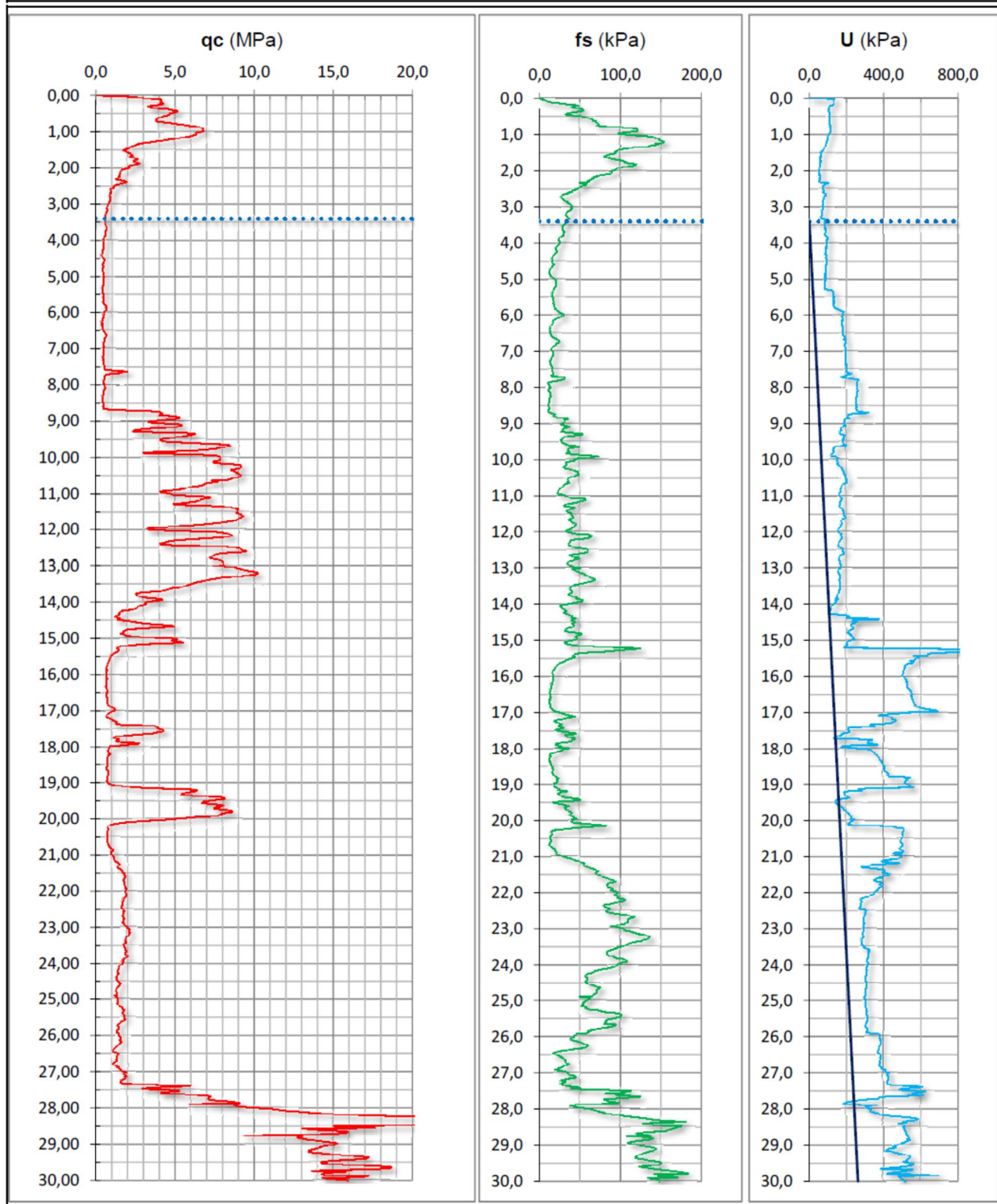
CANTIERE: Migliaro Fe

DATA: 09/03/2013

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,40

PREFORO (m da p.c.): 0,00



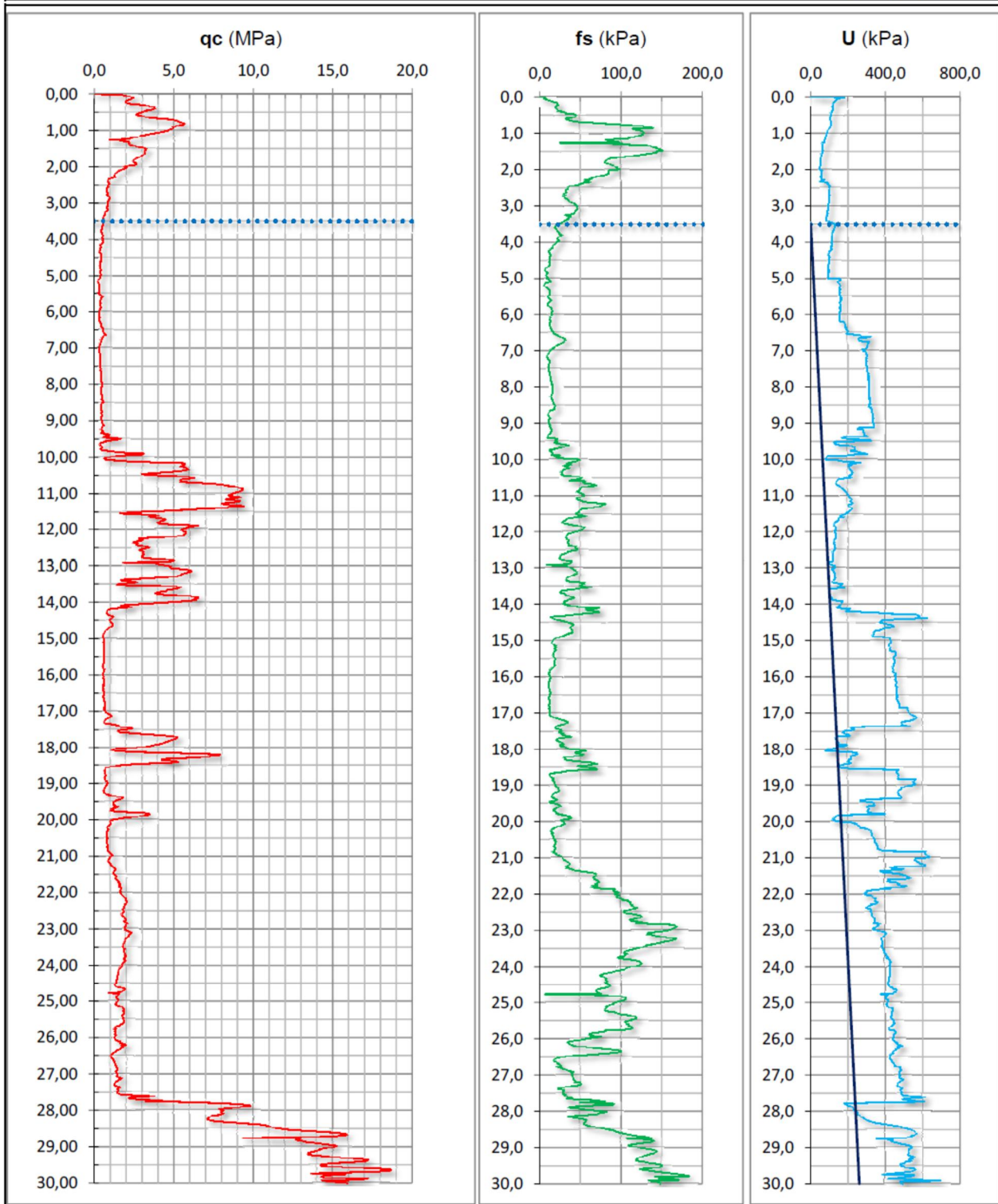
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U82-13	SCPTU2

COMMITTENTE: Soc Agr Punto Verde s.s.  
CANTIERE: Migliaro Fe  
DATA: 09/03/2013

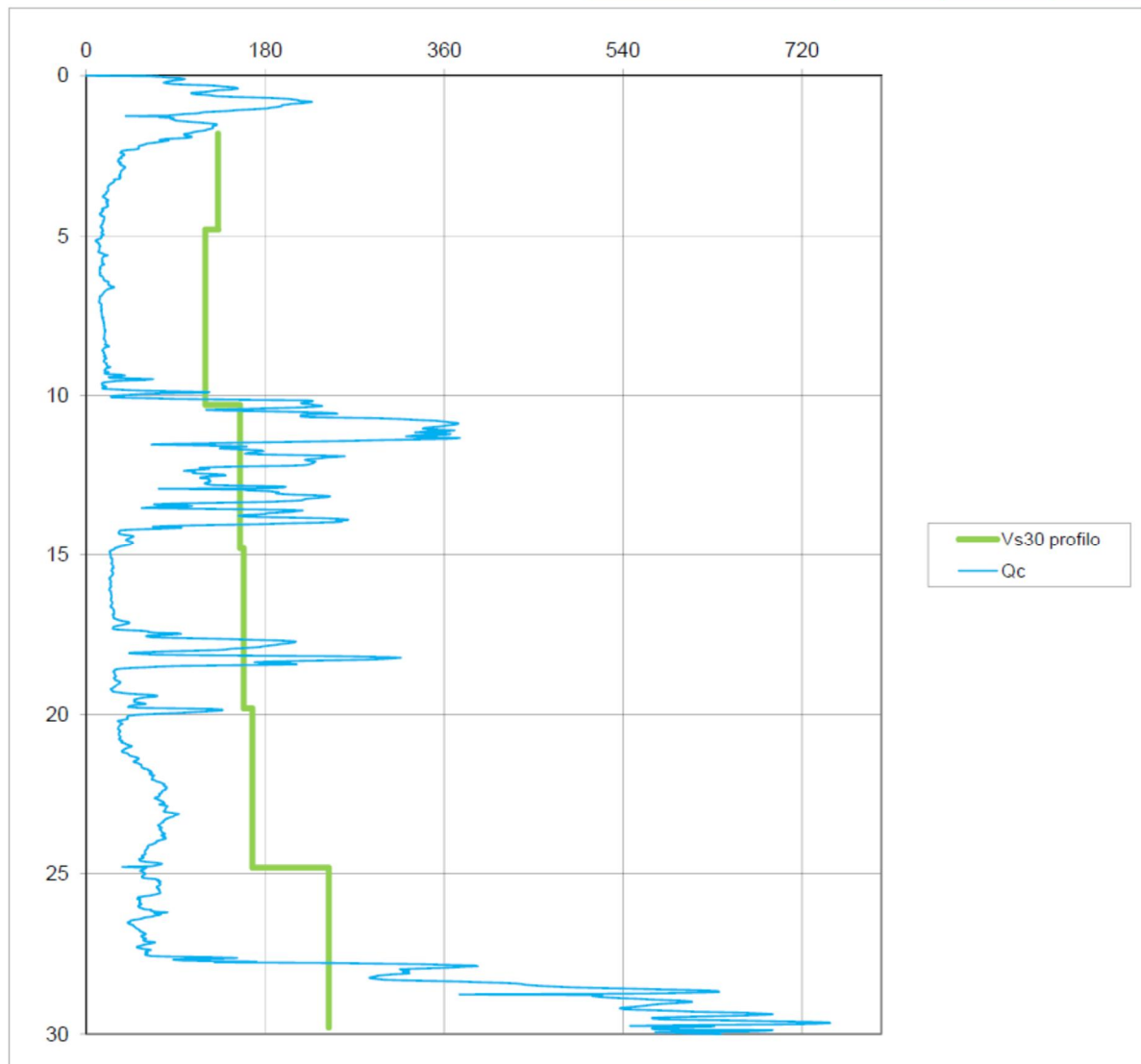
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,50  
PREFORO (m da p.c.): 0,00





Dott. Geol. Thomas Veronese

Distanza verticale centro sorgente	$\Delta =$	0,25	m			Distanza geofono punta (m)	$\Delta L =$	0,2 m	
Profondità punta (m)	Profondità geofono (m)	Profondità corretta (m)	Tempo di arrivo (mSec)	Tempo picco basso (mSec)	Tempo picco alto (mSec)	Tempo di arrivo Vsi (m/sec)	Picco basso Vsi (m/sec)	Picco alto Vsi (m/sec)	MEDIA (m/sec)
2	1,800	1,817	9,016	11,475	15,164	132,61			
5	4,800	4,807	31,557	36,066	41,393		121,56	113,97	122,71
10,5	10,300	10,303	77,459	81,557	85,656		119,74	120,83	121,58
15	14,800	14,802	106,557	108,606	115,574		154,62	166,33	157,11
20	19,800	19,802	138,115	140,164	147,131		158,42	158,42	158,42
25	24,800	24,801	168,035	170,082	175,410		167,10	167,11	170,34
30	29,800	29,801	188,524	191,393	198,361	244,02	234,61	217,85	232,16
Vs30 =						157	157	154	156



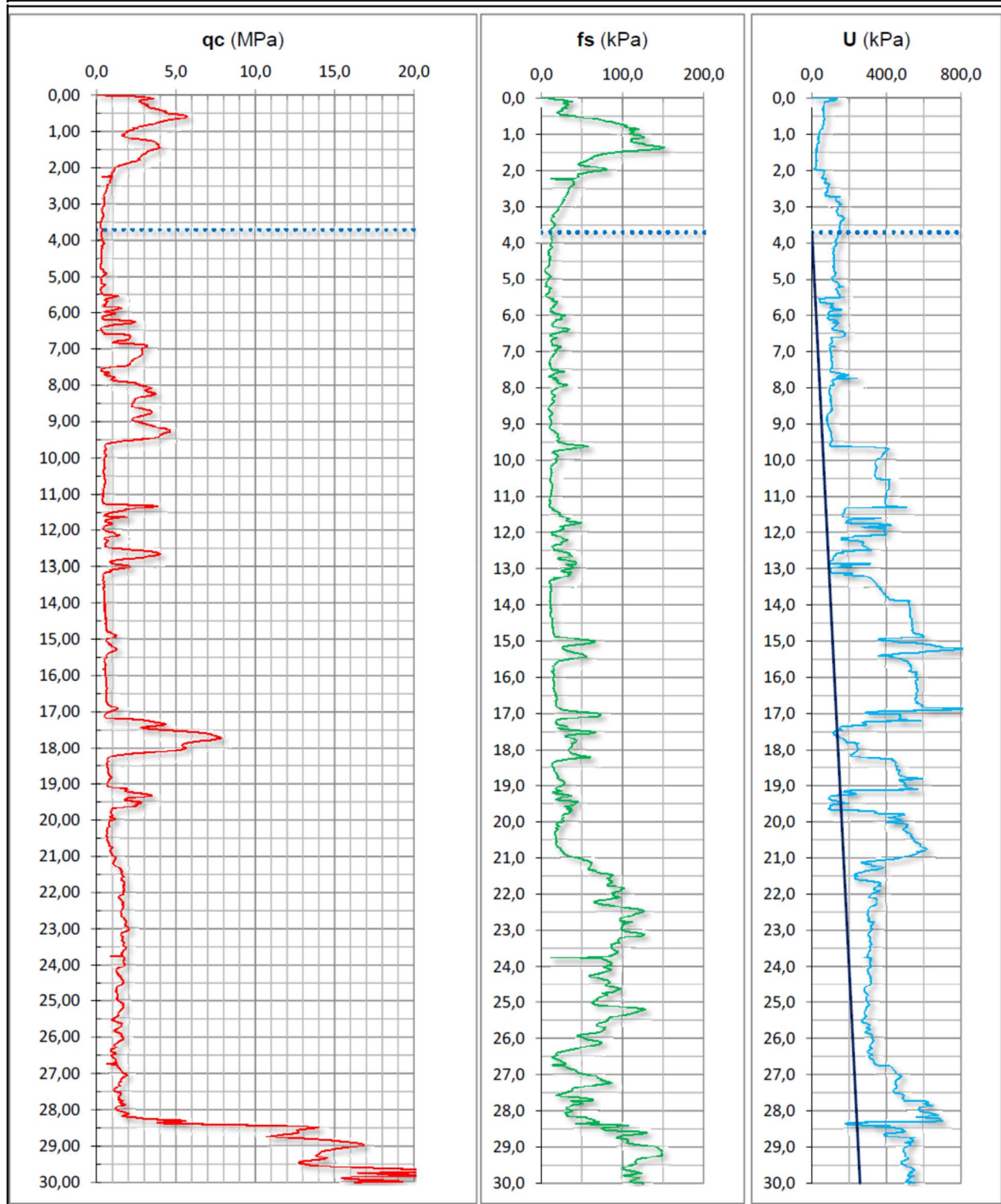
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U82-13	CPTU3

COMMITTENTE: Soc Agr Punto Verde s.s.  
CANTIERE: Migliaro Fe  
DATA: 09/03/2013

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,70  
PREFORO (m da p.c.): 0,00



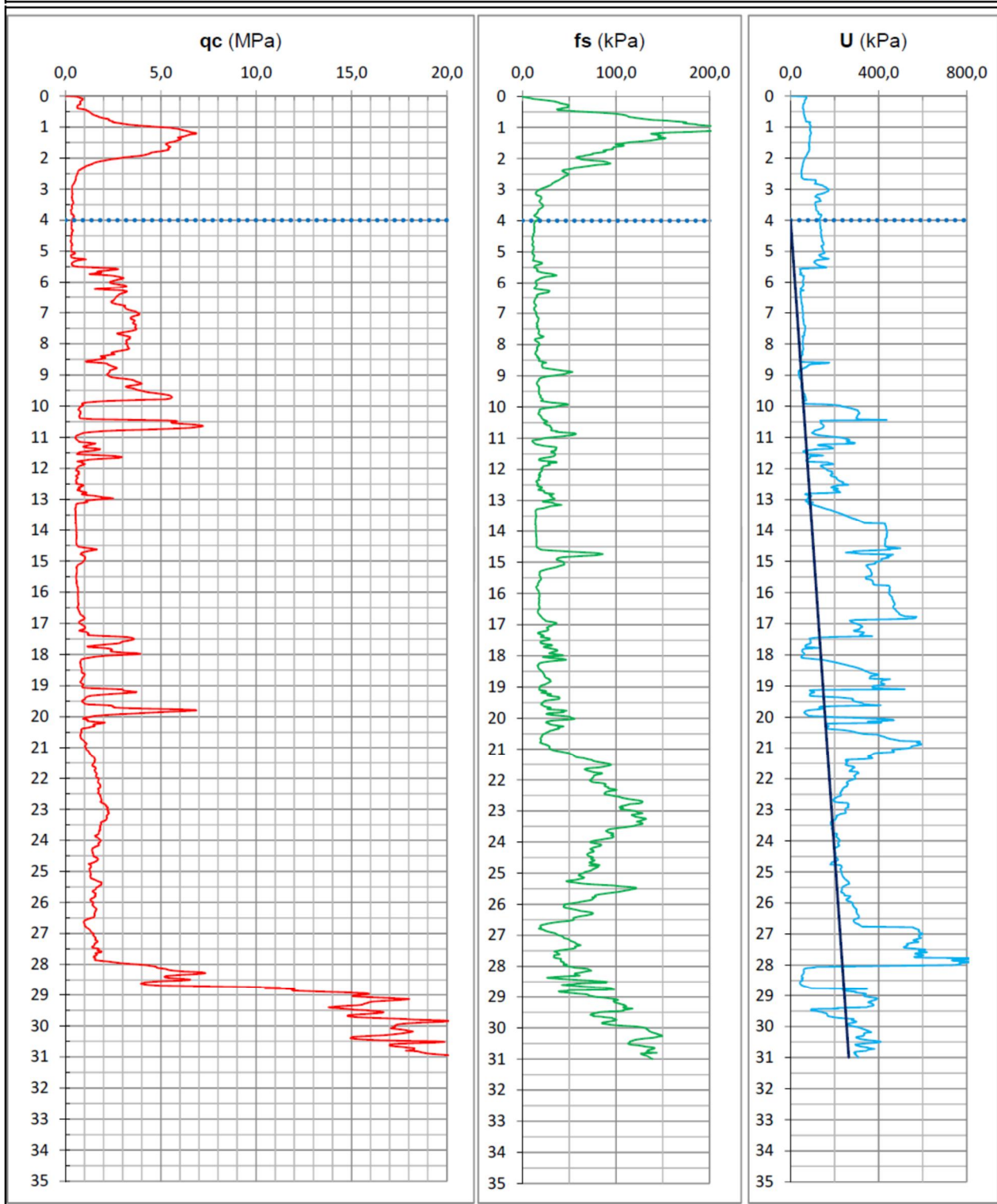
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U14-22	CPTU1

COMMITTENTE: Immobiliare Migliaro S.r.l.  
CANTIERE: via Punta, Migliaro (Fe)  
DATA: 14/02/2022

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 4,00  
PREFORO (m da p.c.): 0,00



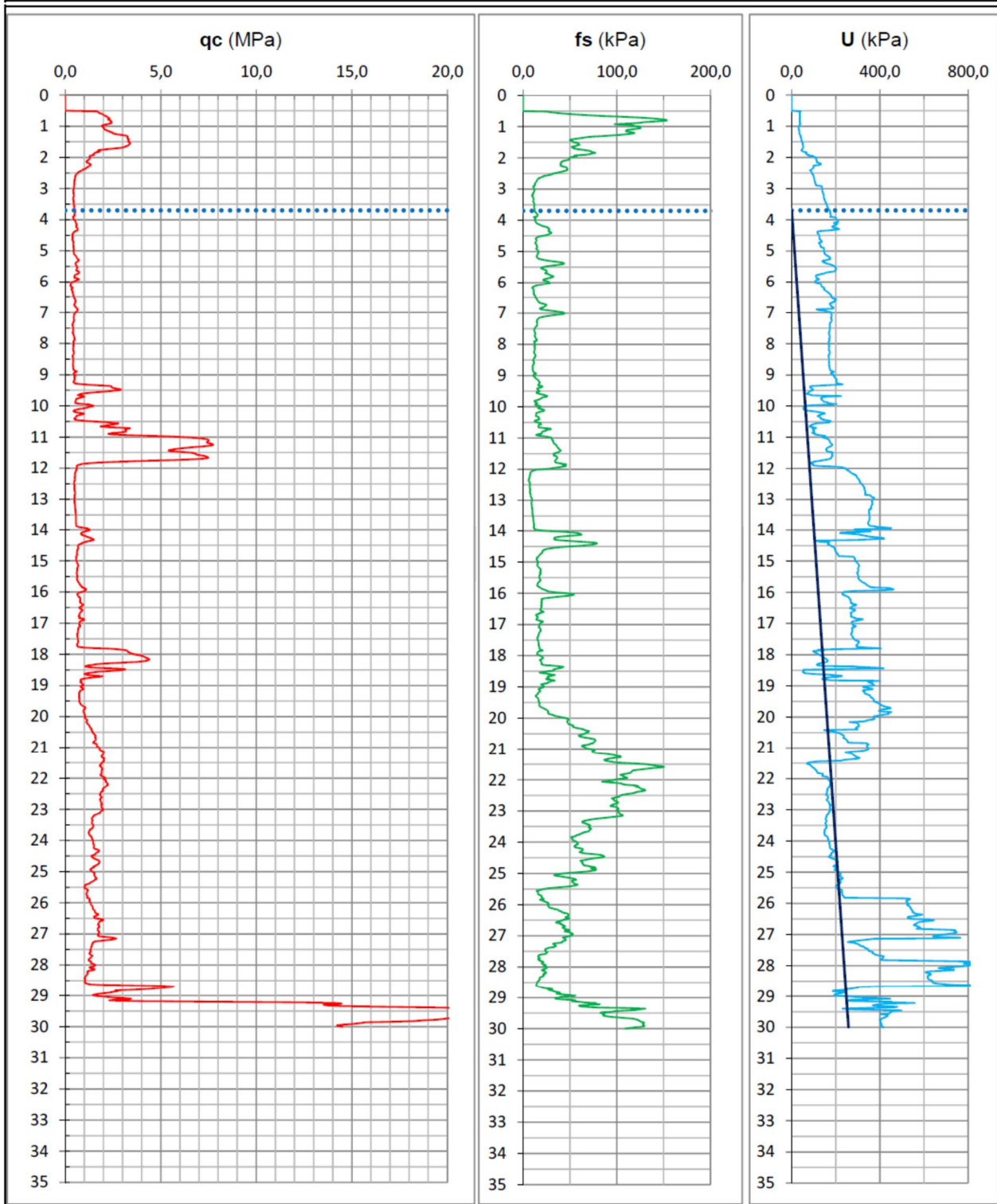
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U14-22	CPTU2

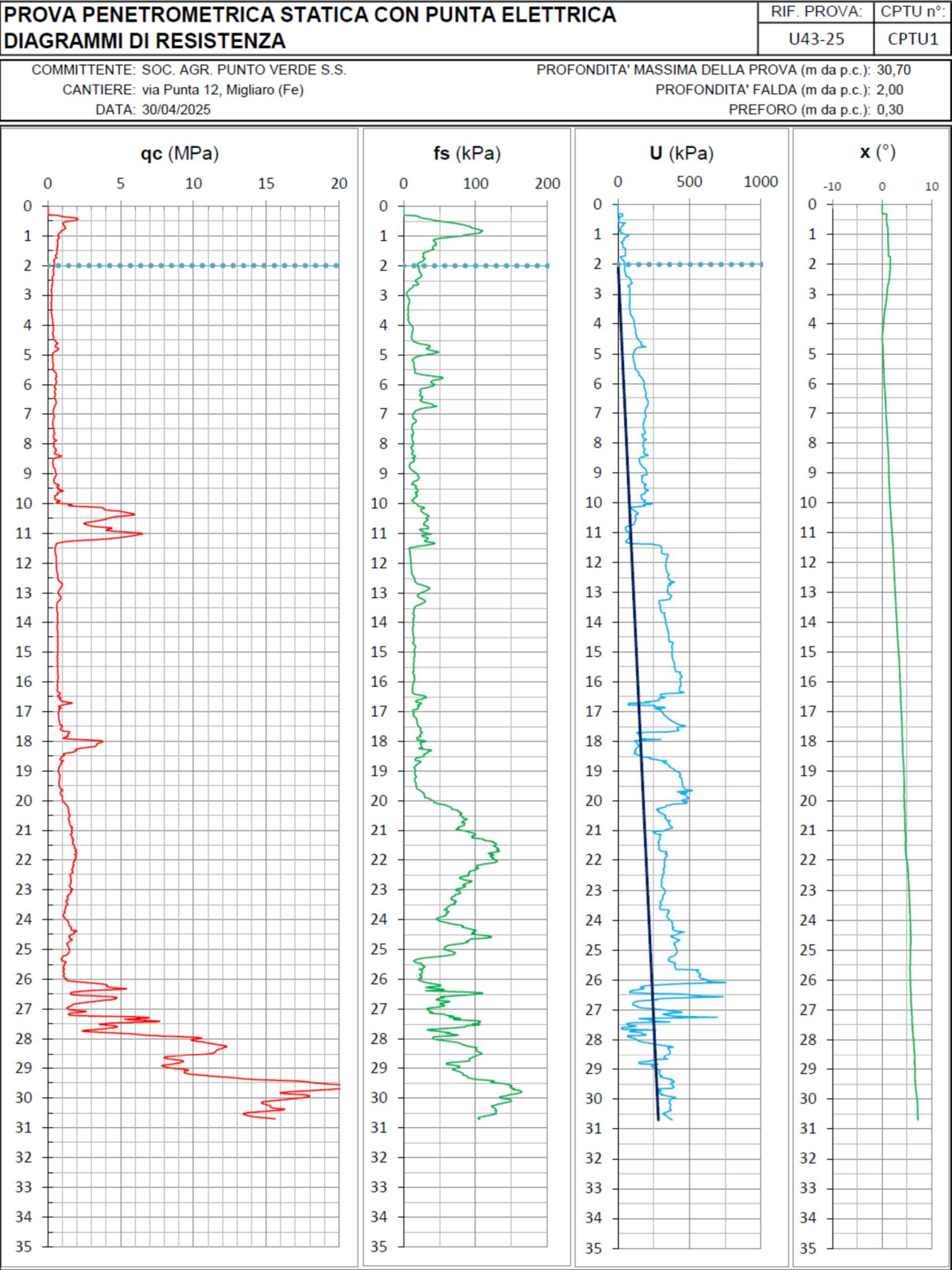
COMMITTENTE: Immobiliare Migliaro S.r.l.  
CANTIERE: via Punta, Migliaro (Fe)  
DATA: 14/02/2022

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,70  
PREFORO (m da p.c.): 0,50



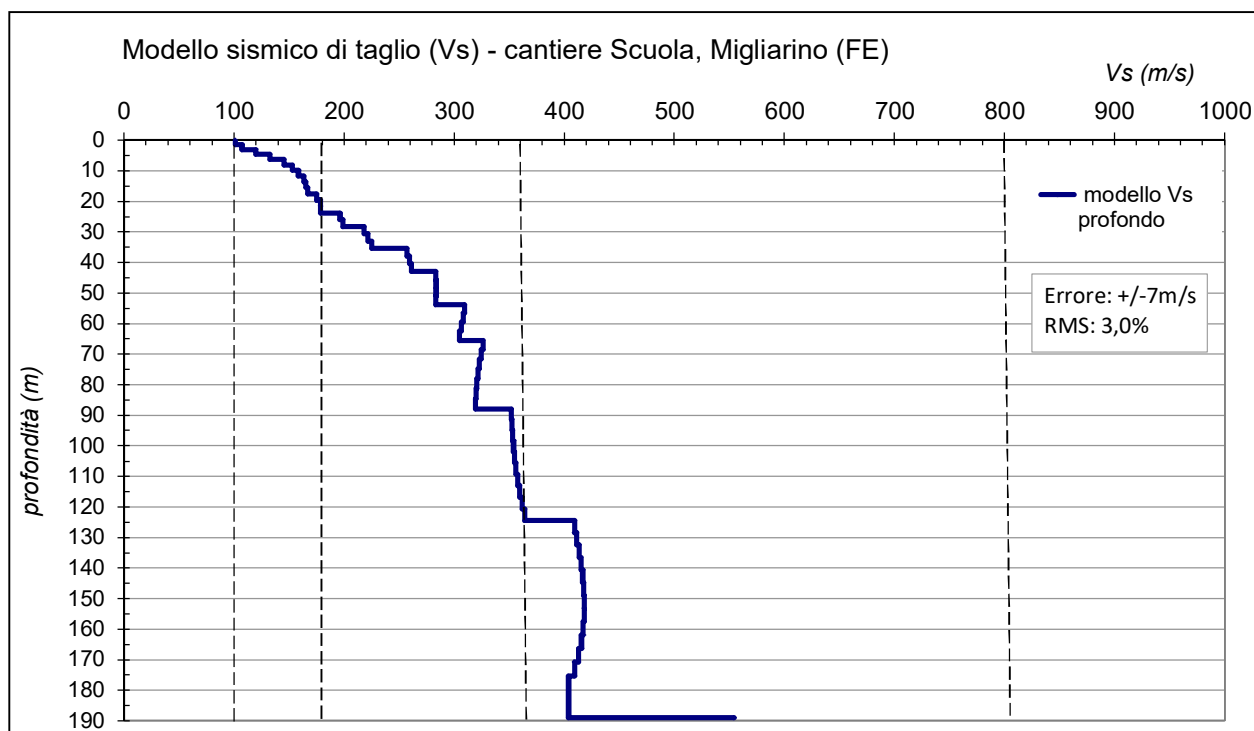


DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)



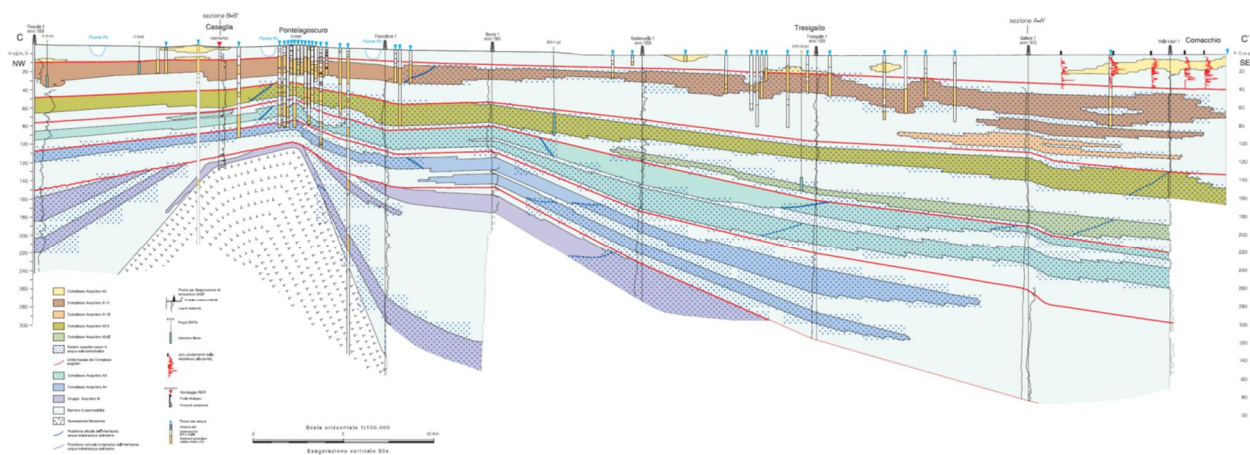


Per il profilo di Vs profondo si adotta quello misurato e interpretato dalla ditta specializzata Team Geofisica srl del dott. Nasser Abu Zeid presso la scuola di Migliarino, in quanto il contesto stratigrafico profondo poco si discosta da quello locale. Per i tempi ristretti in cui è stata commissionata questa relazione, questa è la migliore assunzione che si possa fare.

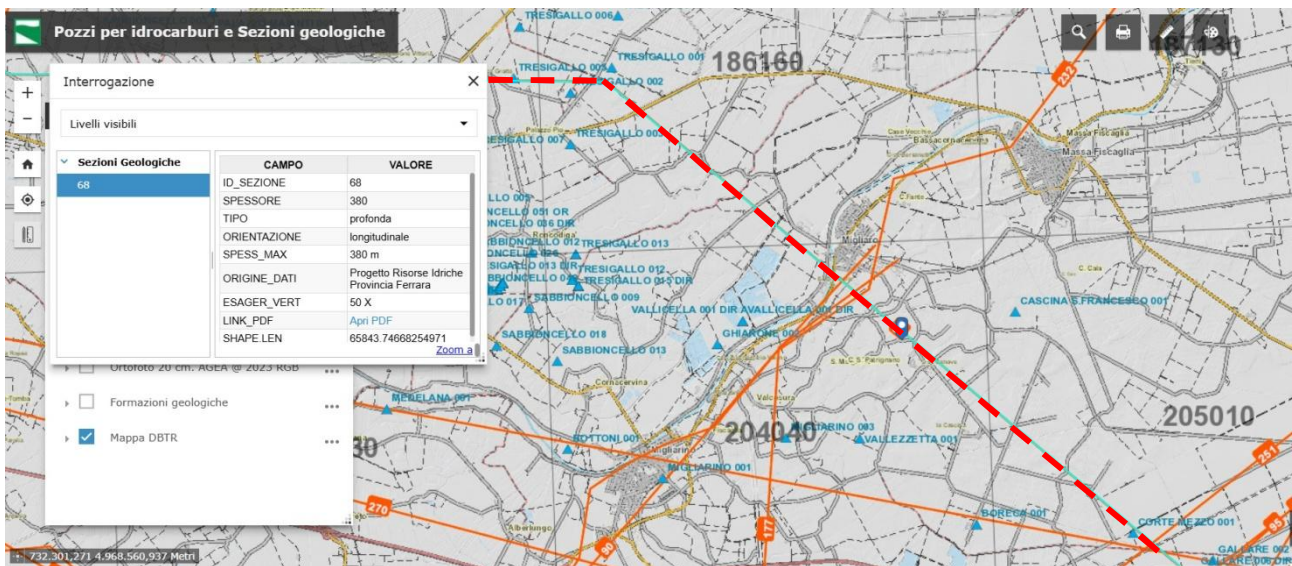


**FIGURA 4.4.** – profilo di Vs profondo adottato per lo studio di RSL della Punto Verde a Migliaro FE.

Per il modello stratigrafico le penetrometrie offrono un ottimo dettaglio, per il modello stratigrafico profondo si fa riferimento alla sezione 68 passante per Migliaro, scaricata dalla banca dati regionale delle sezioni geologiche.(**FIGURA 4.5.**); l'ubicazione della sezione riportata è in **FIGURA 4.6.**.



**FIGURA 4.5.** – Sez. 068 - Modello geologico profondo per lo studio di RSL della Punto Verde a Migliaro FE.



**FIGURA 4.6.** – Ubicazione della sezione utilizzata per il modello geologico profondo per lo studio di RSL della Punto Verde a Migliaro FE.

Per la definizione del modello stratigrafico ci si aiuta anche con la stratigrafia di un pozzo reperita in banca dati regionale:

<b>COMITGEO - Via Perini 66 - Trento</b>	
<b>FOGLIO</b> 77	<b>BACINO PRINCIPALE</b> VALLE PADANA
<b>TAV.</b> III NO	<b>BACINO AFFLUENTE</b> 204040 P636 DATO: P
<b>COORDINATE</b> X	QPC: 0,45 m PROFONDITA': 50 m
<b>QUOTA</b> + 2 m	COMUNE: MIGLIARO
<b>PROVINCIA</b> FERRARA	<b>POZZO</b> 1505/43
	<b>COMUNE</b> MIGLIARO - CA' NOVA
<b>Committente</b> COOP AGRICOLA STALLA SOCIALE S.r.c.	<b>Scopo ed uso</b> AGRICOLO
<b>Operatore</b> GRILLANDA - RO FERRARESE	<b>Data esecuzione</b> 1967
<b>2 Caratteristiche tecniche</b>	
<b>Sondaggio</b>	<b>Tubi e Filtri</b>

Profondità		Colonna Stratigr.	Descrizione litologica	Interpretazioni	Quota tetto
Da m	A m				
0	10.0		ARGILLA	FALDA	
10.0	15.0		ARGILLA		
15.0	20.0		ARGILLA - LIMO		
20.0	25.0		ARGILLA MISTA		
25.0	30.0		SABBIA		
30.0	40.0		SABBIA GROSSA		
40.0	48.0		SABBIA GROSSA		
48.0	50.0		SABBIA - ARGILLA		

#### 4.3 - 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 una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:

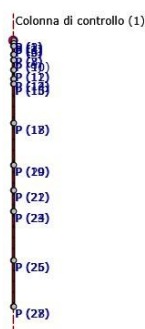


Figura 9. Stratigrafia di progetto.

Di seguito si riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

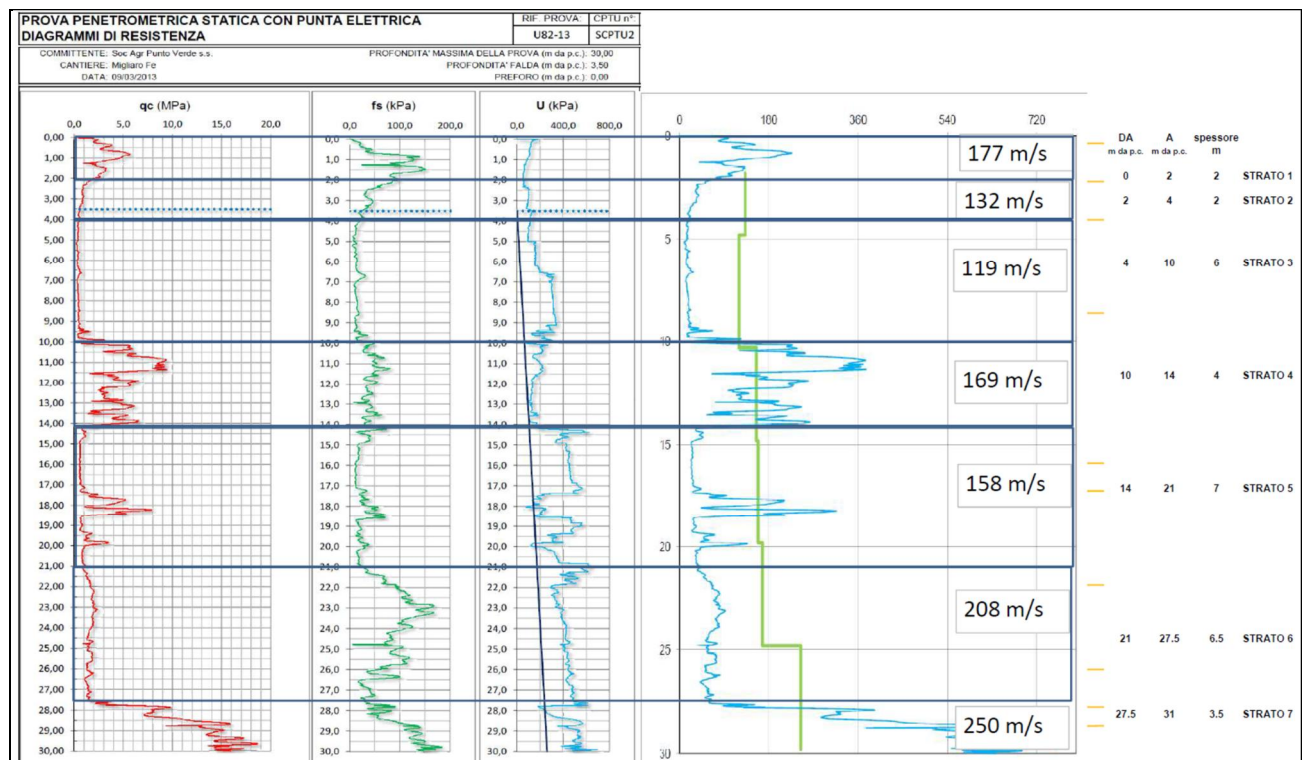
Strato	S [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Curva decadimento
Strato (1)	2.00	1850.00	177.00	Bond Cr1
Strato (2)	2.00	1800.00	132.00	Migliarino SH1
Strato (3)	6.00	1700.00	119.00	Migliarino SH2
Strato (4)	4.00	1850.00	169.00	Migliarino OST3
Strato (5)	7.00	1700.00	158.00	Migliarino SH4
Strato (6)	6.50	1800.00	208.00	Migliarino SH5
Strato (7)	3.50	1850.00	250.00	EPRI (93), 50-120 ft
Strato (8)	28.00	1900.00	282.00	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (9)	30.00	1900.00	320.00	EPRI (93), PI=10
Strato (10)	18.00	1900.00	358.00	EPRI (93), PI=10
Strato (11)	15.00	1950.00	360.00	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12)	35.00	1950.00	416.00	EPRI (93), PI=10
Strato (13)	33.00	2050.00	416.00	EPRI (93), 500-1000 ft

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche strati.

dove:

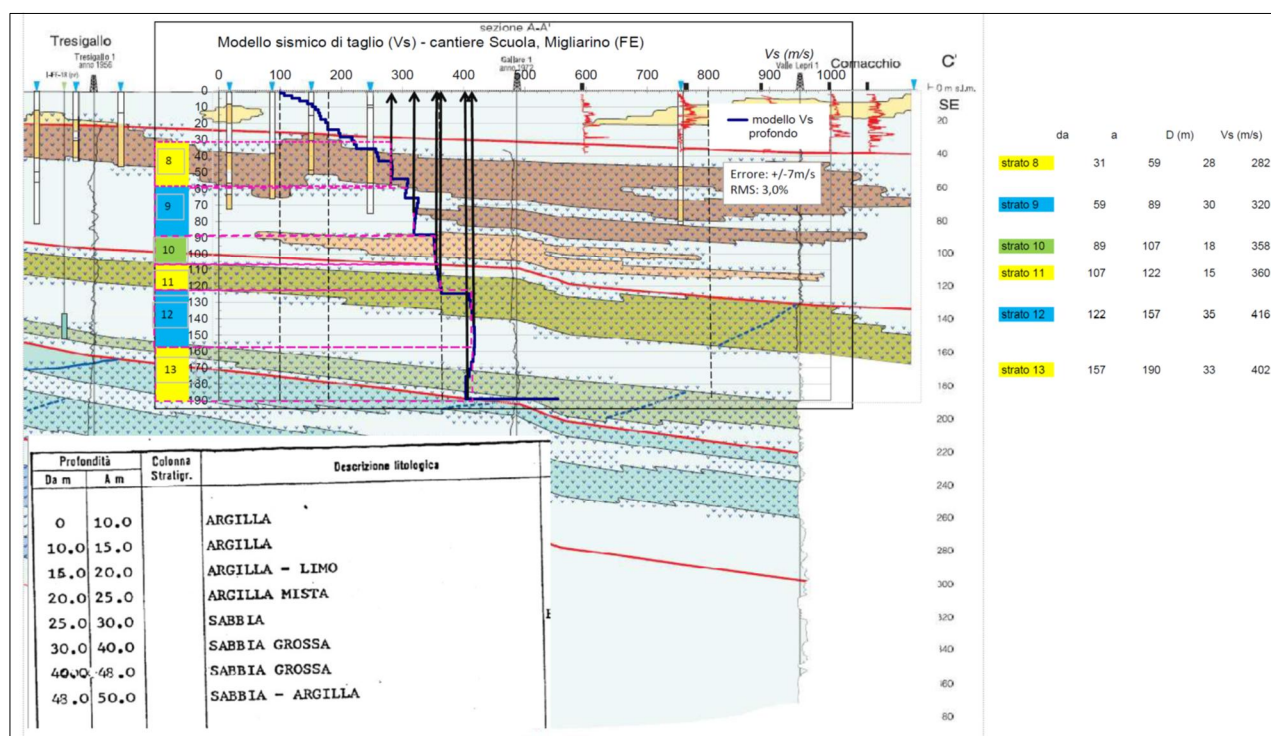
- $S$  = spessore del singolo strato;
- $\rho$  = densità di massa del singolo strato;
- $V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- $\gamma$  = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

Di seguito si riporta in dettaglio il modello profondo 30m, per litologia e per profilo di Vs.



Segue ora il modello profondo con le litologie e il profilo di Vs adottato.





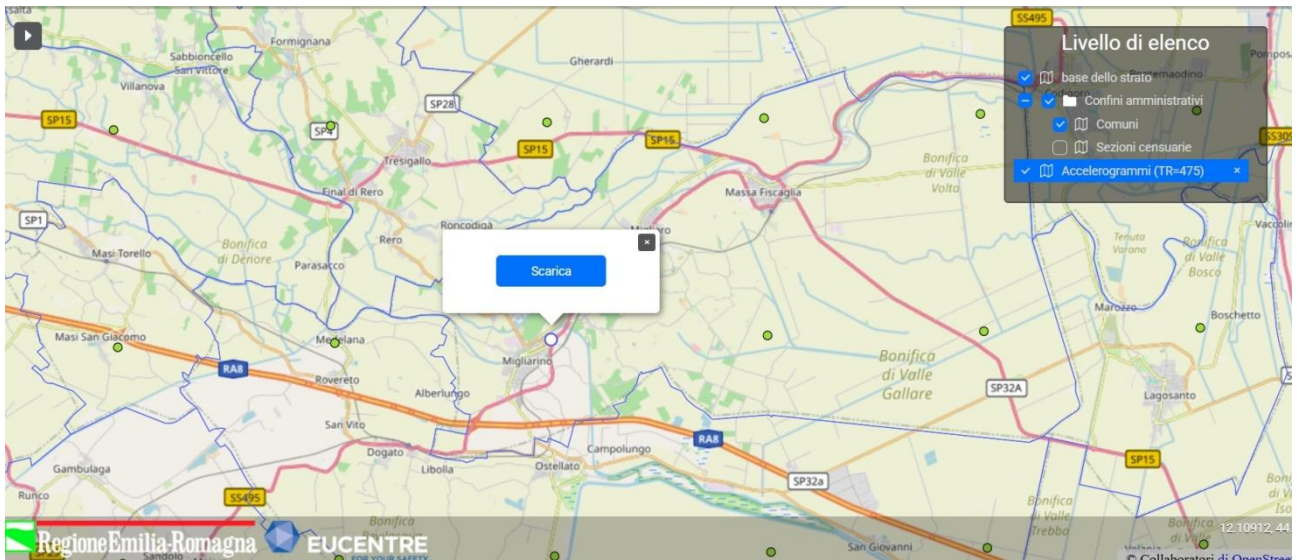
#### 4.4 - Accelerogrammi e Spettri di Input

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:

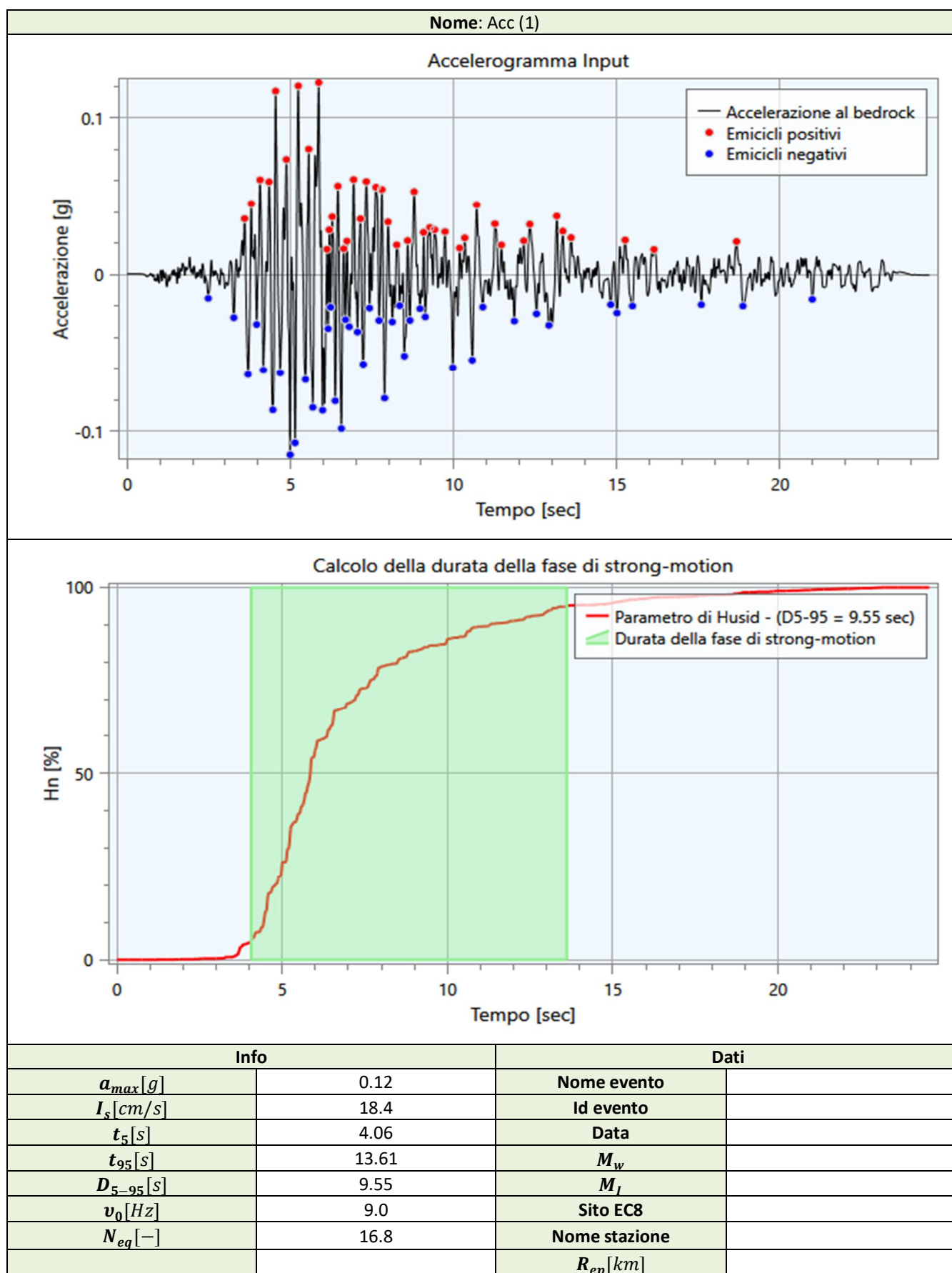
- $a_{max}$  : accelerazione massima;
- $I_S$  : intensità di Arias;
- $t_5$  : istante iniziale della fase di strong motion;
- $t_{95}$  : istante finale della fase di strong motion;
- $D_{5-95}$  : durata della fase di strong motion;
- $v_0$  : frequenza di passaggi per lo zero nella fase di strong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

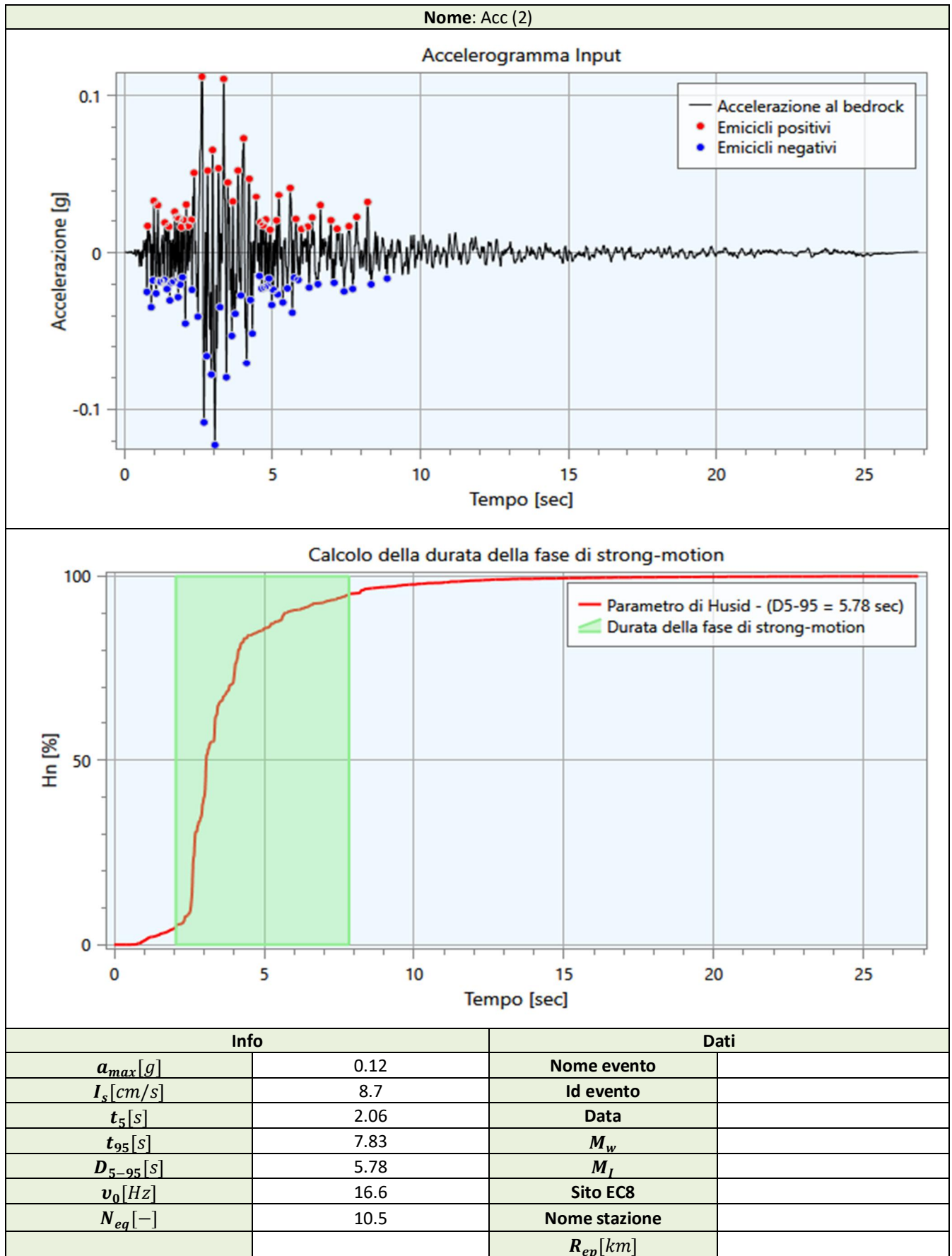
Di seguito si riporta il sito a cui si rimanda negli indirizzi della Regione Emilia Romagna per scaricare la settupla di accelerogrammi da utilizzare per gli studi di risposta sismica locale nella microzonazione sismica.



<https://rer.eucentre.it/mainpage.jsp>

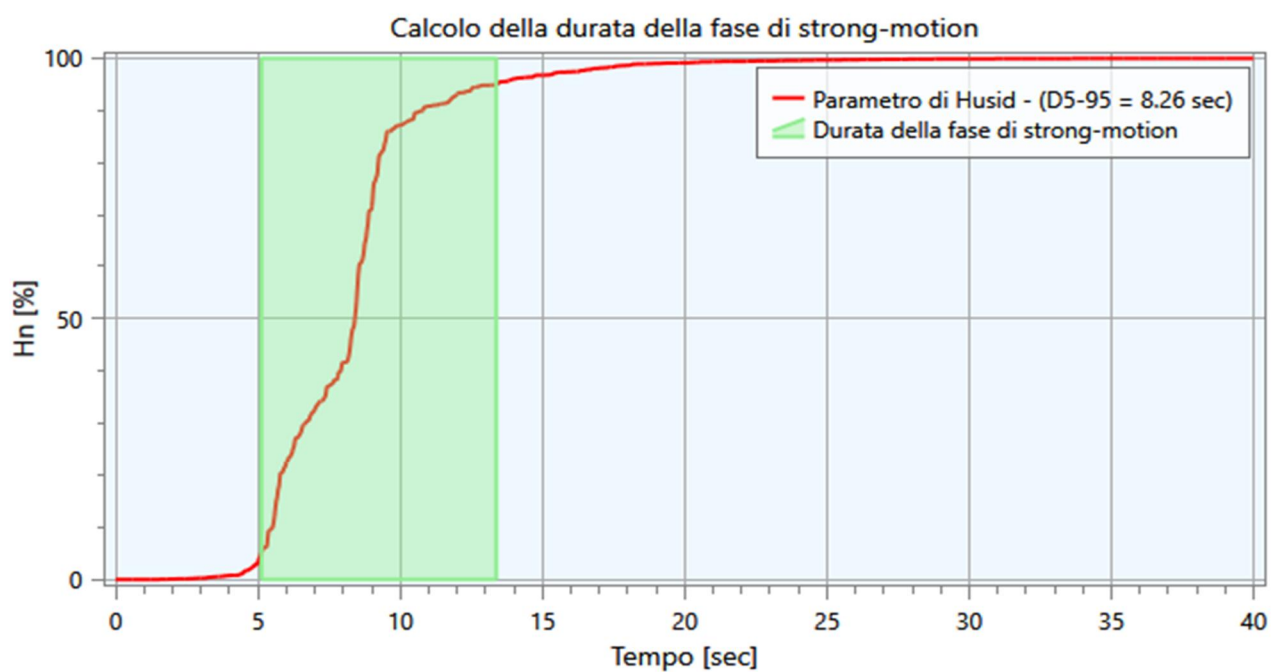
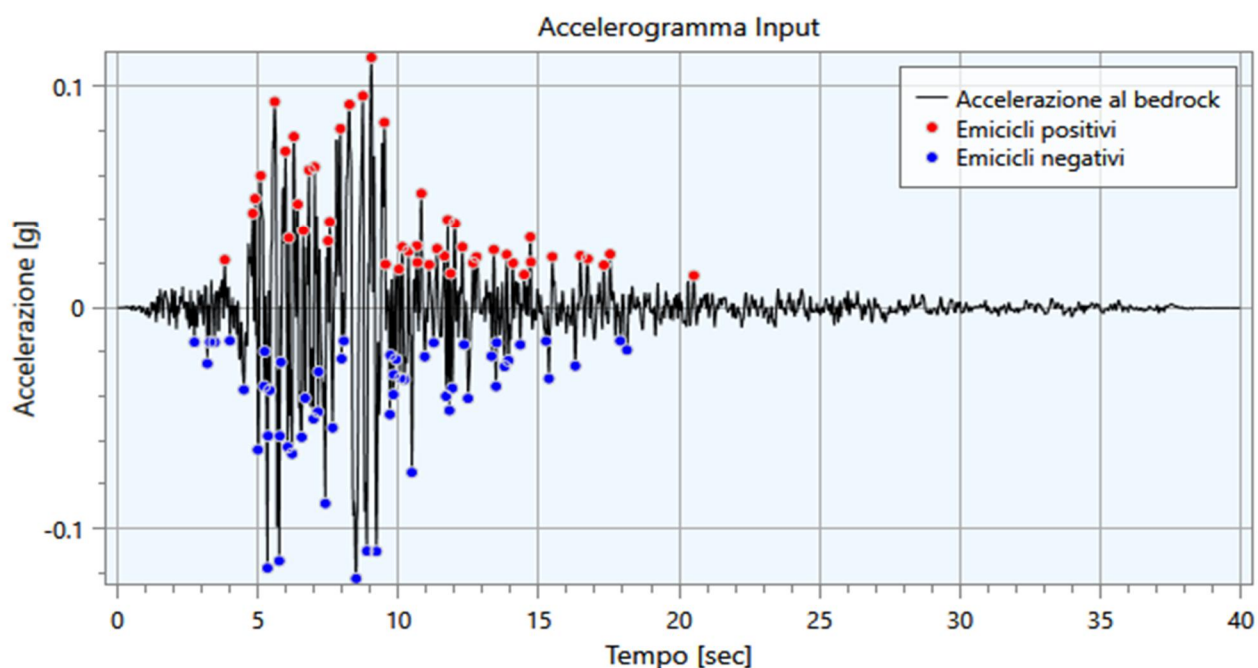
Di seguito si riportano gli accelerogrammi di progetto riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':



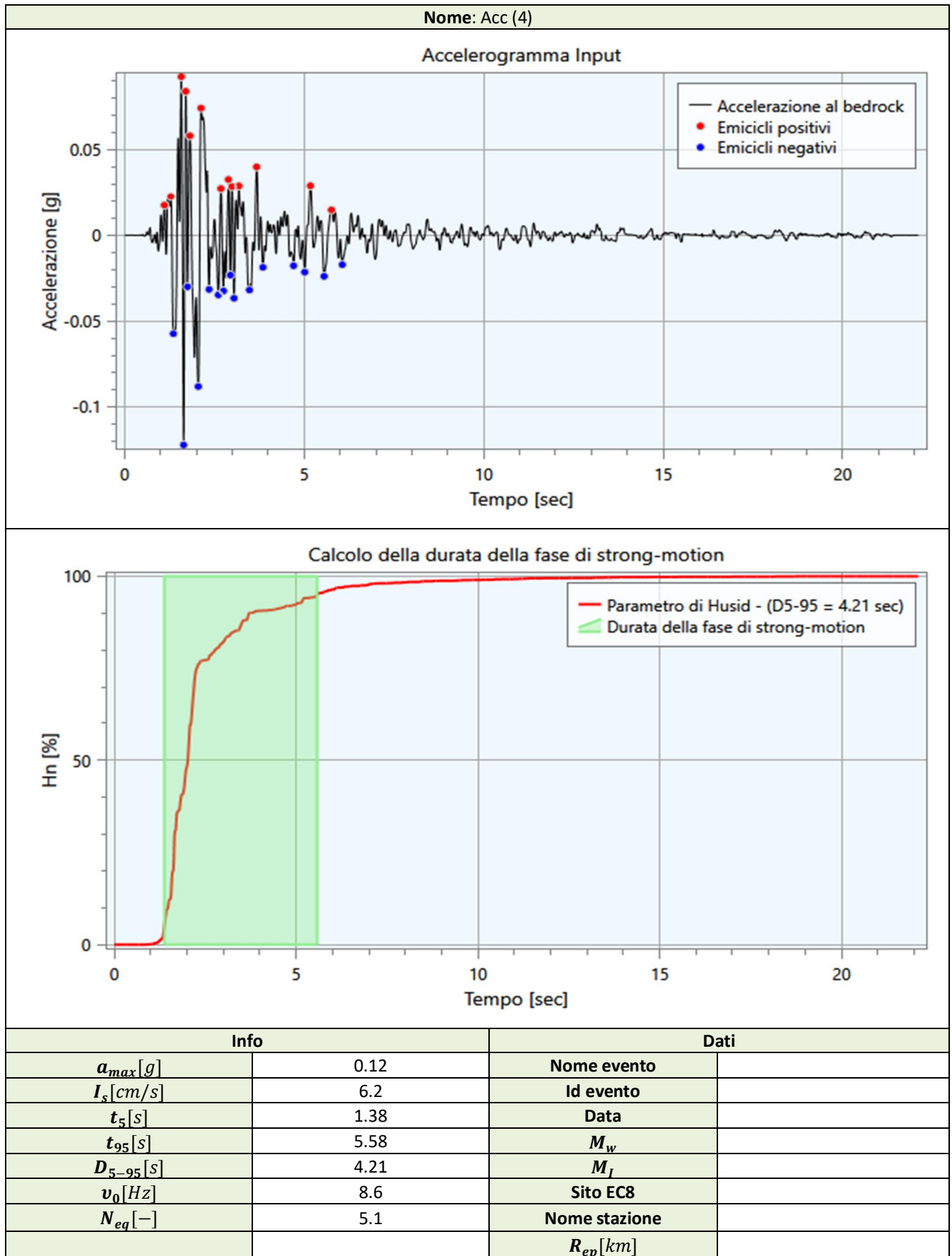


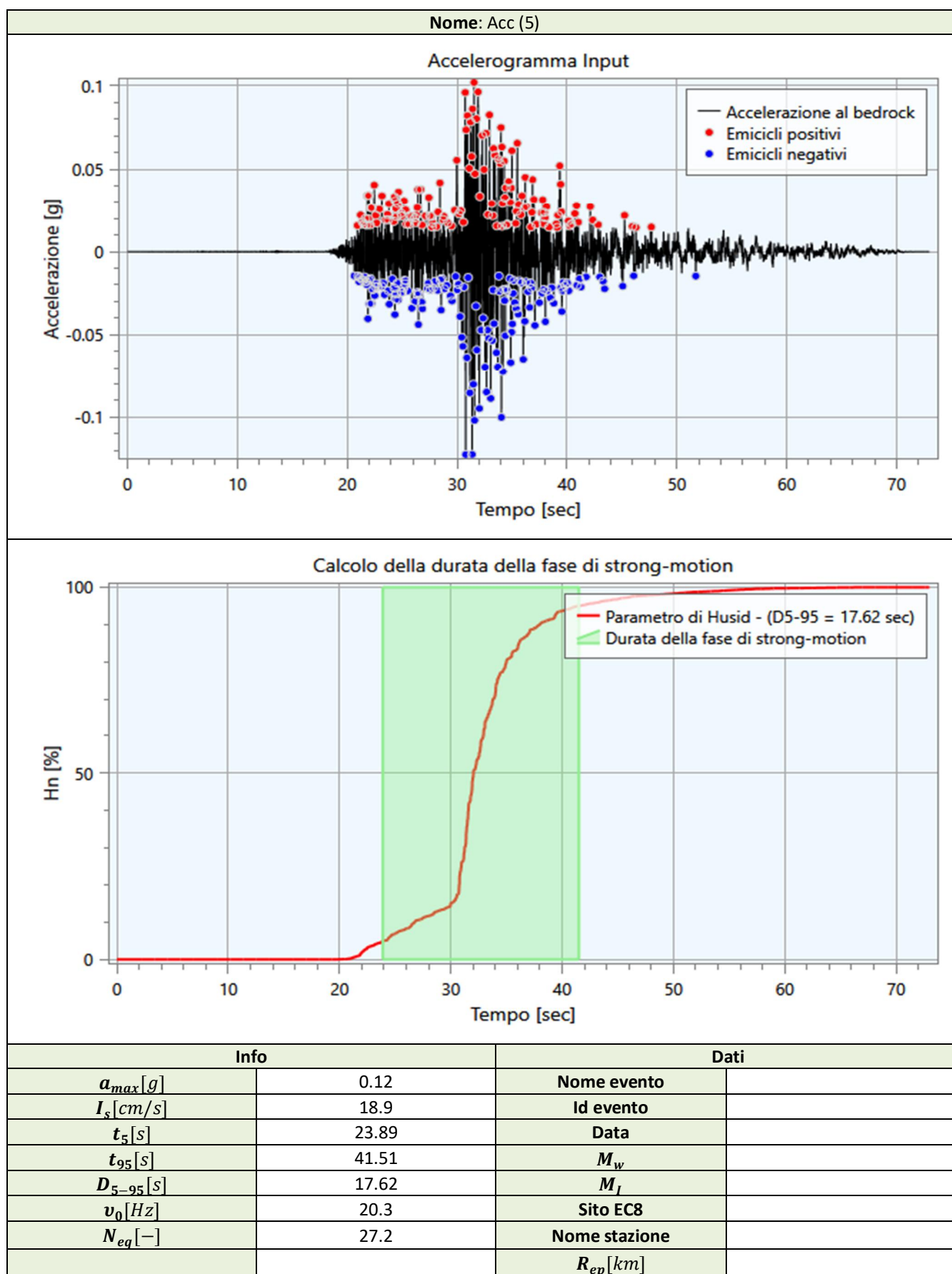


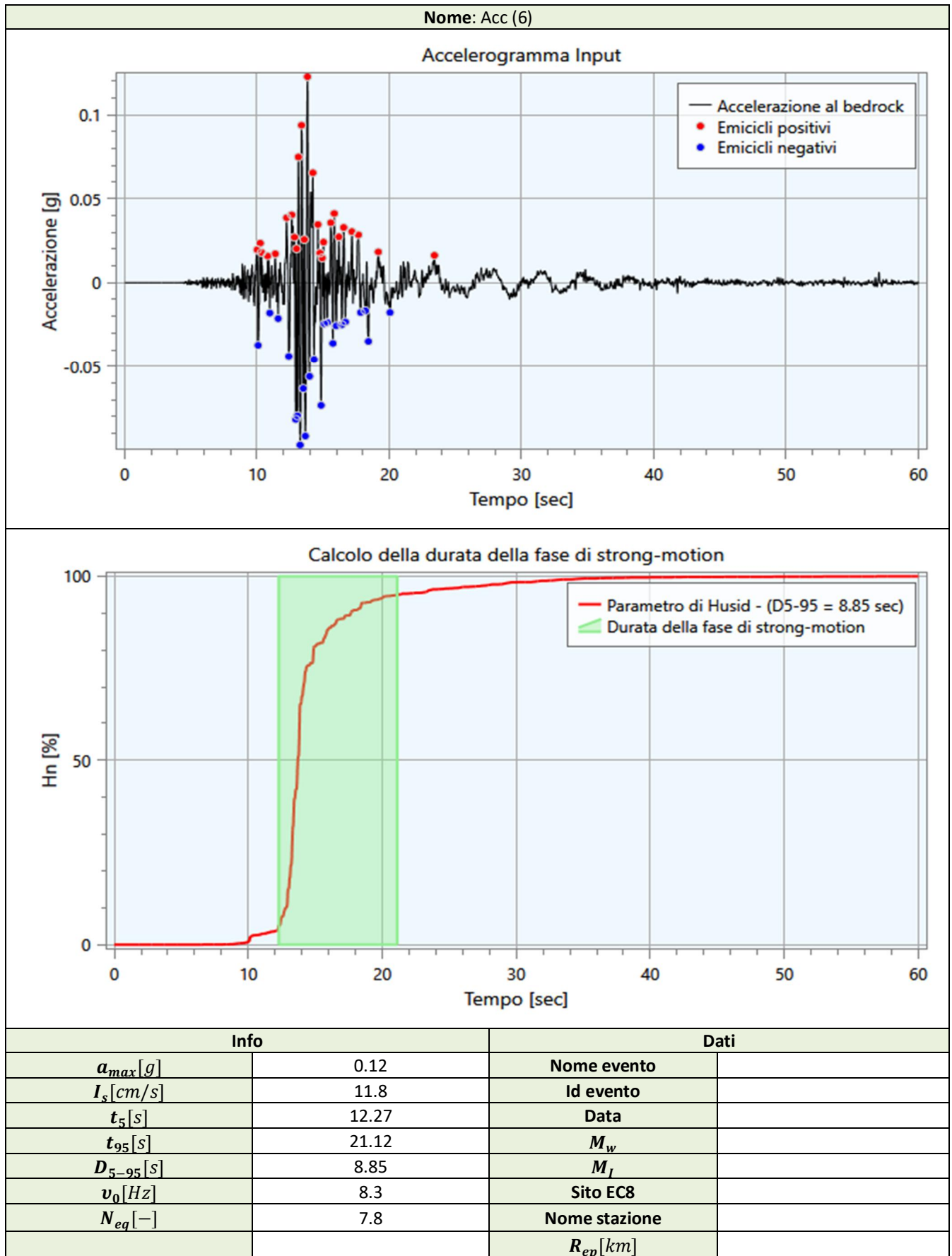
Nome: Acc (3)



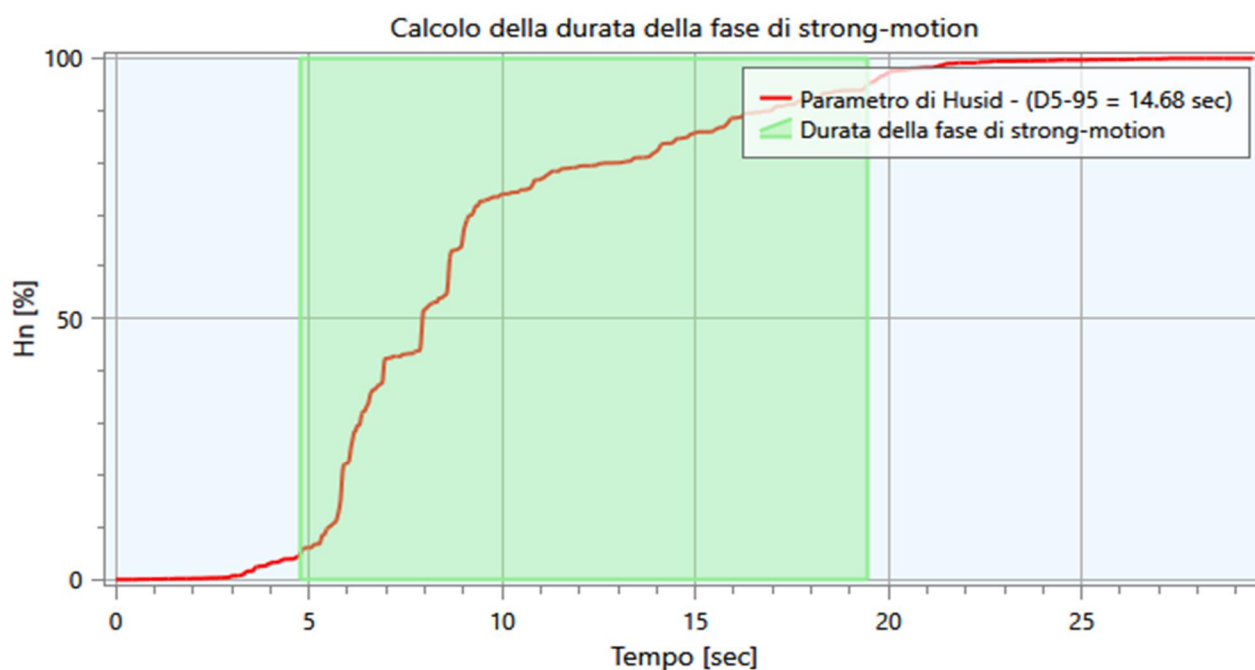
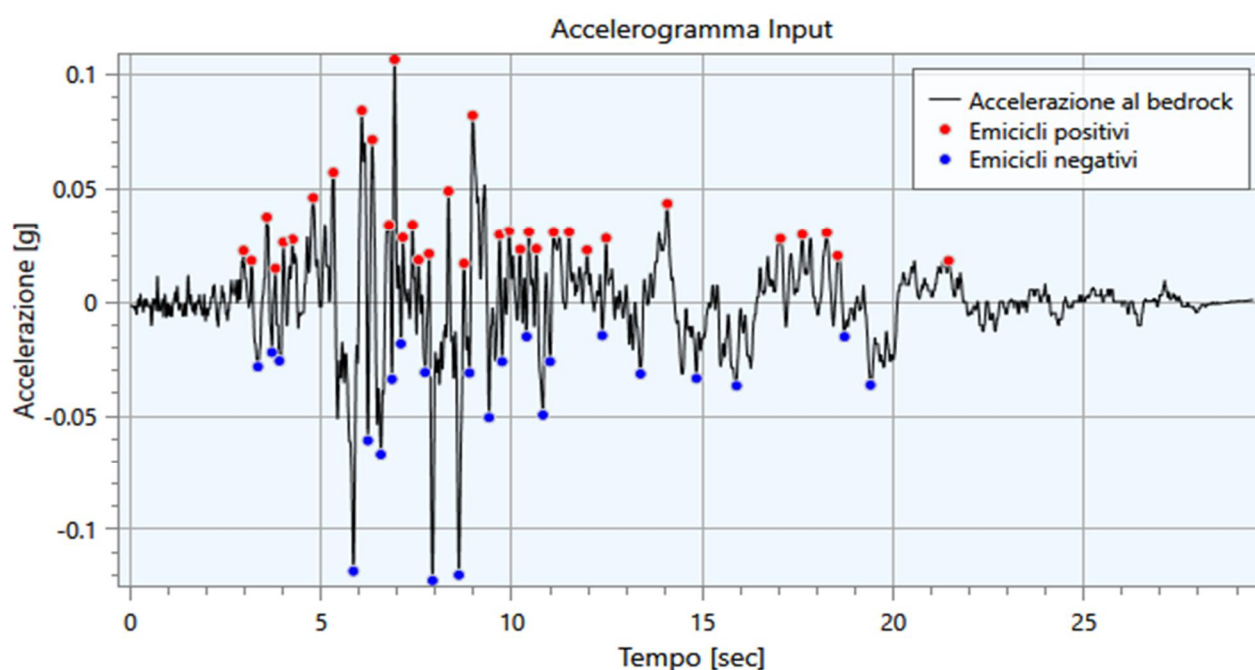
Info		Dati	
$a_{max}[g]$	0.12	Nome evento	
$I_s[cm/s]$	24.6	Id evento	
$t_5[s]$	5.12	Data	
$t_{95}[s]$	13.38	$M_w$	
$D_{5-95}[s]$	8.26	$M_I$	
$v_0[Hz]$	10.7	Sito EC8	
$N_{eq}[-]$	18.8	Nome stazione	
		$R_{ep}[km]$	







Nome: Acc (7)



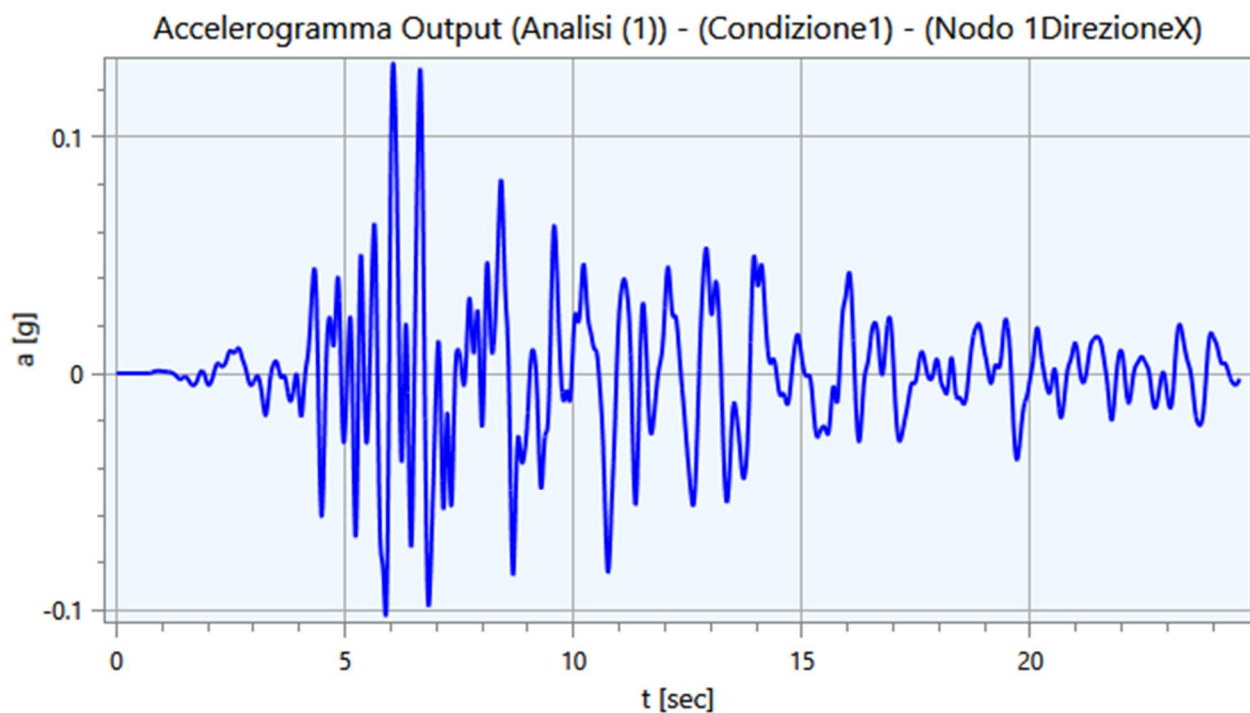
Info		Dati	
$a_{max}[g]$	0.12	Nome evento	
$I_s[cm/s]$	18.6	Id evento	
$t_5[s]$	4.78	Data	
$t_{95}[s]$	19.46	$M_w$	
$D_{5-95}[s]$	14.68	$M_I$	
$v_0[Hz]$	5.3	Sito EC8	
$N_{eq}[-]$	9.8	Nome stazione	
		$R_{ep}[km]$	

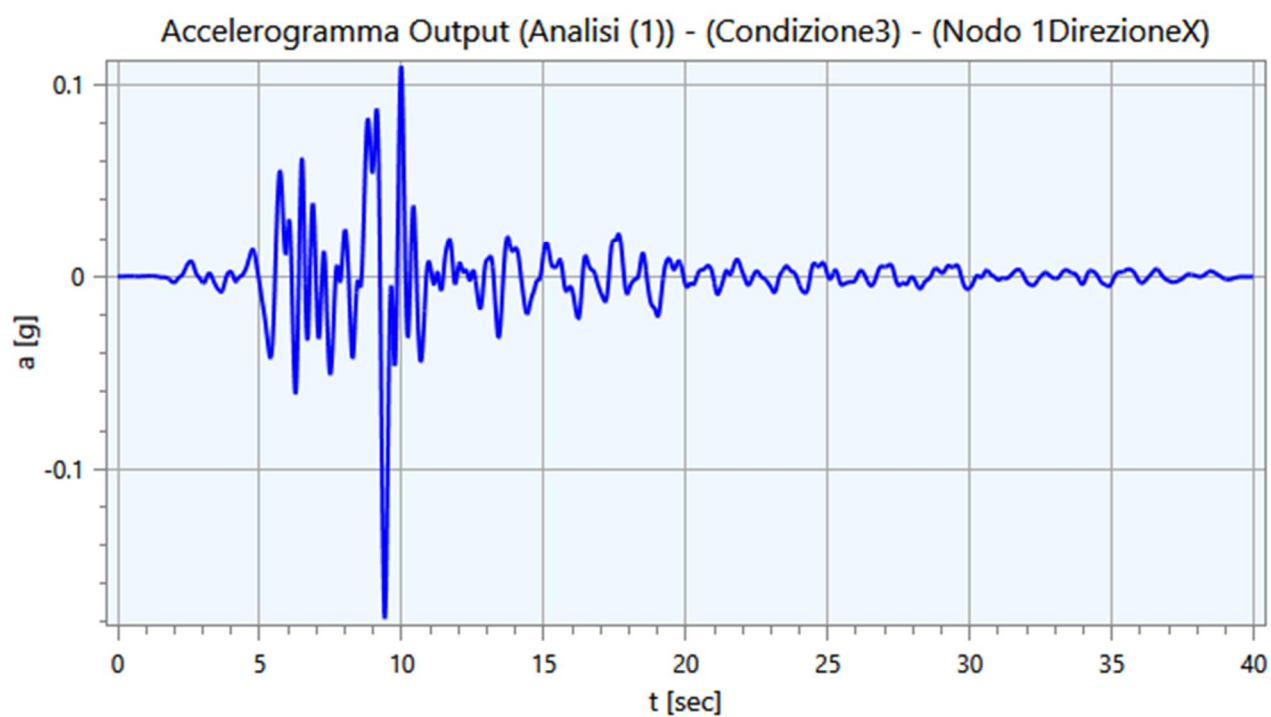
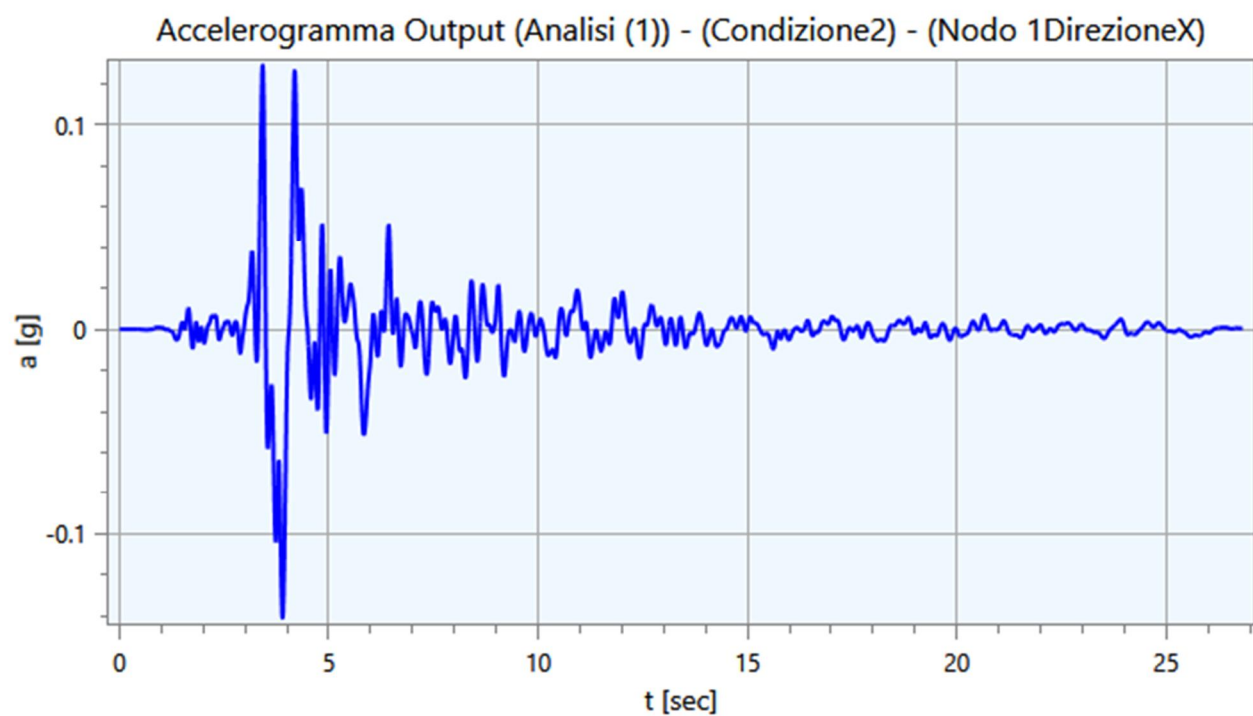
## 5 - Output

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

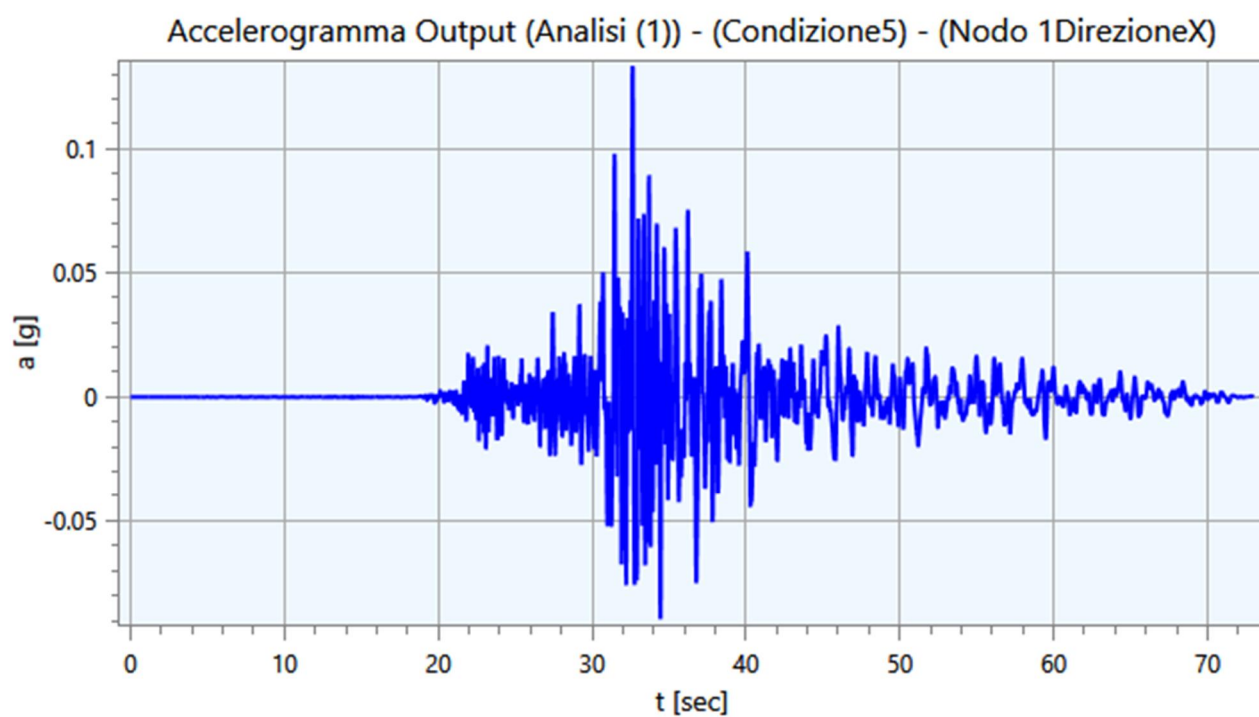
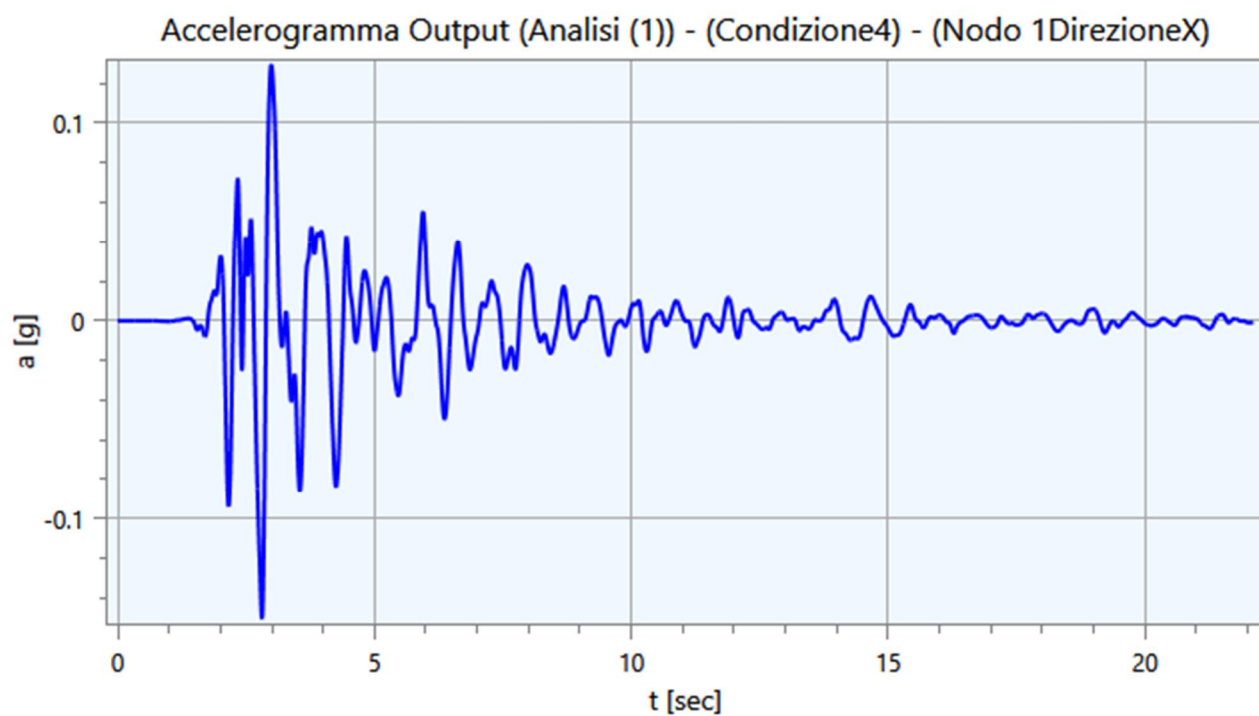
### 5.1 - Accelerogrammi Output

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

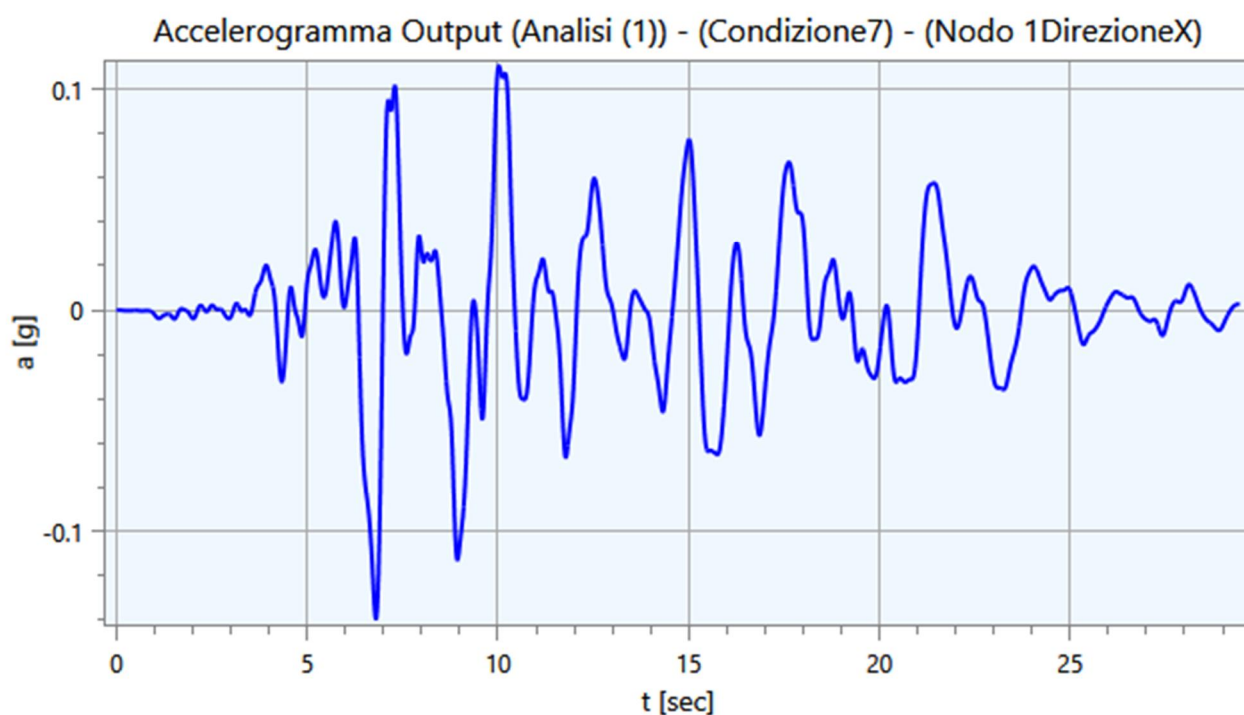
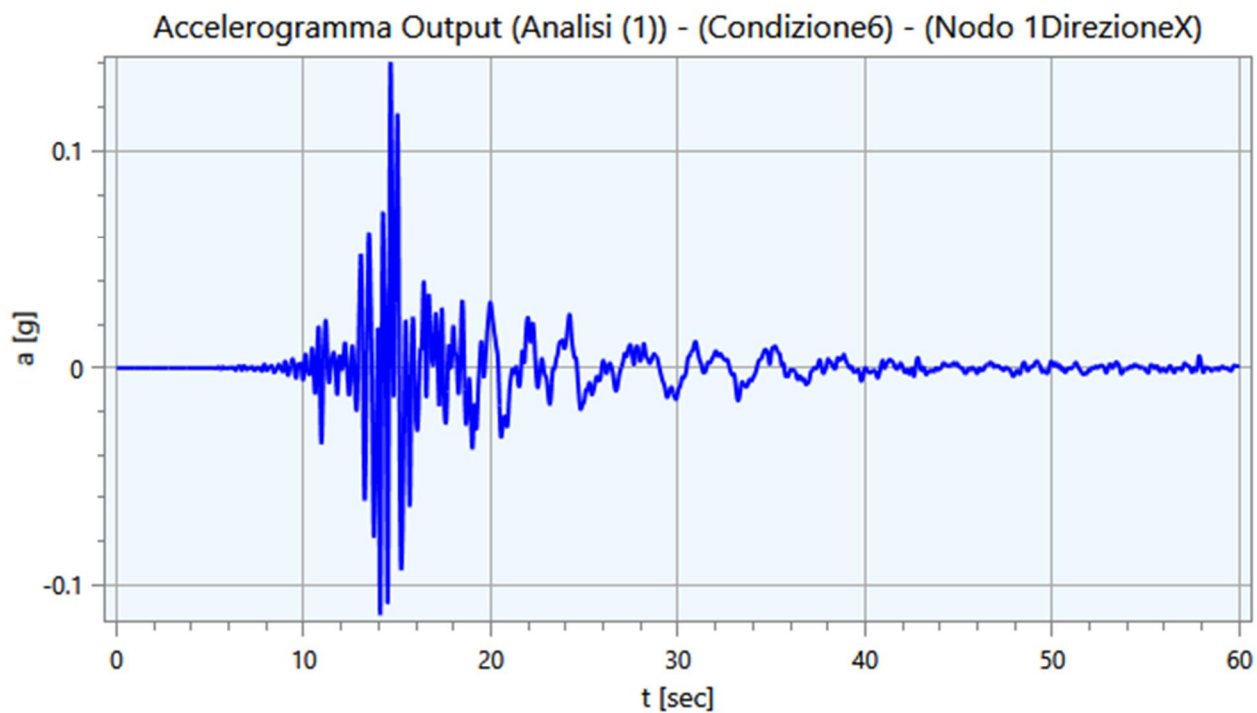






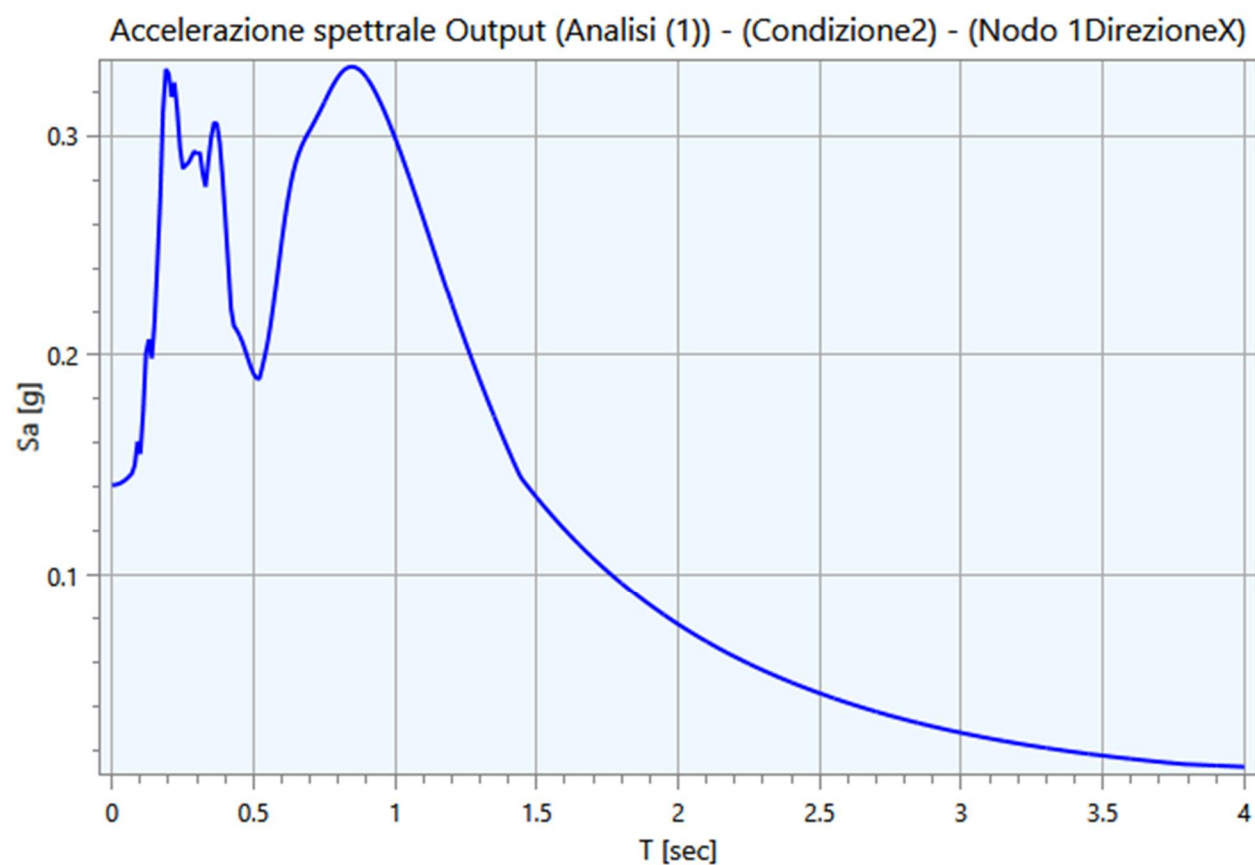
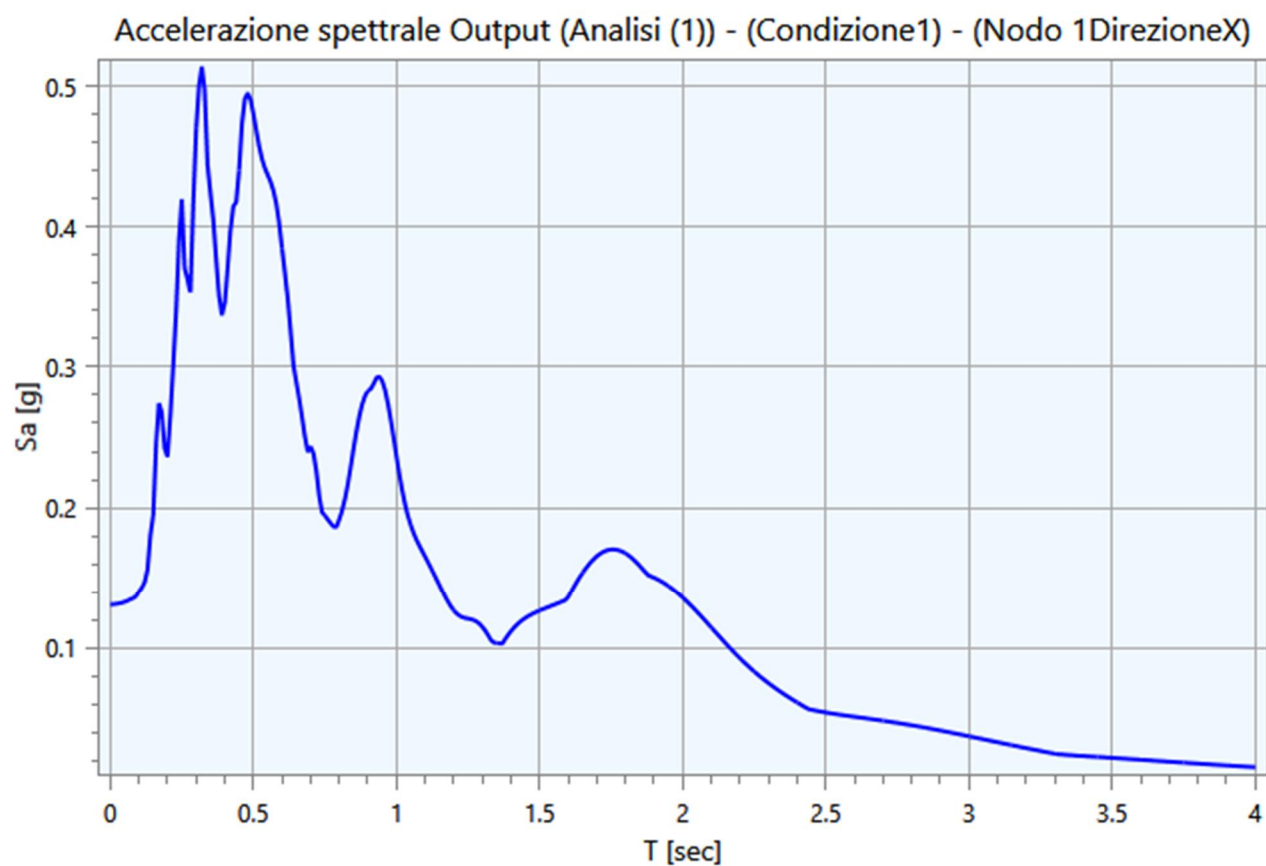


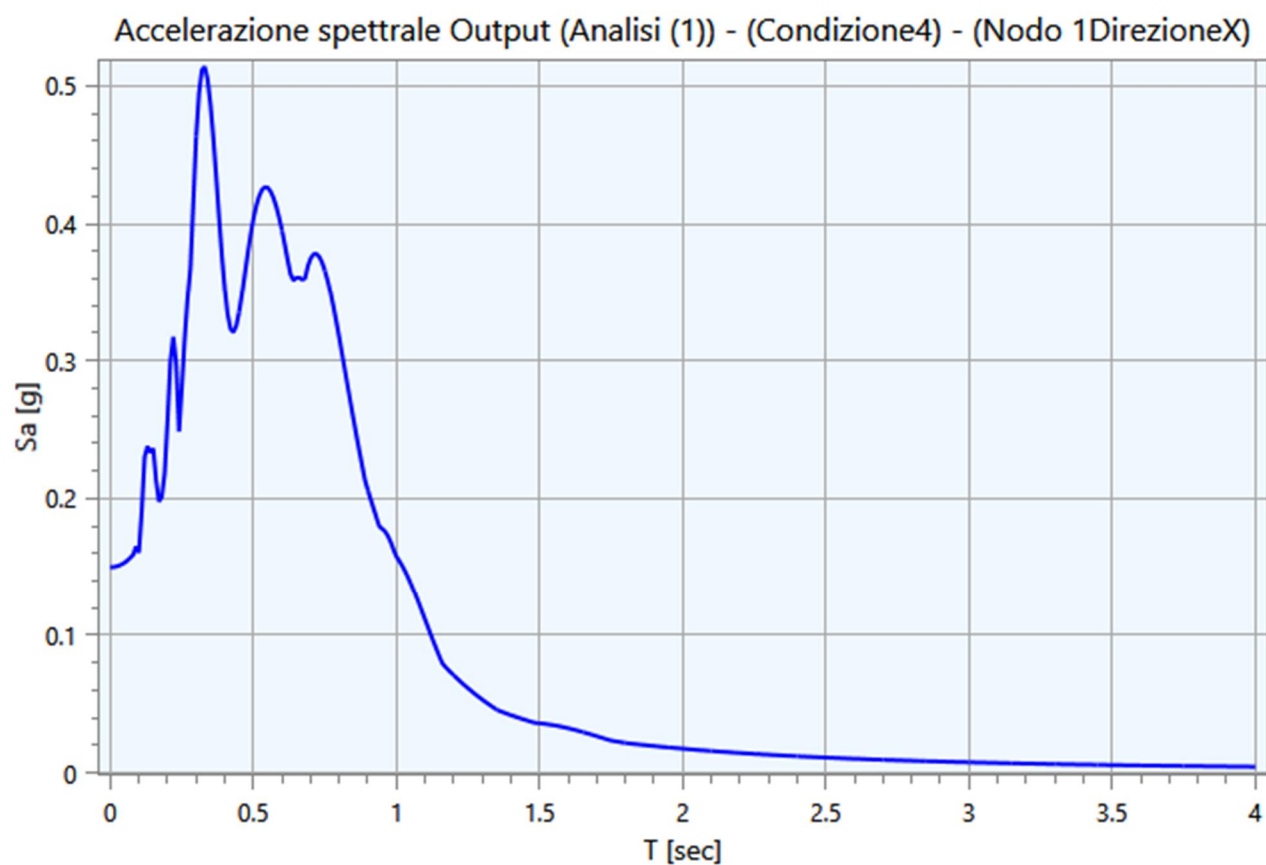
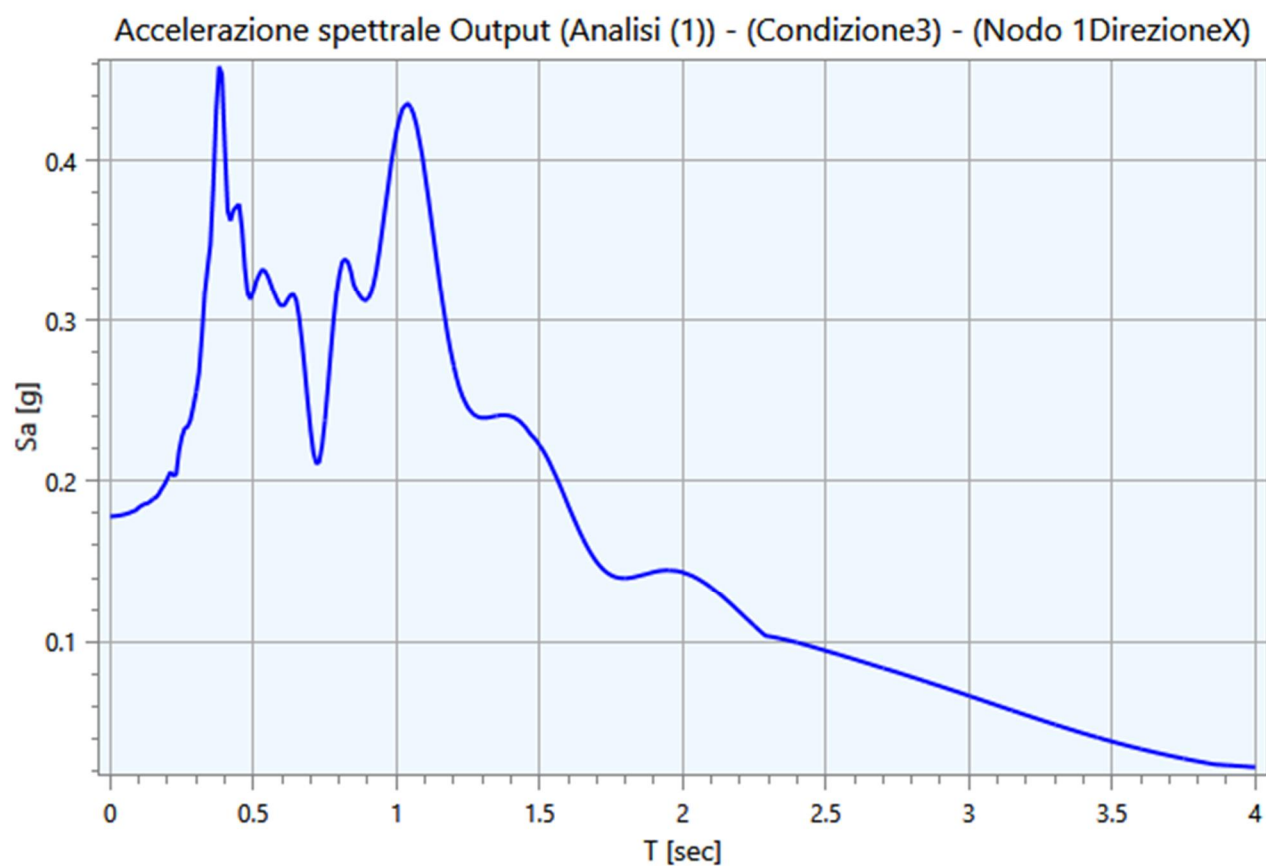


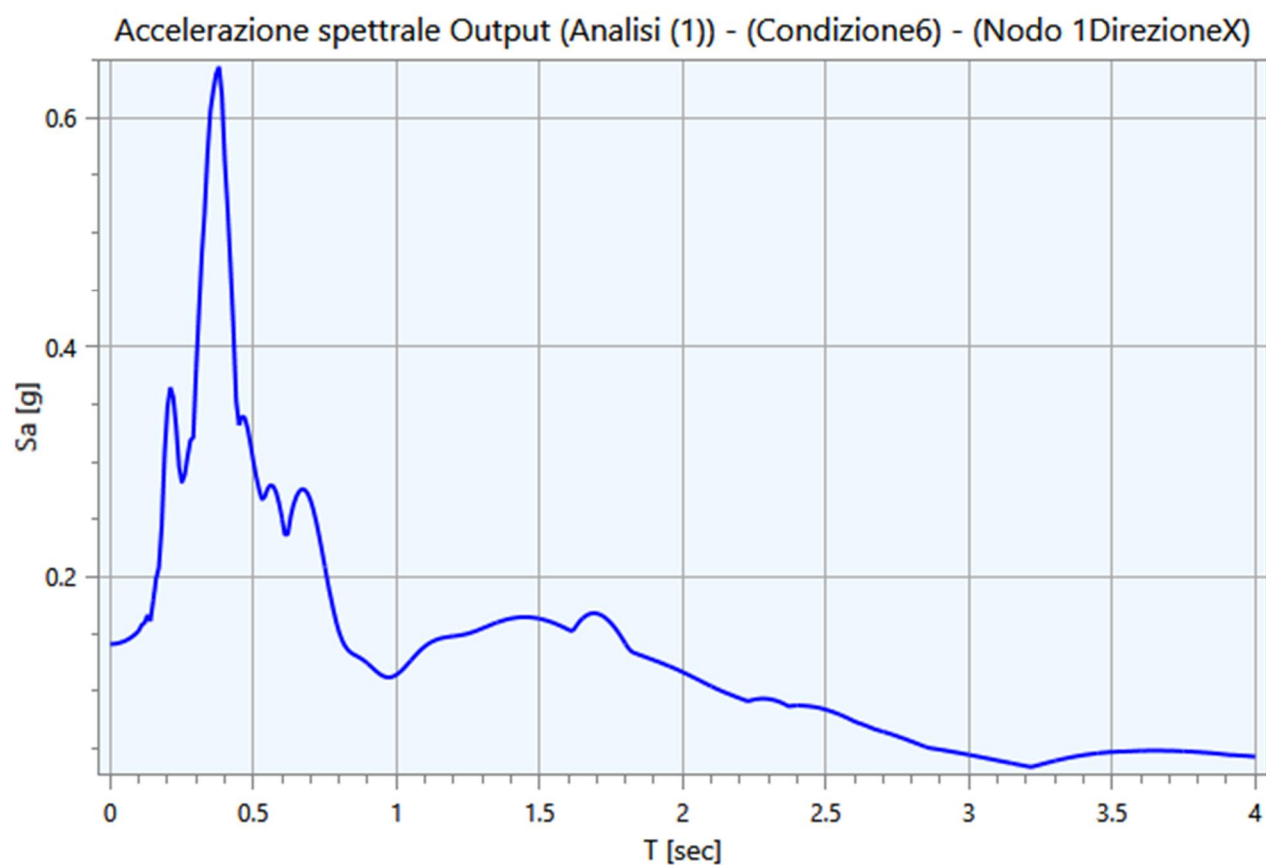
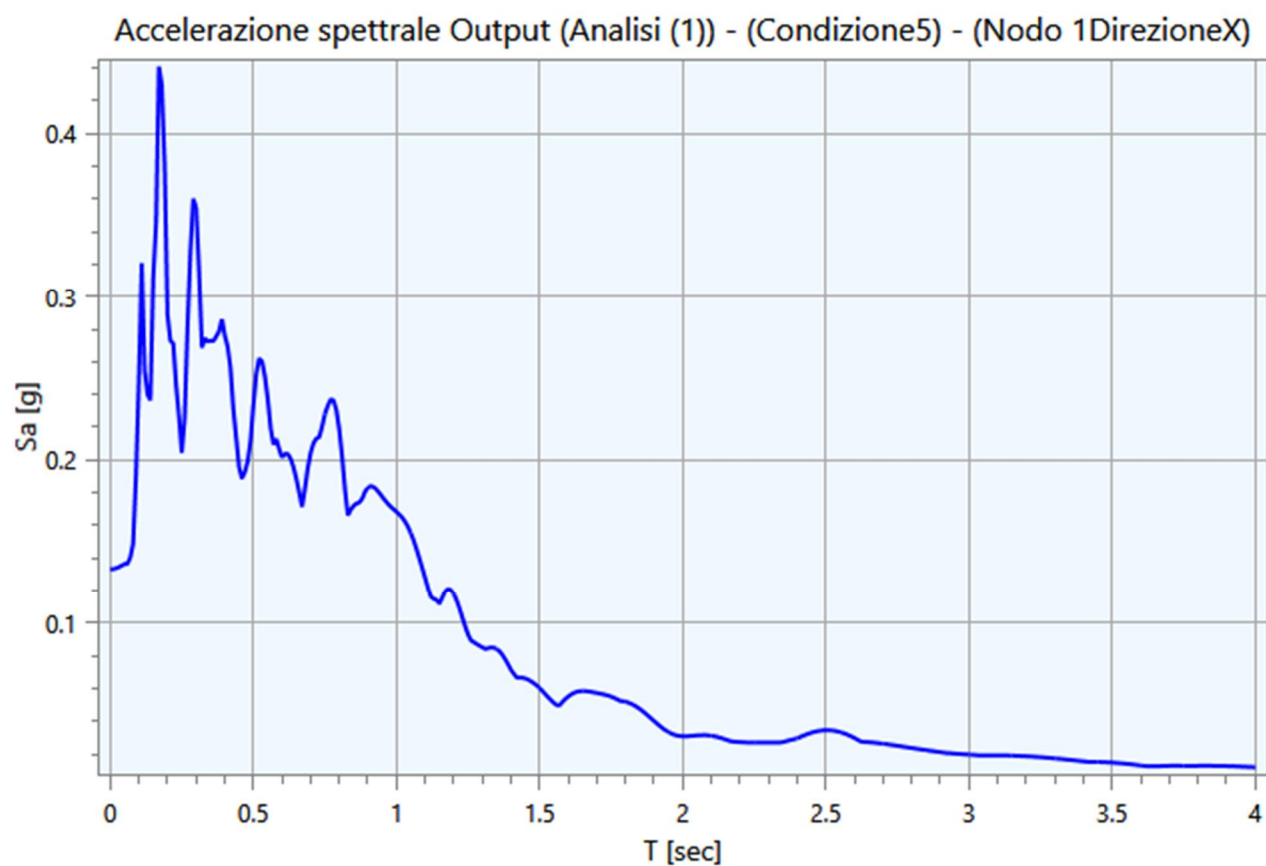


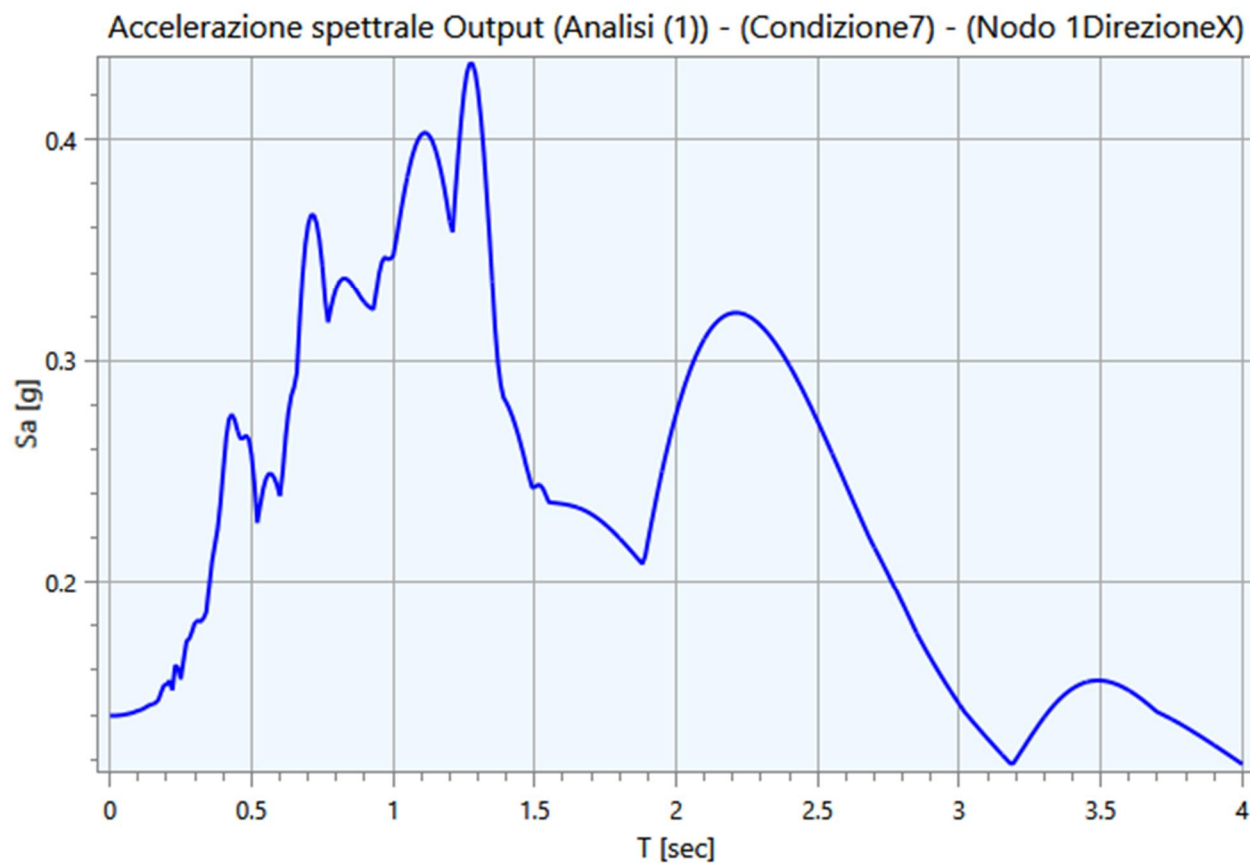
## 5.2 - Spettri Output

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



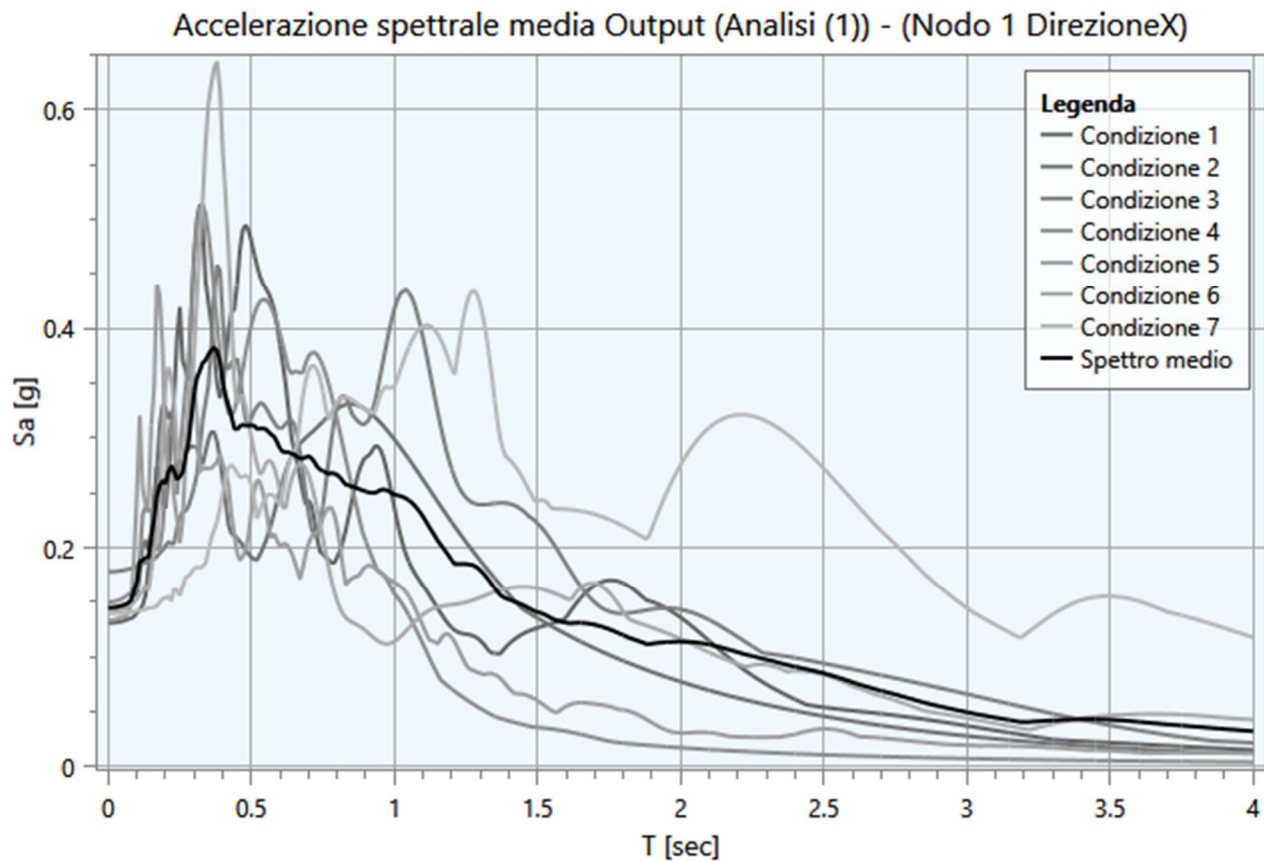




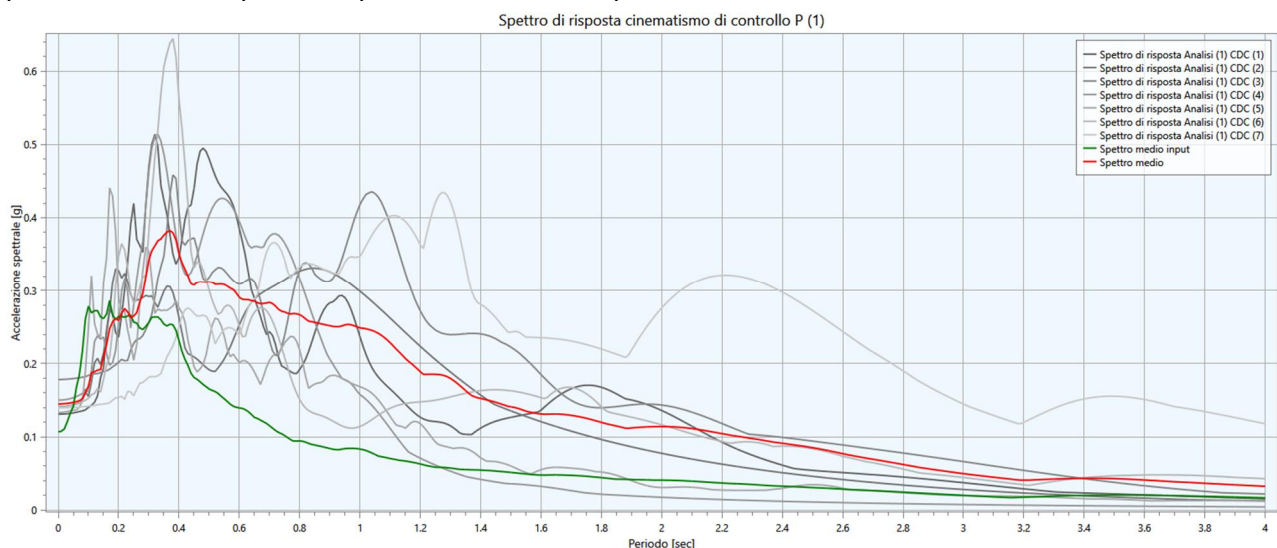


### 5.3 - Interpretazione dei risultati

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



Di seguito si riporta la sovrapposizione tra gli spettri in accelerazione dei sette accelerogrammi, lo spettro medio di input e lo spettro medio di output



## 5.4 - Fattori di amplificazione richiesti da DGR 476/2021 dalla RSL

Si presenta ora la sintesi dei risultati dello studio condotto per l'area della Punto Verde a Migliaro, per questo procedimento urbanistico che propone la variante alle destinazioni d'uso.

Ai sensi della DGR 476/2021 e DGR integrativa n. 564/2021 si sono calcolati i seguenti parametri:

	$\Delta T$ (sec)	Società Agricola Punto Verde Ss, Via Punta, Fiscaglia, FE
FA PGA		1.34
PGAo		0.107
PGA		0.143
FA SA1	0.1-0.5	1.22
FA SA2	0.4-0.8	2.16
FA SA3	0.7-1.1	3.08
FA SA4	0.5-1.5	2.75
FA SI1	0.1-0.5	1.15
FA SI2	0.5-1.0	2.32
FA SI3	0.5-1.5	2.57
Hsm (g)	0.1-0.5	0.297
Hsm (g)	0.4-0.8	0.295
Hsm (g)	0.7-1.1	0.256
Hsm (g)	0.5-1.5	0.232
Hsm	0.1-0.5	291
Hsm	0.4-0.8	290
Hsm	0.7-1.1	251
Hsm	0.5-1.5	227

**valori di pga con cui fare la liquefazione delle sabbie**

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m da p.c.;

V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

**Fattore di Amplificazione PGA**

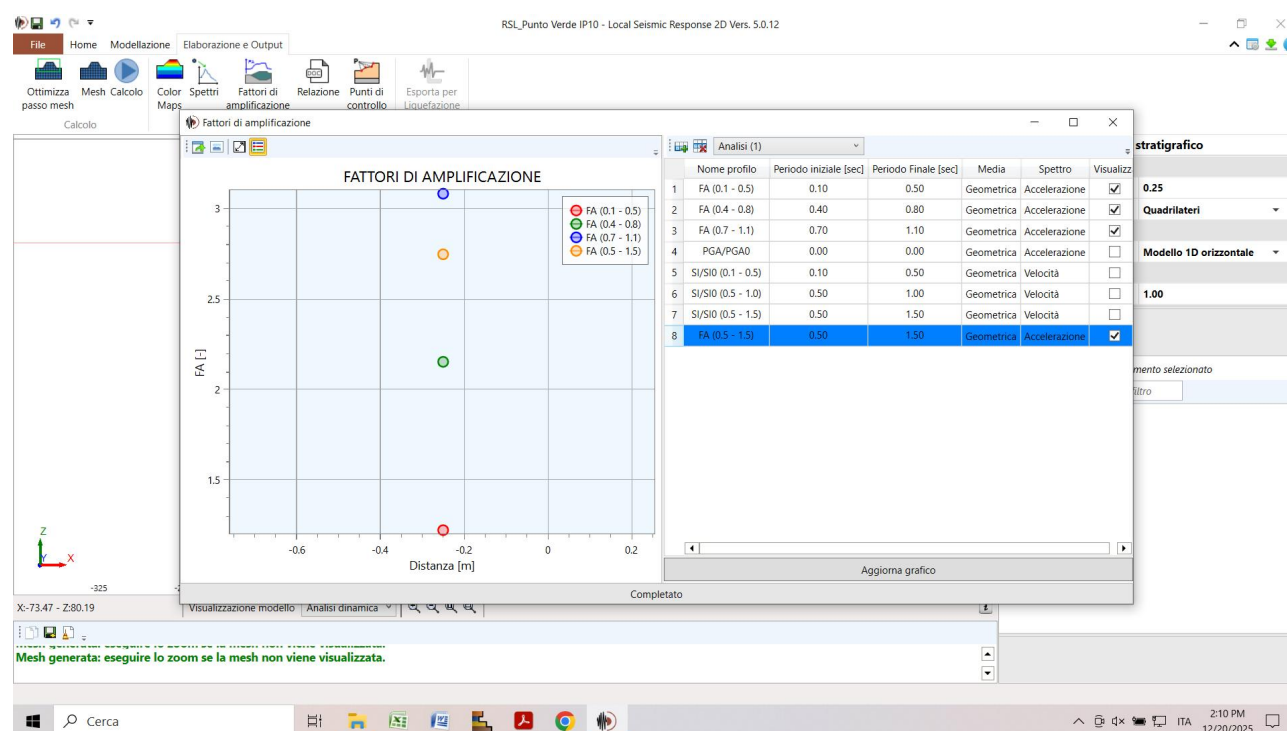
V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

**Fattori di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s), SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s), SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)**

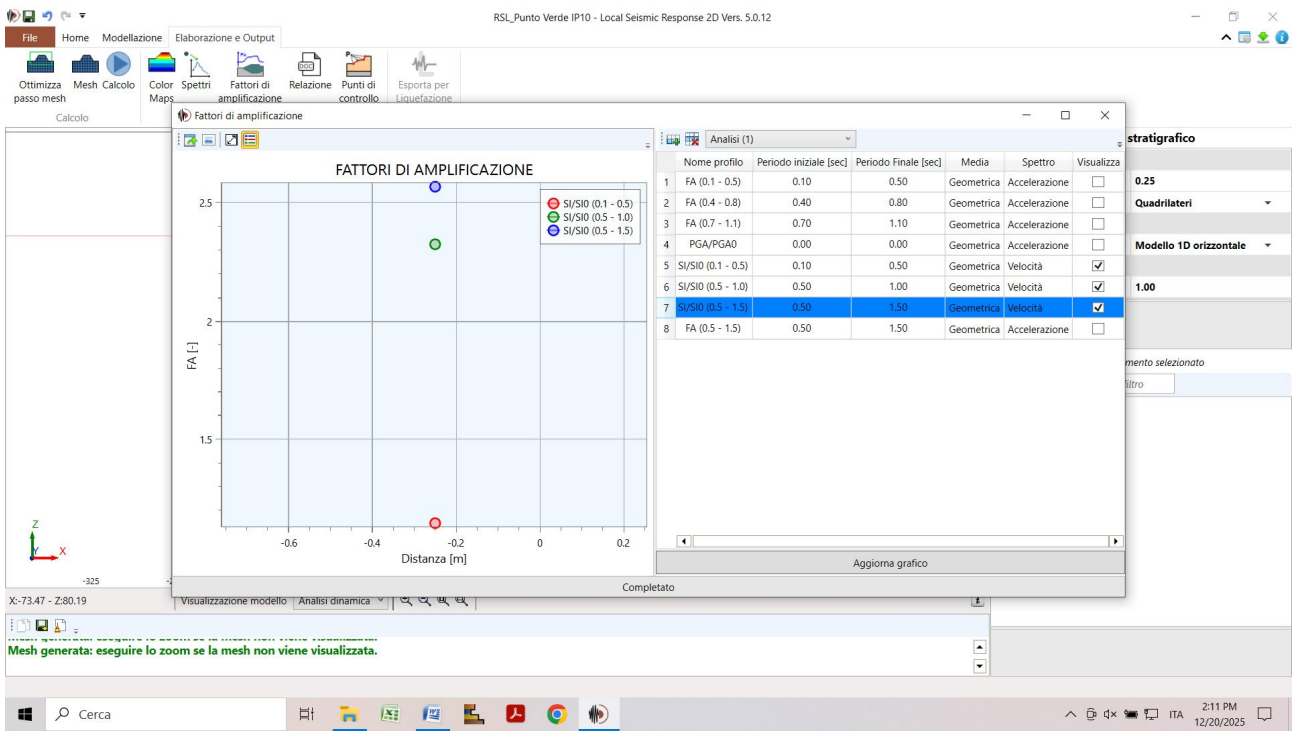
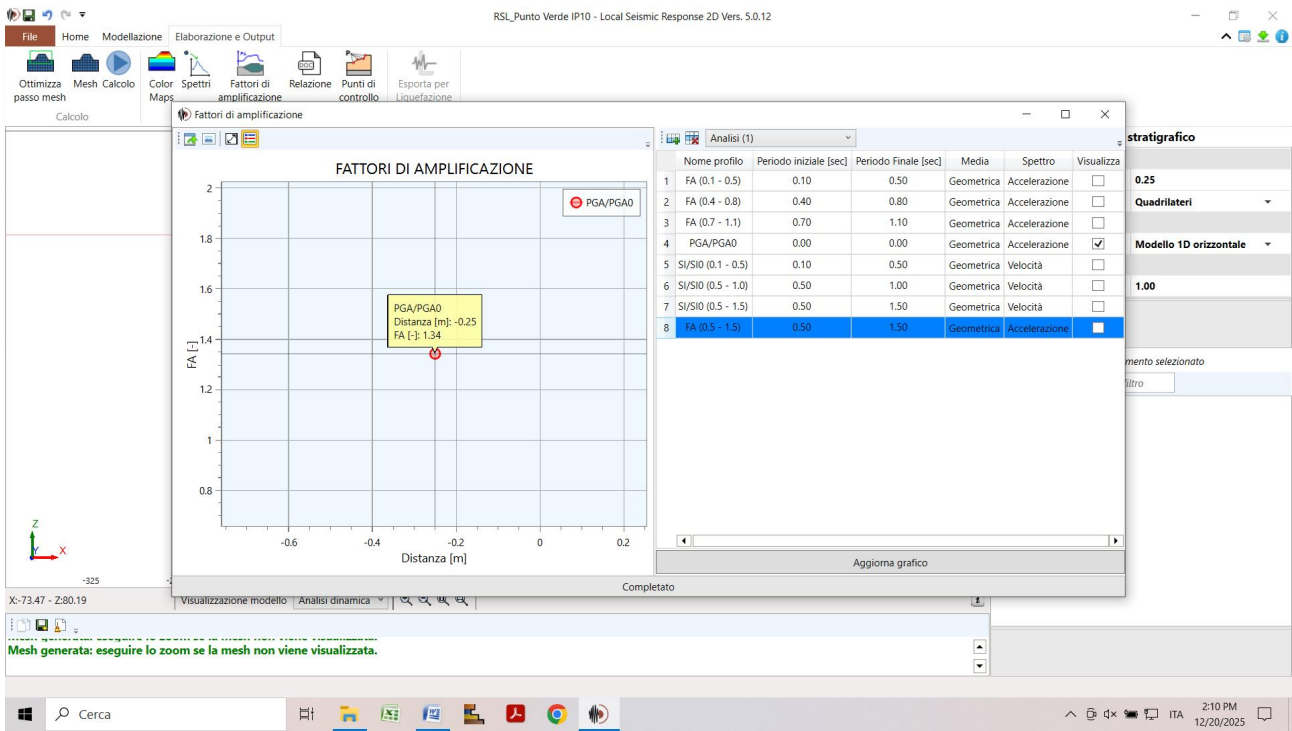
V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

**Fattori di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s), SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)**

A sinistra sono riportati i parametri calcolati e a destra le tabelle da secondo livello di approfondimento della MZ.







Codigoro, li 23 dicembre 2025.

Dott. Geol. Thomas Veronese