

<b>Part I Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>Part II Analisi</b>	<b>4</b>
1 Input .....	4
Tipo di analisi .....	9
Geometria .....	10
Accelerogramma .....	13
2 Calcolo .....	15
3 Output .....	16
Analisi dinamica .....	17
Spostamento.....	19
Accelerogramma e accelerazione critica.....	22
Accelerazione angolare.....	23
Velocità angolare .....	24
Rotazione.....	25
Pressione netta alla base del muro.....	26
Profondità X.....	27
Posizione del centro di rotazione.....	28
<b>Part III Metodo di calcolo</b>	<b>30</b>
1 Calcolo della distribuzione delle pressioni nette .....	31
2 Calcolo dell'accelerazione critica .....	33
3 Calcolo dello spostamento della paratia .....	34
<b>Part IV Validazione</b>	<b>36</b>
<b>Part V Contatti</b>	<b>41</b>
Index	0

# 1 Introduzione

L'analisi di stabilità delle paratie libere sotto sisma viene generalmente eseguita mediante il semplice calcolo di un fattore di sicurezza nei confronti di un possibile meccanismo di collasso. Tuttavia, un approccio più razionale consiste nel valutare le prestazioni della struttura in termini di spostamento permanente accumulato. Tale approccio è infatti richiesto sia dalle [NTC2018](#) (§6.5.3.2, §7.11.6.1) sia dagli Eurocodici. Nello specifico l'[Eurocodice 7 parte 1](#) (§2.4.8, §9.8.2) e l'[Eurocodice 8 parte 5](#) (§7.1(1)P, §7.1(2)).

In questo contesto, [DReW Seismic](#) consente di eseguire una predizione dello spostamento permanente indotto da sisma di paratie libere, quali diaframmi e paratie di pali. DReW Seismic si basa sul metodo di [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#), recentemente pubblicato sulla rivista *Géotechnique*.

File - Visualizza - Relazione - Esegui analisi - ?

Tipo di analisi: Dinamica

DESCRIZIONE

Descrizione:

Latitudine:

Longitudine:

GEOMETRIA

Tipologia di muro: Paratia di pali

Altezza di scavo: 4 [m]

Ammorsamento: 5 [m]

Diametro dei pali: 0,8 [m]

Interasse tra i pali: 1 [m]

Spessore equivalente: 0,6225 [m]

MATERIALE STRUTTURALE E SOVRACCARICO

Peso specifico del muro: 25 [kN/m³]

Sovraccarico: 0 [kPa]

OPZIONI DI ANALISI

Accelerazione critica iniziale: 0 [m/s²]

Accelerazione di gravità: 9,81 [m/s²]

Coefficienti sismici: kh 0 kv 0

Sezione

STRATIGRAFIA

	Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	phi [°]	Attrito terreno-muro [°]	Colore
1	4	20	35	20	
2	5	21	37	20	

## Vista generale di DReW Seismic

**CARATTERISTICHE GENERALI**

DReW Seismic esegue un'analisi dinamica di paratie libere in terreni incoerenti, calcolando l'evoluzione nel tempo dello spostamento permanente di tali strutture, a causa di terremoti. L'analisi dinamica si riferisce alla soluzione sviluppata da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). Le principali caratteristiche del software sono di seguito elencate:

- Si tiene conto della redistribuzione della pressione del terreno sulla paratia in funzione dello spostamento di quest'ultima, come richiesto dall'[Eurocodice 7 parte 1](#) al §9.7.1(5)
- Diverse tipologie di strutture: diaframmi e paratie di pali
- Terreno stratificato
- Presenza di sovraccarico

Per completezza, è possibile eseguire anche un'analisi pseudo-statica. Quest'ultima si basa sulla metodologia sviluppata da [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#).

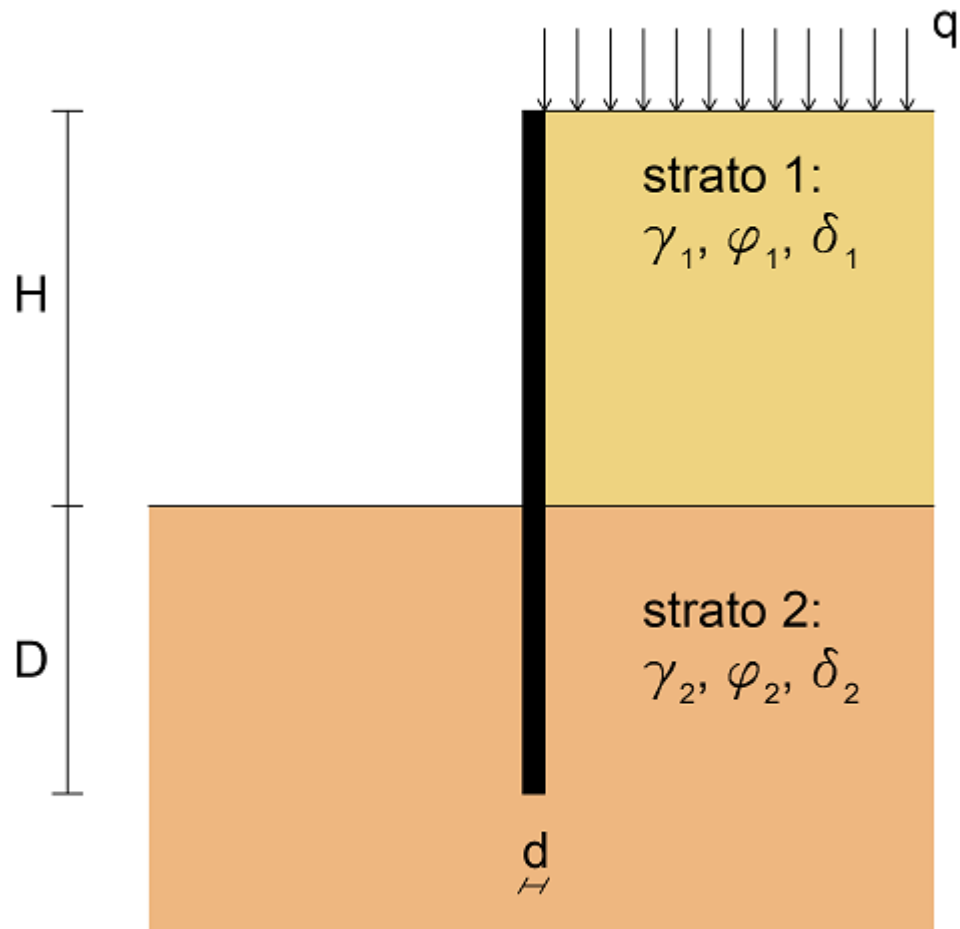
**PARAMETRI RICHIESTI IN INPUT**

DReW Seismic è molto semplice da utilizzare e richiede un numero limitato di parametri di input (vedi figura sottostante). In particolare, sono richiesti i dati elencati di seguito:

- Altezza di scavo,  $H$
- Profondità di ammorsamento,  $D$
- Peso dell'unità di volume dei terreni,  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$
- Angolo di resistenza al taglio dei terreni,  $\phi_1$  e  $\phi_2$
- Angoli di attrito muro-terreno,  $\delta_1$  e  $\delta_2$
- Peso dell'unità di volume del materiale costituente la paratia,  $\gamma_{wall}$
- Spessore del setto,  $B$  (nel caso di diaframma)
- Diametro dei pali,  $d$ , ed interasse tra i pali,  $s$  (nel caso di paratie di pali)
- Intensità del sovraccarico,  $q$

Inoltre, poiché si esegue un'analisi dinamica, è richiesto anche un accelerogramma rappresentativo del sito in cui ricade l'opera. A tal proposito, è possibile fare riferimento ad un accelerogramma precedentemente registrato nella zona di riferimento. Un archivio dei terremoti cui fare riferimento è disponibile su [questo sito](#).

Se si esegue un'analisi pseudo-statica, sono richiesti unicamente i valori del coefficiente sismico orizzontale  $k_h$  e di quello verticale  $k_v$ .



Schema della geometria considerata su DReW Seismic

## RISULTATI

Quando si esegue un'analisi dinamica, DReW Seismic fornisce i [risultati](#) elencati di seguito:

- evoluzione nel tempo dello spostamento a seguito di un dato terremoto. Lo spostamento è calcolato con riferimento alla [testa della paratia](#);
- confronto tra l'accelerogramma di input e la [soglia critica di accelerazione](#), la quale viene aggiornata durante il terremoto;
- evoluzione nel tempo dell'accelerazione angolare della paratia;
- evoluzione nel tempo della velocità angolare della paratia;
- evoluzione nel tempo della rotazione della paratia;
- evoluzione nel tempo della pressione netta agente alla base del muro e confronto di quest'ultima con il corrispondente valore limite;
- evoluzione nel tempo della profondità "X", la quale definisce la porzione del terreno in cui la resistenza passiva viene completamente mobilitata;
- evoluzione nel tempo del centro di rotazione del muro "Y";
- distribuzione della [pressione netta](#) agente sul muro, nel tempo.

Quando si esegue un'analisi pseudo-statica, vengono plottati i seguenti risultati:

- pressione netta agente sul muro;
- sforzo di taglio;
- momento flettente.



## 2 Analisi

Questa sezione descrive come eseguire le analisi su DReW Seismic.

### Lavorare su DReW Seismic


➤ [Input](#)

➤ [Calcolo](#)

➤ [Output](#)

### 2.1 Input

Quando si apre un nuovo progetto su DReW Seismic, viene visualizzata la schermata mostrata di seguito.

File ▾ Visualizza ▾ |  Relazione | Esegui analisi | ? ▾

Tipo di analisi Dinamica ▾

DESCRIZIONE

Descrizione

Latitudine

Longitudine

GEOMETRIA

Tipologia di muro Paratia di pali ▾

Altezza di scavo  0 [m]

Ammorsamento  0 [m]

Diametro dei pali  0 [m]

Interasse tra i pali  0 [m]

Spessore equivalente  0 [m]

MATERIALE STRUTTURALE E SOVRACCARICO

Peso specifico del muro  0 [kN/m<sup>3</sup>]

Sovraccarico  0 [kPa]

OPZIONI DI ANALISI

Accelerazione critica iniziale  0 [m/s<sup>2</sup>]

Accelerazione di gravità  9,81 [m/s<sup>2</sup>]

Coefficienti sismici kh  0 kv  0

Sezione

STRATIGRAFIA

	Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	phi [°]	Attrito terreno-muro [°]	Colore
1	<div style="background-color: #007bff; height: 15px; width: 100px;"></div>				<div style="background-color: #007bff; height: 15px; width: 100px;"></div>
2					<div style="background-color: #007bff; height: 15px; width: 100px;"></div>

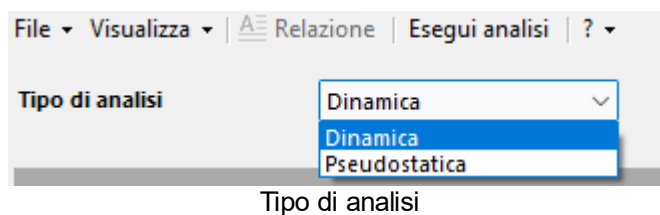
Finestra di un nuovo progetto su DReW Seismic

Come mostrato dalla figura, nella sezione di input sono richiesti i seguenti campi:

- Tipo di analisi
- Descrizione
- Geometria
- Materiale strutturale e sovraccarico
- Opzioni di analisi
- Stratigrafia
- Accelerogramma

## TIPO DI ANALISI

Su DReW Seismic è possibile eseguire due differenti [tipi di analisi](#): "Dinamica" e "Pseudo-statica".



Il tipo di analisi assegnato da default è Dinamica.

## DESCRIZIONE

In tale sezione è possibile inserire informazioni generali relativamente al progetto.



DESCRIZIONE

Descrizione

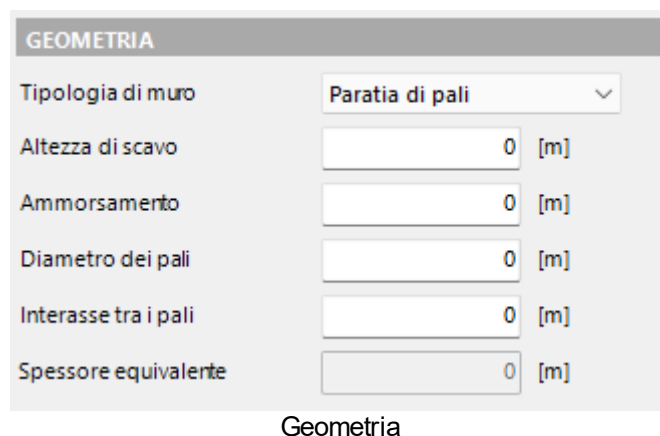
Latitudine

Longitudine

Descrizione

## GEOMETRIA

In tale [sezione](#) è possibile scegliere la tipologia strutturale dell'opera di sostegno (diaframma o paratia di pali) ed assegnare le relative dimensioni.



GEOMETRIA

Tipologia di muro

Paratia di pali

Altezza di scavo

0 [m]

Ammorsamento

0 [m]

Diametro dei pali

0 [m]

Interasse tra i pali

0 [m]

Spessore equivalente

0 [m]

Geometria

## MATERIALE STRUTTURALE E SOVRACCARICO

In questa sezione è necessario inserire il peso specifico del materiale con cui è realizzata la paratia, insieme all'intensità dell'eventuale sovraccarico applicato a monte della paratia.

MATERIALE STRUTTURALE E SOVRACCARICO	
Peso specifico del muro	<input type="text" value="0"/> [kN/m <sup>3</sup> ]
Sovraccarico	<input type="text" value="0"/> [kPa]

Materiale strutturale e sovraccarico

## OPZIONI DI ANALISI

Questa sezione viene mostrata in modo differente sulla base del [tipo di analisi](#) selezionata. Se si sceglie di eseguire un'analisi dinamica, devono essere assegnati il valore iniziale dell'accelerazione critica e l'accelerazione di gravità. L'accelerazione di gravità è impostata per default al valore di 9.81 m/s<sup>2</sup>. Il valore iniziale dell'accelerazione critica deve essere inserito dall'utente. Questo dato deve essere impostato pari al valore 0 per una paratia di nuova costruzione. Al contrario, può essere assunto pari al massimo valore di accelerazione che ha agito sulla paratia durante i terremoti che hanno investito la struttura in precedenza. Tuttavia, in mancanza di informazioni più approfondite, l'assunzione del valore 0 anche nel caso di strutture esistenti consente di ottenere dei risultati più cautelativi. Infatti, lo spostamento sismo-indotto si riduce quando l'accelerazione critica iniziale aumenta.

OPZIONI DI ANALISI	
Accelerazione critica iniziale	<input type="text" value="0"/> [m/s <sup>2</sup> ]
Accelerazione di gravità	<input type="text" value="9,81"/> [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficienti sismici	kh <input type="text" value="0"/> kv <input type="text" value="0"/>

Opzioni di analisi per l'analisi dinamica

Al contrario, solo i coefficienti sismici orizzontale e verticale, rispettivamente  $k_h$  and  $k_v$ , sono richiesti quanto si sceglie di eseguire un'analisi pseudo-statica.



OPZIONI DI ANALISI			
Accelerazione critica iniziale	<input type="text" value="0"/>	[m/s <sup>2</sup> ]	
Accelerazione di gravità	<input type="text" value="9,81"/>	[m/s <sup>2</sup> ]	
Coefficienti sismici	kh <input type="text" value="0"/>	kv <input type="text" value="0"/>	

Opzioni di analisi per l'analisi pseudo-statica

## STRATIGRAFIA

In tale sezione vengono inserite le informazioni relative agli strati di terreno. Su questa versione di DReW Seismic è consentito l'uso di due strati, la cui interfaccia è situata al livello dello scavo. Lo spessore degli strati viene attribuito automaticamente da DReW Seismic sulla base dell'altezza di scavo e della profondità di ammorsamento. Gli altri parametri richiesti per i due strati sono:

- Pesi dell'unità di volume,  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$
- Angolo di resistenza al taglio dei terreni coinvolti,  $\phi_1$  e  $\phi_2$
- Angoli di attrito muro-terreno,  $\delta_1$  e  $\delta_2$

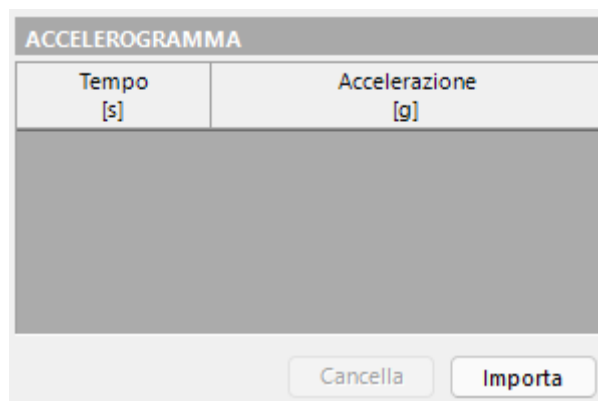
Un colore per la rappresentazione grafica e una descrizione possono essere anche assegnati.

STRATIGRAFIA				
	Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	phi [°]	Attrito terreno-muro [°]
1				
2				

Stratigrafia

## ACCELEROGRAMMA

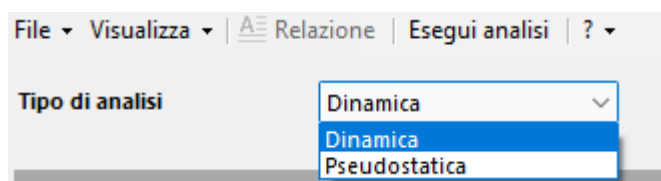
Per eseguire un'analisi dinamica, è necessario applicare un [accelerogramma](#) al terreno in modo da poter predire lo spostamento sismo-indotto della paratia. A tal proposito, è possibile fare riferimento ad un accelerogramma precedentemente registrato nella zona di riferimento. Un'archivio dei terremoti cui fare riferimento è disponibile su [questo sito](#).



Accelerogramma

### 2.1.1 Tipo di analisi

Su DReW Seismic è possibile eseguire due differenti tipi di analisi: "Dinamica" e "Pseudo-statica".



Tipo di analisi

L'analisi dinamica, la quale rappresenta la principale caratteristica di DReW Seismic, è un calcolo innovativo che consente di eseguire una predizione dell'evoluzione nel tempo dello spostamento orizzontale della testa di una paratia a seguito di un sisma. Come richiesto dalle normative vigenti di molti paesi, tale analisi rappresenta un approccio più razionale rispetto al semplice calcolo del fattore di sicurezza di tali strutture. Tale approccio è infatti richiesto sia dalle [NTC2018](#) (§6.5.3.2, §7.11.6.1) che dagli Eurocodici, in particolare l'[Eurocodice 7 parte 1](#) (§2.4.8, §9.8.2) e l'[Eurocodice 8 parte 5](#) (§7.1(1)P, §7.1(2)).

L'analisi dinamica si basa sul metodo di [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). La procedura di calcolo è sintetizzata [qui](#). I risultati forniti da questo tipo di analisi sono:

- evoluzione nel tempo dello spostamento a seguito di un dato terremoto. Lo spostamento è calcolato con riferimento alla [testa della paratia](#)
- confronto tra l'accelerogramma di input e la [soglia critica di accelerazione](#), la quale viene aggiornata durante il terremoto
- evoluzione nel tempo dell'accelerazione angolare della paratia

- evoluzione nel tempo della velocità angolare della paratia
- evoluzione nel tempo della rotazione della paratia
- evoluzione nel tempo della pressione netta agente alla base del muro e confronto di quest'ultima con il corrispondente valore limite
- evoluzione nel tempo della profondità "X", la quale definisce la porzione del terreno in cui la resistenza passiva viene completamente mobilitata
- evoluzione nel tempo del centro di rotazione del muro "Y"
- distribuzione della [pressione netta](#) agente sul muro, nel tempo

Per ragioni di completezza, è possibile eseguire anche un'analisi pseudo-statica. In tal caso, viene utilizzato il metodo sviluppato da [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#), il quale è basato su una distribuzione delle pressioni agenti sulla paratia più realistica rispetto a quella assunta nei metodi più tradizionali. I risultati forniti dall'analisi pseudo-statica sono:

- pressione netta agente sul muro
- sforzo di taglio
- momento flettente

Il tipo di analisi assegnato da default è Dinamica.

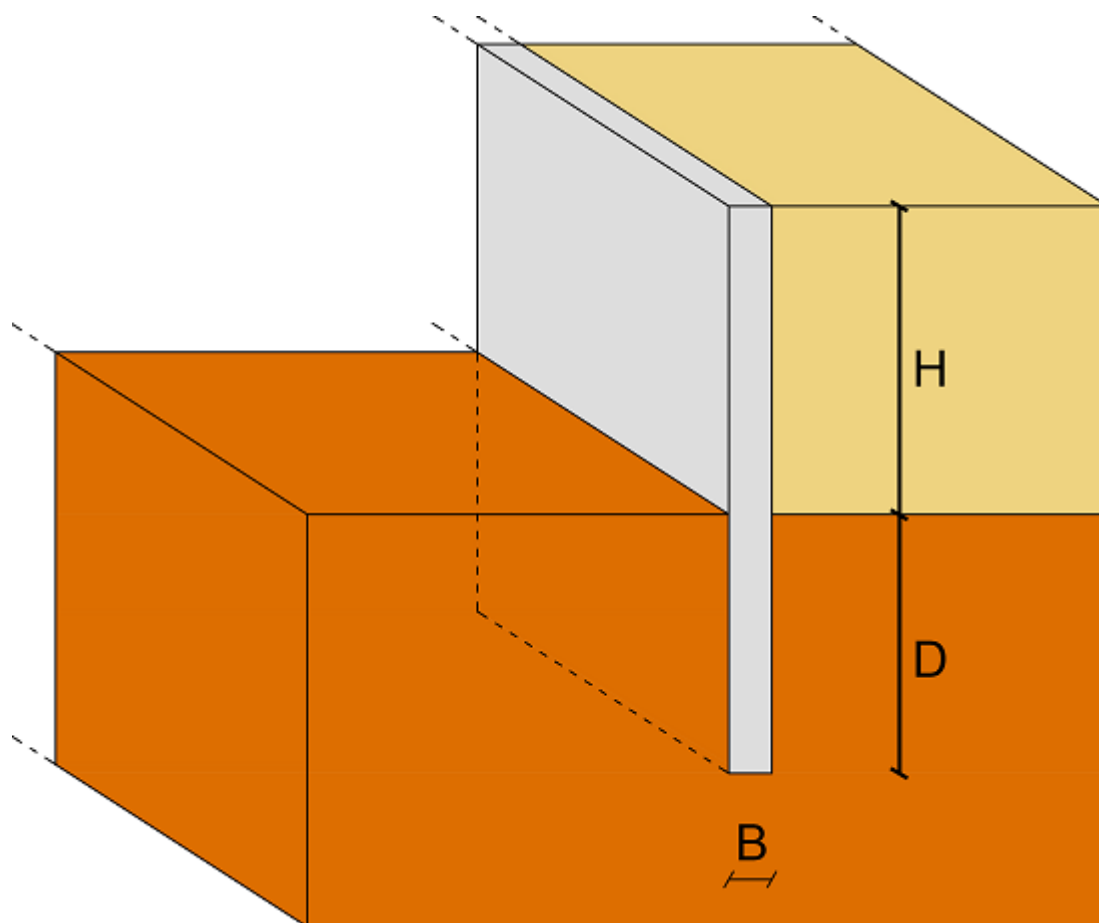
### 2.1.2 Geometria

Su DReW Seismic è possibile tenere conto di due differenti tipologie di muro. Si tratta di diaframmi e paratie di pali.

Geometria

### DIAFRAMMI

I diaframmi fanno riferimento allo schema riportato nella figura sottostante.



Schema di diaframma

Quando la tipologia di muro è impostata su diaframma, vengono richiesti i seguenti dati come input:

- altezza di scavo,  $H$
- profondità di ammassamento,  $D$
- spessore del muro,  $B$

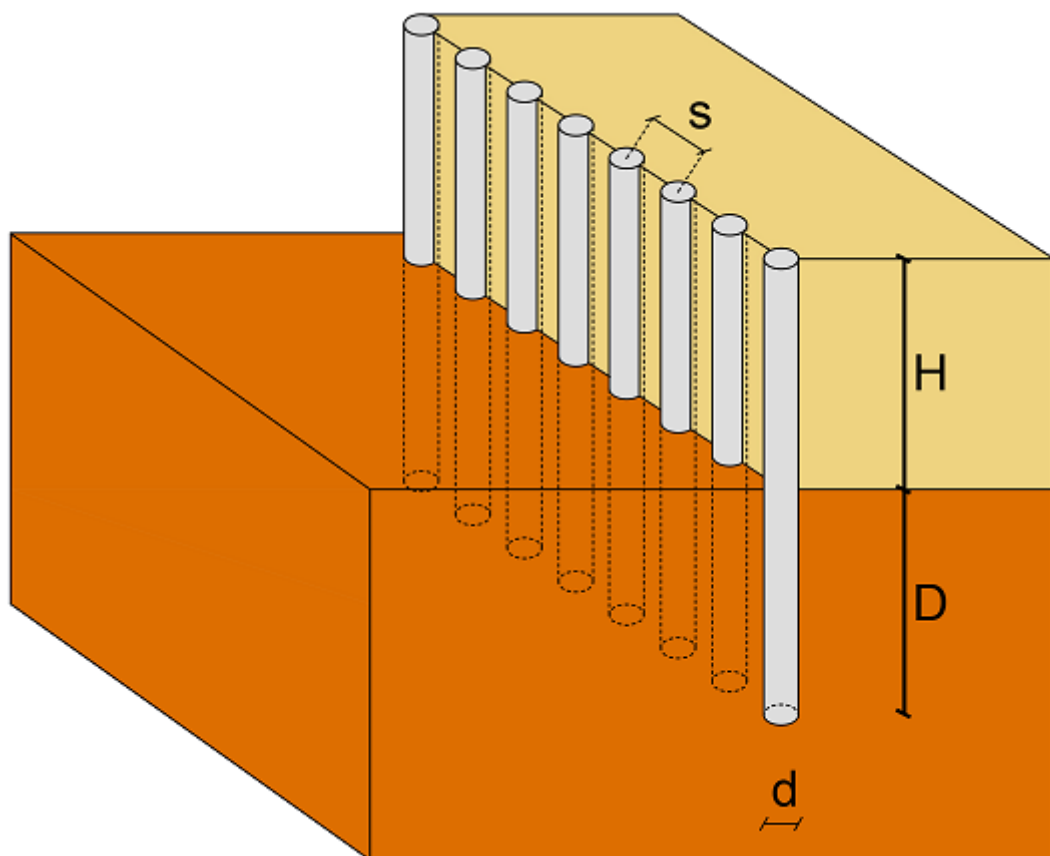
GEOMETRIA	
Tipologia di muro	Diaframma <input type="text"/>
Altezza di scavo	<input type="text" value="0"/> [m]
Ammorsamento	<input type="text" value="0"/> [m]
Diametro dei pali	<input type="text" value="0"/> [m]
Interasse tra i pali	<input type="text" value="0"/> [m]
Spessore setto	<input type="text" value="0"/> [m]

Input per diaframma

In questo caso, i campi "diametro dei pali" e "interasse tra i pali" sono ignorati, poiché vengono utilizzati solo quando la tipologia di muro è impostata su paratia di pali.

### PARATIA DI PALI

Le paratie di pali fanno riferimento allo schema riportato nella figura sottostante.



Schema di paratia di pali

Quando la tipologia di muro è impostata su paratia di pali, vengono richiesti i seguenti dati come input:

- altezza di scavo,  $H$
- profondità di ammorsamento,  $D$
- diametro dei pali,  $d$
- interasse tra i pali,  $s$

GEOMETRIA	
Tipologia di muro	Paratia di pali ▾
Altezza di scavo	<input type="text" value="0"/> [m]
Ammorsamento	<input type="text" value="0"/> [m]
Diametro dei pali	<input type="text" value="0"/> [m]
Interasse tra i pali	<input type="text" value="0"/> [m]
Spessore equivalente	<input type="text" value="0"/> [m]

Input per paratia di pali

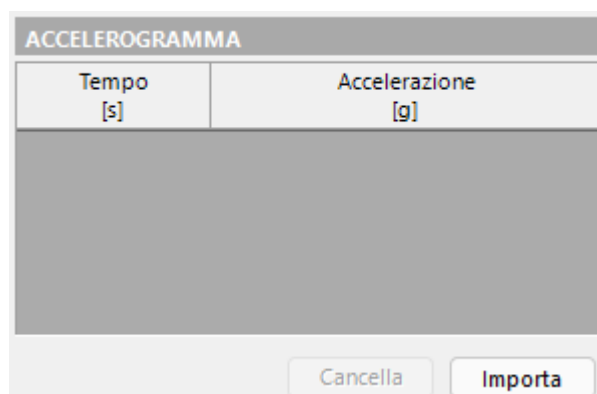
In questo caso, la paratia di pali è considerata come un setto equivalente. In tale contesto, DReW Seismic calcola lo spessore del setto equivalente,  $d_{eq}$ , da impiegare nel calcolo, in accordo alla seguente equazione:

$$d_{eq} = \sqrt[3]{\frac{12 I_p}{s}}$$

in cui  $I_p$  è il momento di inerzia del palo mentre  $s$  è l'interasse. Il valore dello spessore equivalente calcolato da tale equazione viene mostrato nell'apposita finestra, ma non può essere modificato.

### 2.1.3 Accelerogramma

Per eseguire un'analisi dinamica, è necessario applicare un accelerogramma al terreno in modo da poter predire lo spostamento sismo-indotto della paratia. A tal proposito, è possibile fare riferimento ad un accelerogramma precedentemente registrato nella zona di riferimento. Un'archivio dei terremoti cui fare riferimento è disponibile su [questo sito](#).

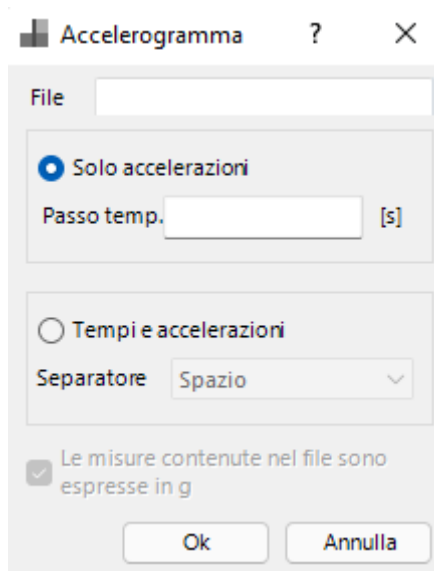


Acceleration time-history section

Affinché possa essere importato su DReW Seismic, l'accelerogramma deve essere salvato su un file con estensione .txt. Sono disponibili due opzioni:

1. il file .txt è composto da una sola colonna, la quale riporta i valori delle accelerazioni. In tal caso, ogni valore di accelerazione corrisponde ad un istante di tempo equispaziato di un certo time-step, il quale deve essere specificato dall'utente
2. il file .txt. è composto da due colonne, con la prima colonna riferita al tempo e la seconda che indica i corrispondenti valori di accelerazione

Dopo aver cliccato su "Importa", è necessario specificare il percorso in cui è salvato il file .txt, il quale deve essere selezionato. Successivamente, comparirà la finestra mostrata di seguito:



Acceleration time-history options

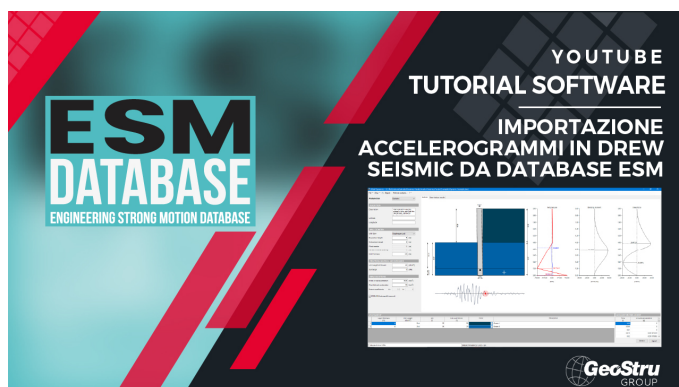
Se il file .txt è composto da una sola colonna, deve essere selezionata la prima opzione, cioè "Solo accelerazioni". In questo caso, è necessario specificare anche il passo temporale.

Se il file .txt è composto da due colonne, deve essere scelta l'opzione "Tempi e accelerazioni". In questo caso, è necessario specificare se le due colonne nel file .txt sono separate da uno spazio, dal "Tab" oppure da ";".

Cliccando su "OK", la tabella su DReW Seismic verrà riempita, come mostrato nella figura sottostante.

ACCELEROGRAMMA	
Tempo [s]	Accelerazione [g]
0,00	0
0,005	0
0,01	0
0,015	0,001987223
0,02	0,001979055

Accelerogramma caricato



## 2.2 Calcolo

Dopo aver inserito tutti i dati di input, è possibile avviare il calcolo mediante il comando "Esegui analisi". DReW Seismic si riferisce al metodo di calcolo sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). I principali passi del metodo sono sintetizzati [qui](#).



**Esegui analisi** ?

Tipo di analisi: Dinamica

**DESCRIZIONE**

Descrizione:

Latitudine:

Longitudine:

**GEOMETRIA**

Tipologia di muro: Paratia di pali

Altezza di scavo:  [m]

Ammorsamento:  [m]

Diametro dei pali:  [m]

Interasse tra i pali:  [m]

Spessore equivalente:  [m]

**MATERIALE STRUTTURALE E SOVRACCARICO**

Peso specifico del muro:  [kN/m³]

Sovraccarico:  [kPa]

**OPZIONI DI ANALISI**

Accelerazione critica iniziale:  [m/s²]

Accelerazione di gravità:  [m/s²]

Coefficienti sismici: kh  kv

**STRATIGRAFIA**

	Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	phi [°]	Attrito terreno-muro [°]	Colore
1	4	20	35	20	
2	5	21	37	20	

Esecuzione dell'analisi

## 2.3 Output

Al termine dell'analisi, DReW Seismic fornisce differenti risultati, in base al tipo di analisi eseguito. L'analisi dinamica, la quale rappresenta la principale caratteristica di DReW Seismic, è un calcolo innovativo che consente di eseguire una predizione dell'evoluzione nel tempo dello spostamento orizzontale della testa di una paratia a seguito di un sisma. Come richiesto dalle normative vigenti di molti paesi, tale analisi rappresenta un approccio più razionale rispetto al semplice calcolo del fattore di sicurezza di tali strutture. Tale approccio è infatti richiesto sia dalle [NTC2018](#) (§6.5.3.2, §7.11.6.1) che dagli Eurocodici, in particolare l'[Eurocodice 7 parte 1](#) (§2.4.8, §9.8.2) e l'[Eurocodice 8 parte 5](#) (§7.1(1)P, §7.1(2)).

L'analisi dinamica utilizza il metodo sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). I [risultati](#) forniti da questo tipo di analisi sono:

- evoluzione nel tempo dello spostamento a seguito di un dato terremoto. Lo spostamento è calcolato con riferimento alla [testa della paratia](#)
- confronto tra l'accelerogramma di input e la [soglia critica di accelerazione](#), la quale viene aggiornata durante il terremoto
- evoluzione nel tempo dell'accelerazione angolare della paratia
- evoluzione nel tempo della velocità angolare della paratia
- evoluzione nel tempo della rotazione della paratia
- evoluzione nel tempo della pressione netta agente alla base del muro e confronto di quest'ultima con il corrispondente valore limite
- evoluzione nel tempo della profondità "X", la quale definisce la porzione del terreno in cui la resistenza passiva viene completamente mobilitata
- evoluzione nel tempo del centro di rotazione del muro "Y"
- distribuzione della [pressione netta](#) agente sul muro, nel tempo

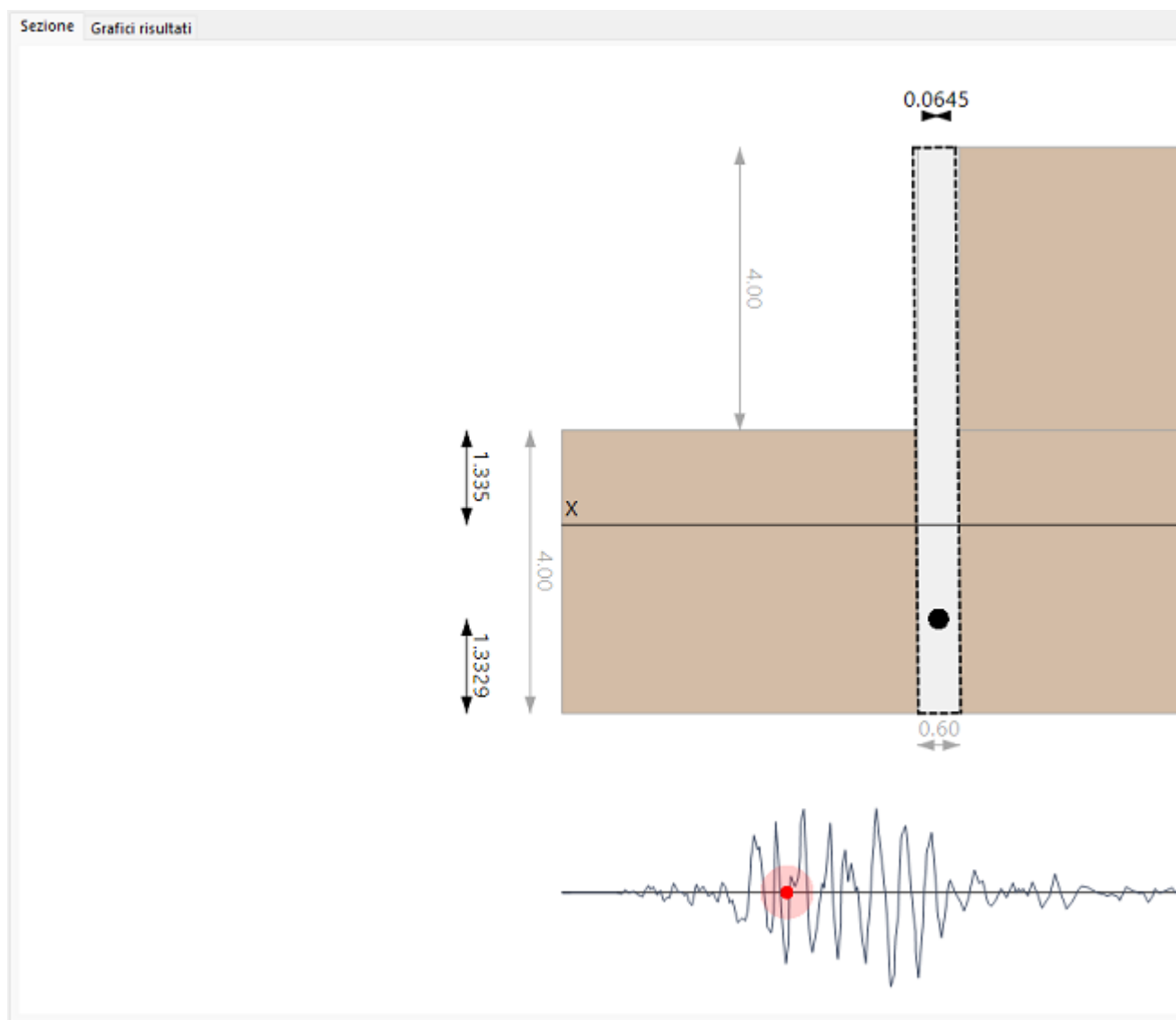
Per ragioni di completezza, è possibile eseguire anche un'analisi pseudo-statica. In tal caso, viene utilizzato il metodo sviluppato da [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#), il quale è basato su una distribuzione delle pressioni agenti sulla paratia più realistica rispetto a quella assunta nei metodi più tradizionali. I risultati forniti dall'analisi pseudo-statica sono:

- pressione netta agente sul muro
- sforzo di taglio
- momento flettente

### 2.3.1 Analisi dinamica

L'analisi dinamica si basa sul metodo di [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#).

Al termine dell'analisi, vengono inizialmente mostrati i seguenti risultati nella finestra "Sezione".



Risultati mostrati nella finestra "Sezione"

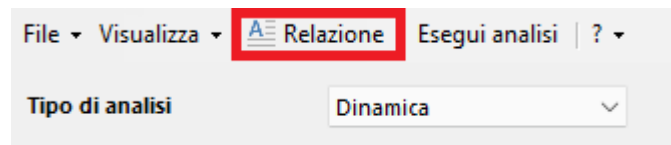
Poiché l'analisi è dinamica, i risultati ottenuti sono interattivi. In particolare, è possibile verificare i risultati della simulazione semplicemente passando il mouse sull'istante di tempo desiderato, all'interno dell'accelerogramma mostrato in basso. Per ogni istante di tempo, vengono rappresentati i seguenti output:

- lo spostamento orizzontale della testa della paratia
- la distanza tra il centro di rotazione della paratia e la base del muro
- la profondità "X" misurata a partire dal livello di scavo. Tale valore indica la porzione di terreno in cui la resistenza passiva è completamente mobilitata
- la pressione netta agente sulla paratia

Spostandosi sulla finestra "Grafici risultati", vengono mostrate le curve relative all'evoluzione nel tempo dei principali risultati. In particolare, DReW Seismic fornisce i seguenti risultati:

- [spostamento](#) della testa della paratia
- [confronto](#) tra l'accelerogramma fornito in input e la corrispondente soglia critica calcolata
- [accelerazione angolare](#) della paratia
- [velocità angolare](#) della paratia
- [rotazione](#) della paratia
- [pressione netta](#) alla base della paratia e confronto con il corrispondente valore limite
- [profondità X](#), lungo la quale la resistenza passiva è completamente mobilitata
- [distanza](#) tra il centro di rotazione della paratia e la base del muro

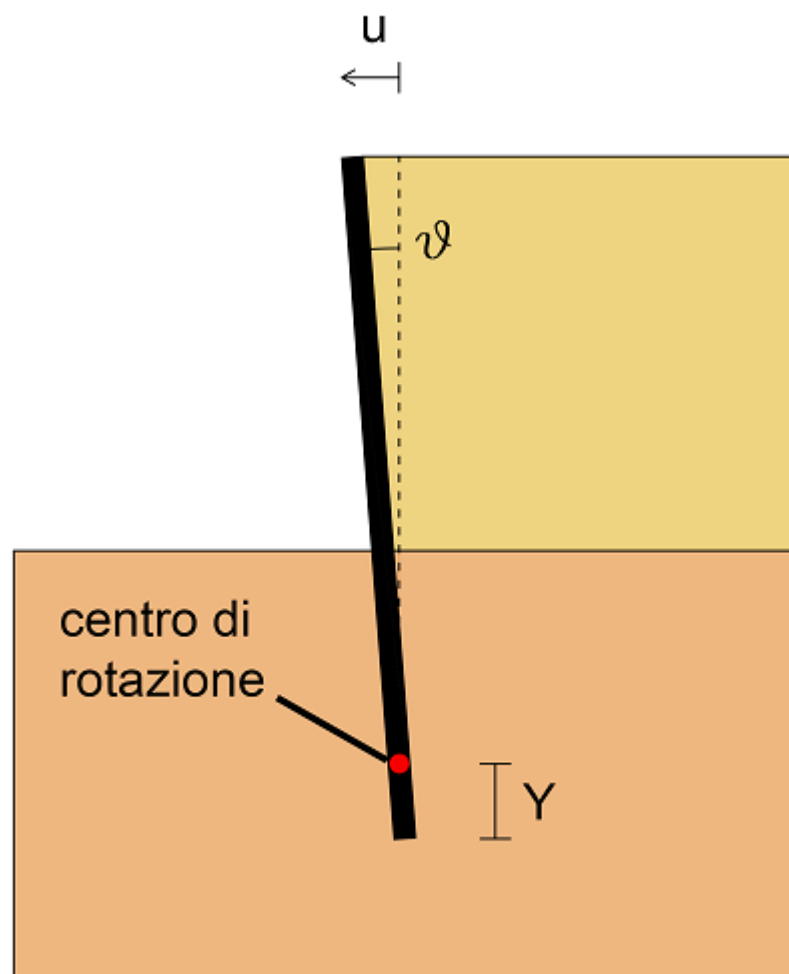
In aggiunta, è possibile esportare tutti i risultati ottenuti in un file Excel, utilizzando il comando "Relazione".



Come creare la relazione dei risultati

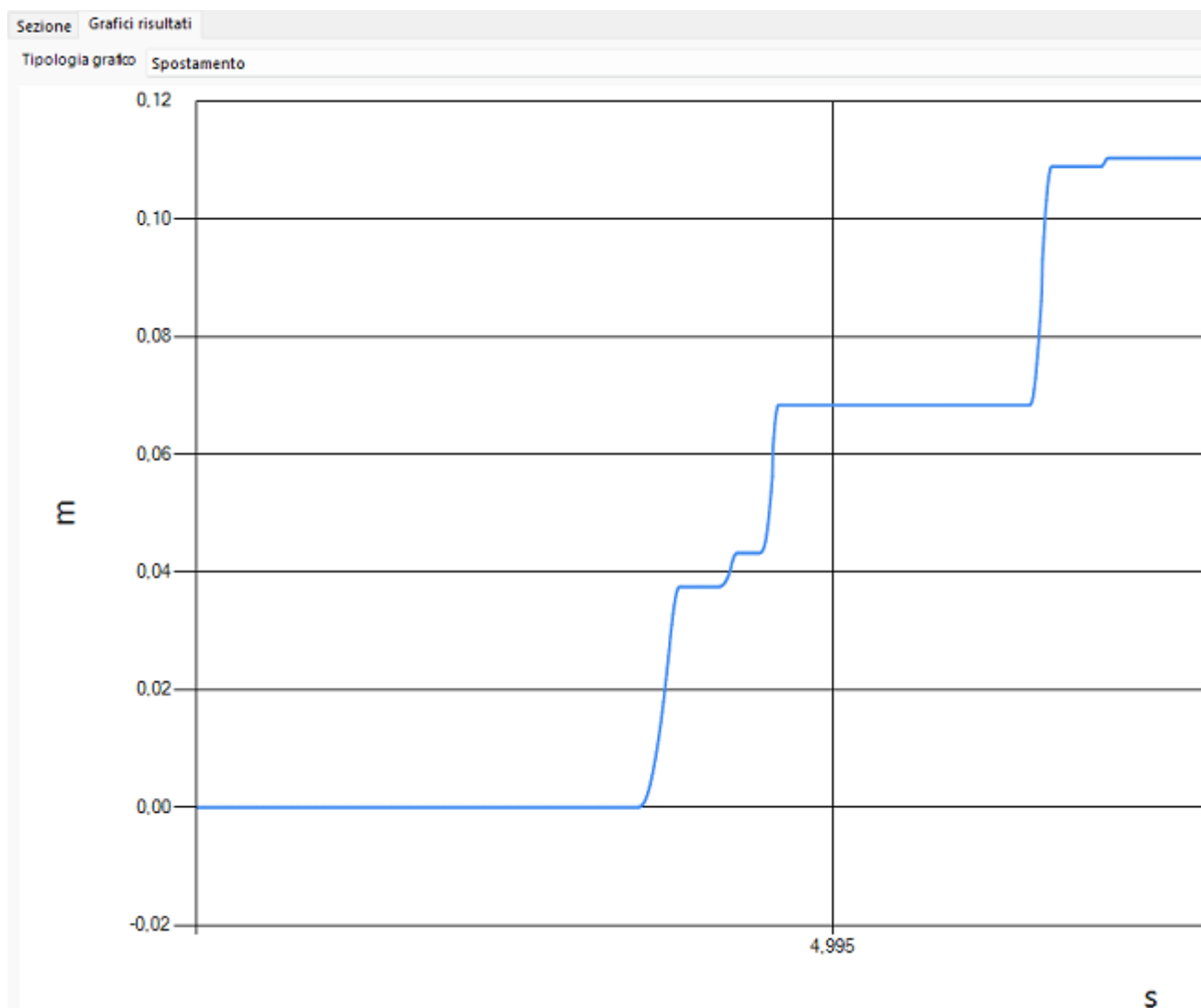
#### 2.3.1.1 Spostamento

Questo output mostra l'evoluzione nel tempo, durante il terremoto, dello spostamento della testa della paratia (vedi figura mostrata di seguito), e rappresenta la principale caratteristica di DReW Seismic. Nella figura sottostante,  $u$  rappresenta lo spostamento della testa della paratia nella direzione dello scavo,  $\theta$  è la rotazione della paratia, mentre  $Y$  definisce la distanza tra il centro di rotazione della paratia e la base.



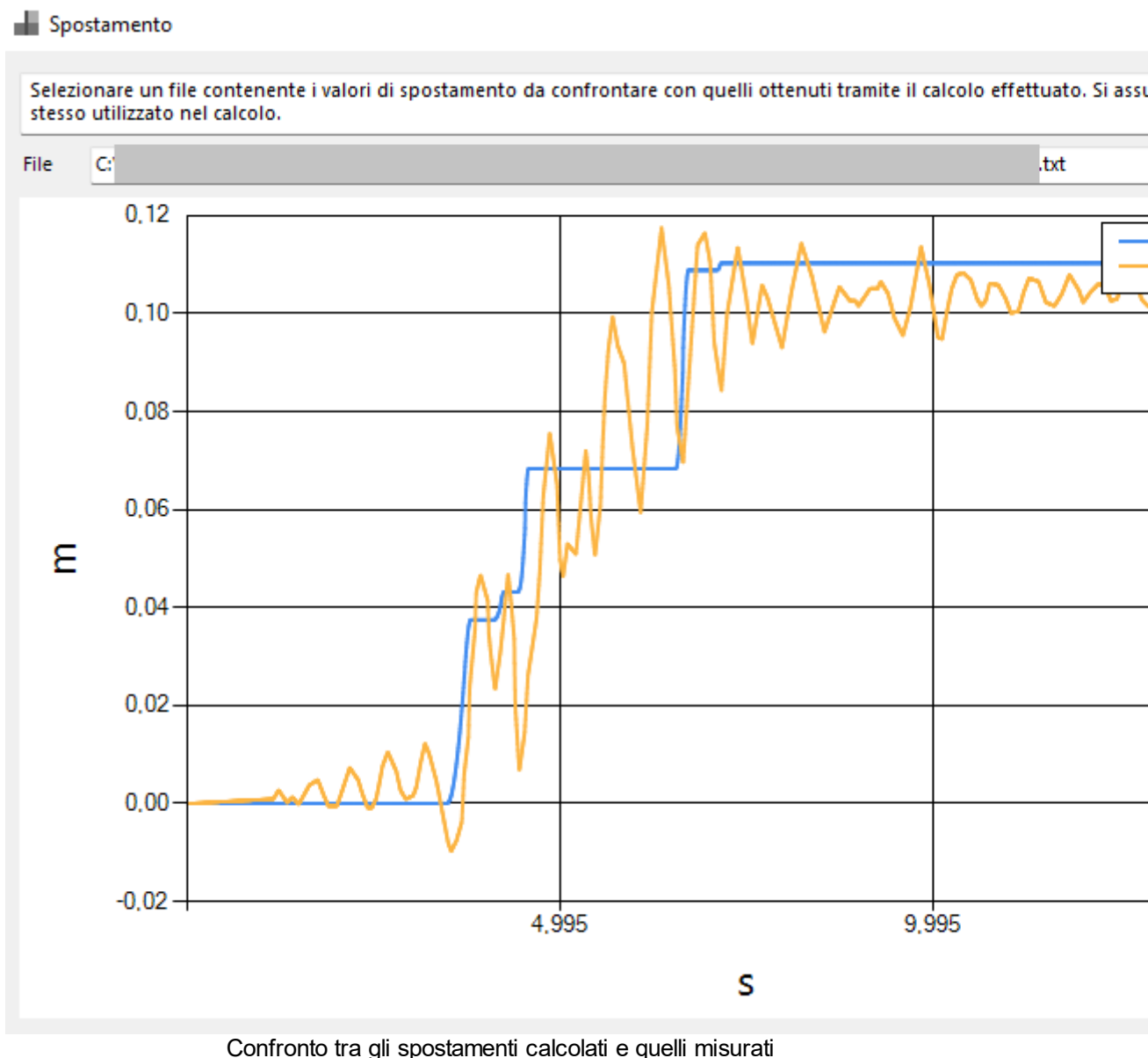
Tipo di movimento cui è sottoposta la paratia durante l'evento sismico

L'evoluzione nel tempo avrà un aspetto come quello della figura mostrata di seguito.



Evoluzione nel tempo dello spostamento della testa della paratia

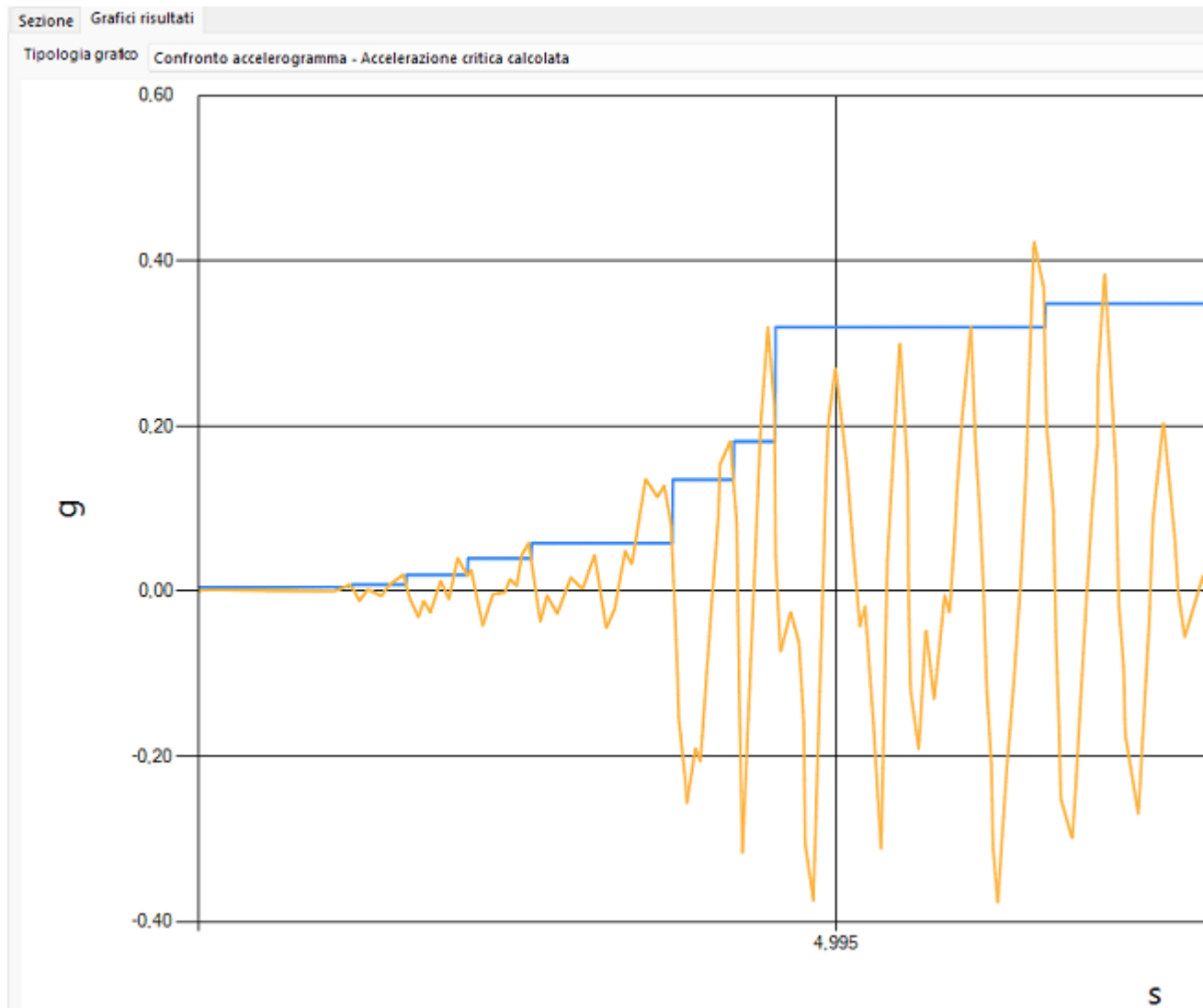
In aggiunta, su DReW Seismic è possibile confrontare l'evoluzione dello spostamento della testa della paratia ottenuta dall'analisi con quella eventualmente registrata in sito (ad esempio nel caso di una back analysis). A tal proposito, è necessario cliccare con il tasto destro sul grafico degli spostamenti e selezionare "Confronta con valori misurati". Verrà aperta una nuova finestra, nella quale è necessario selezionare la cartella in cui è salvato il file contenente i valori misurati di spostamento. Questi ultimi devono essere forniti mediante un file con estensione .txt. Dopo aver selezionato il file, il confronto tra gli spostamenti calcolati e quelli misurati sarà del tipo mostrato nella figura sottostante.



### 2.3.1.2 Accelerogramma e accelerazione critica

DReW Seismic utilizza il metodo sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#), il quale calcola la rotazione della paratia (e, di conseguenza, lo spostamento corrispondente) negli intervalli di tempo in cui l'[accelerazione del suolo](#) supera una soglia critica. Quest'ultima è assunta variabile durante l'evento sismico, come spiegato [qui](#).

Al termine della simulazione, DReW Seismic mostra il confronto tra l'accelerogramma assegnato in input e la soglia critica di accelerazione. Il confronto avrà un aspetto del tipo mostrato nella seguente figura.

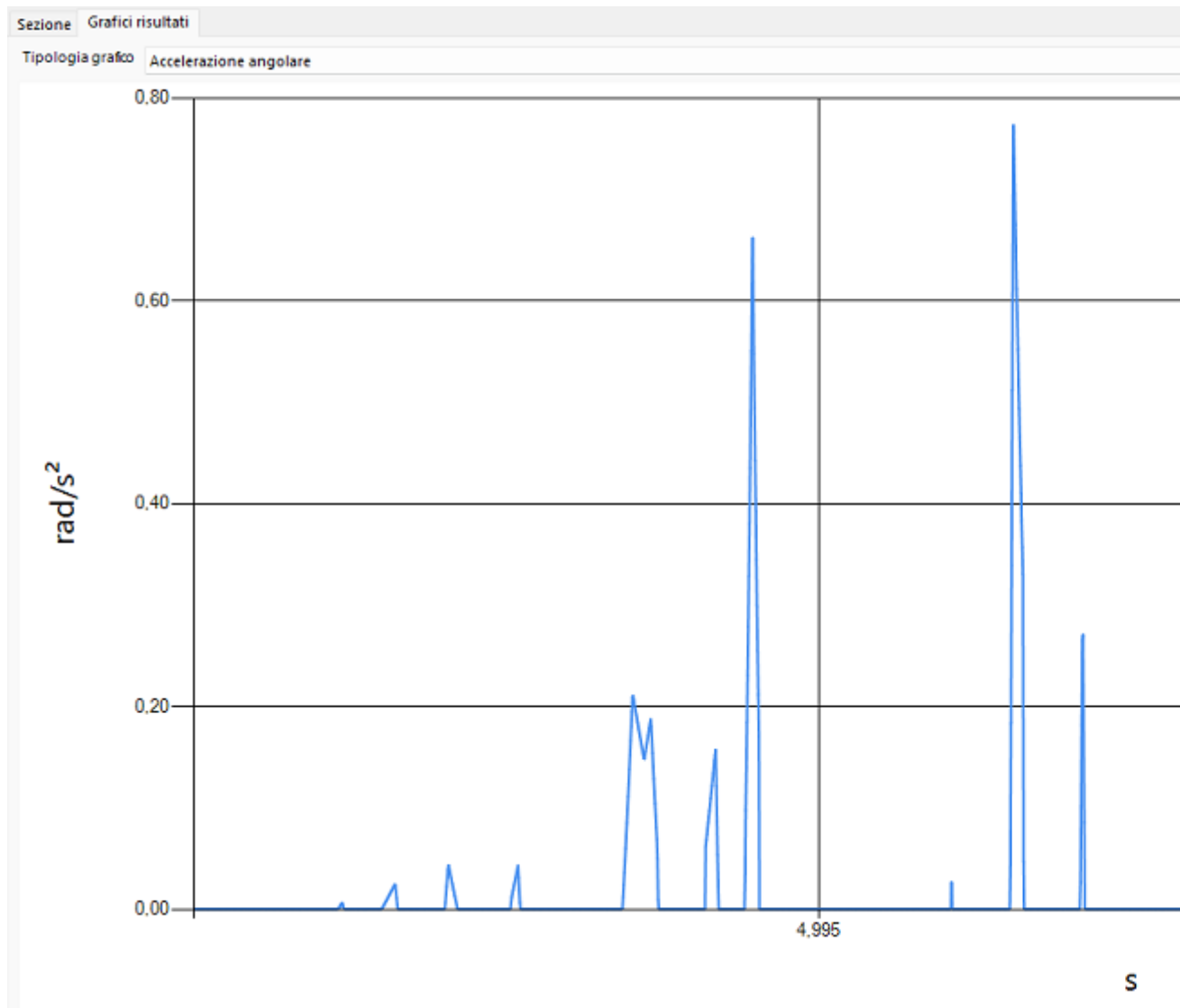


Confronto tra l'accelerogramma di input e i valori calcolati della soglia critica di accelerazione

### 2.3.1.3 Accelerazione angolare

L'accelerazione angolare viene calcolata negli intervalli di tempo in cui l'accelerazione al suolo eccede una soglia critica, risolvendo l'equazione del moto. Un tipico output dell'accelerazione angolare è mostrato nella seguente figura.

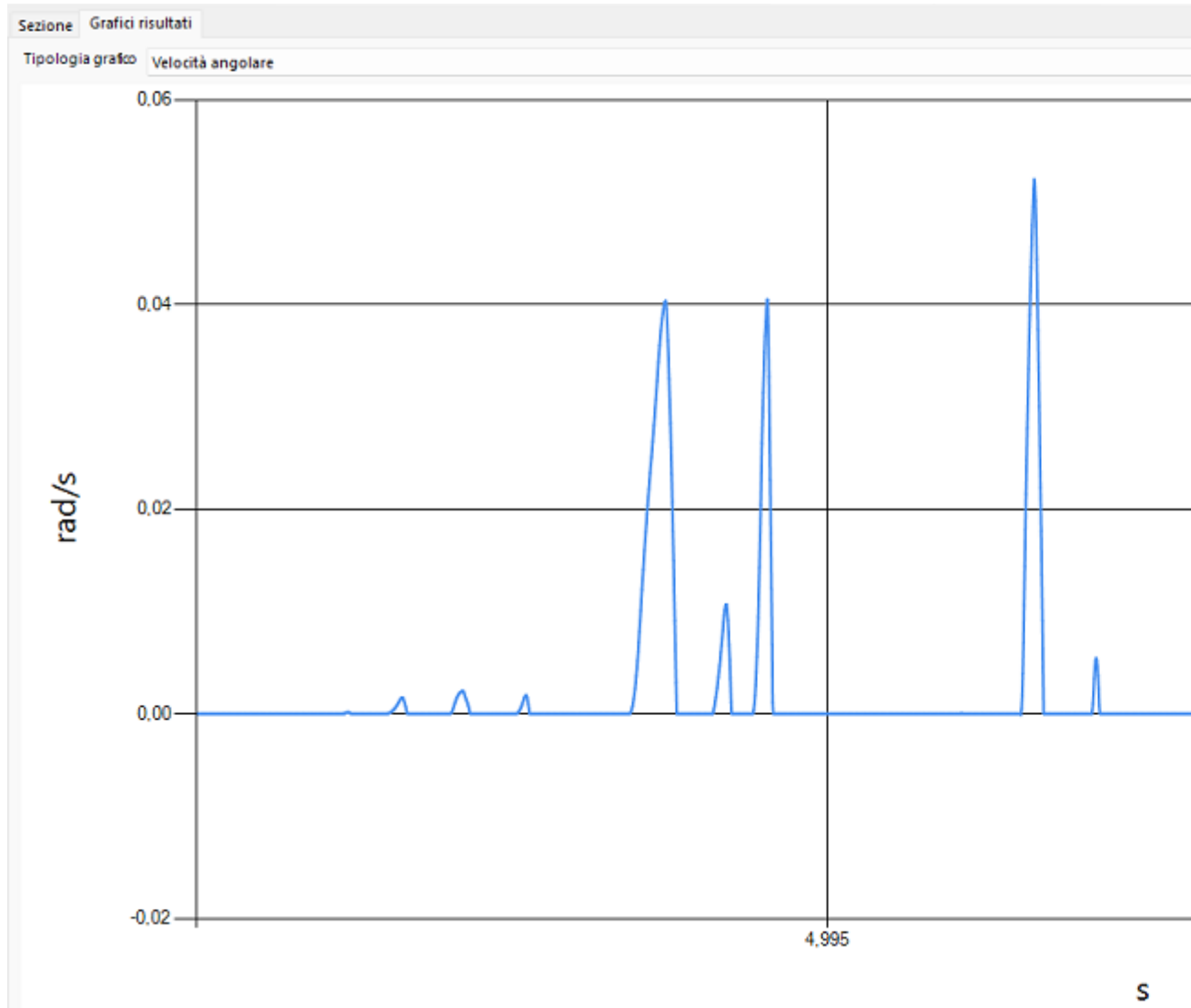




Evoluzione nel tempo dell'accelerazione angolare della paratia

#### 2.3.1.4 Velocità angolare

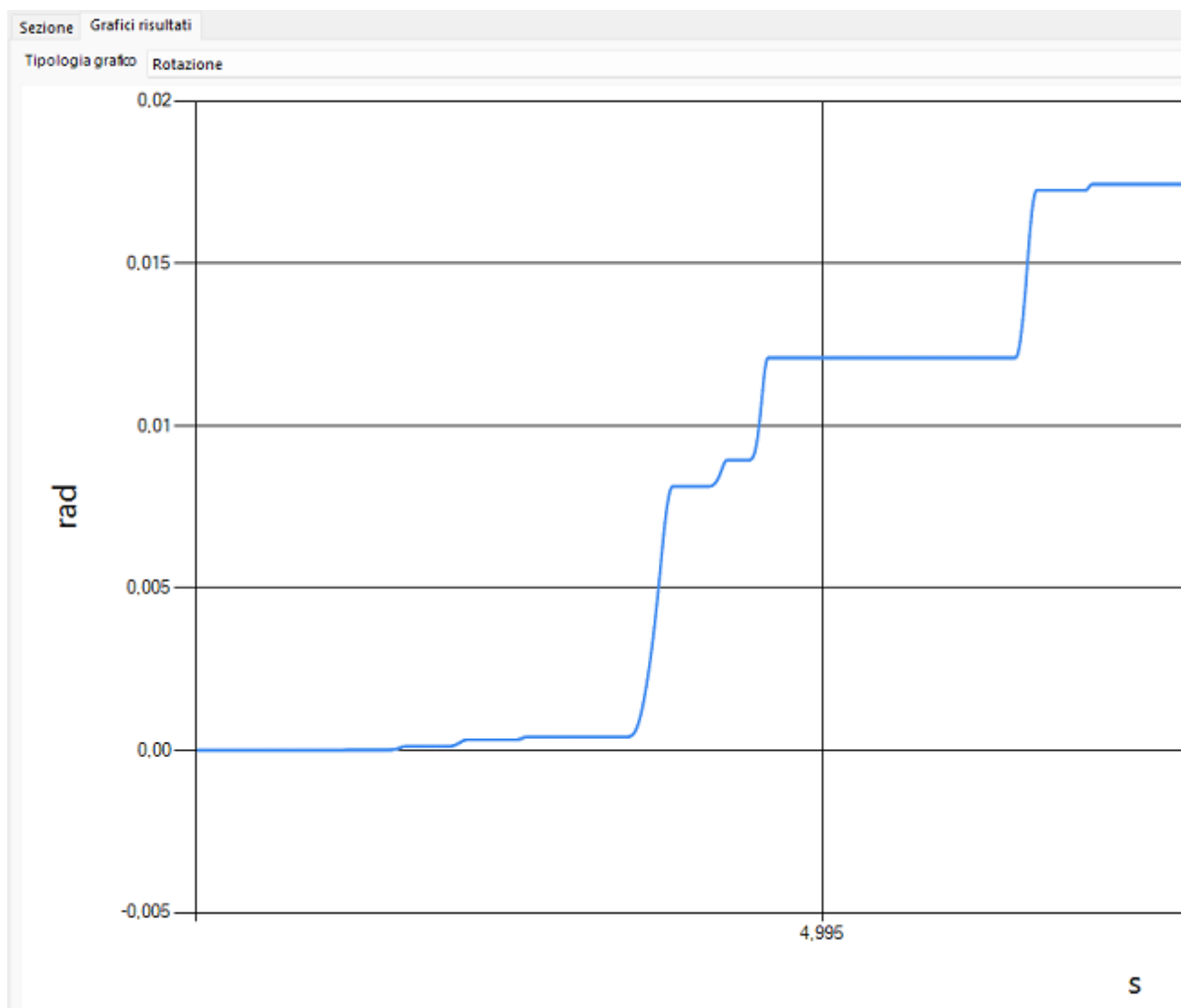
Dopo aver risolto l'equazione del moto, la velocità angolare della paratia viene calcolata integrando l'accelerazione angolare. Un tipico output della velocità angolare è mostrato nella seguente figura.



Evoluzione nel tempo della velocità angolare della paratia

#### 2.3.1.5 Rotazione

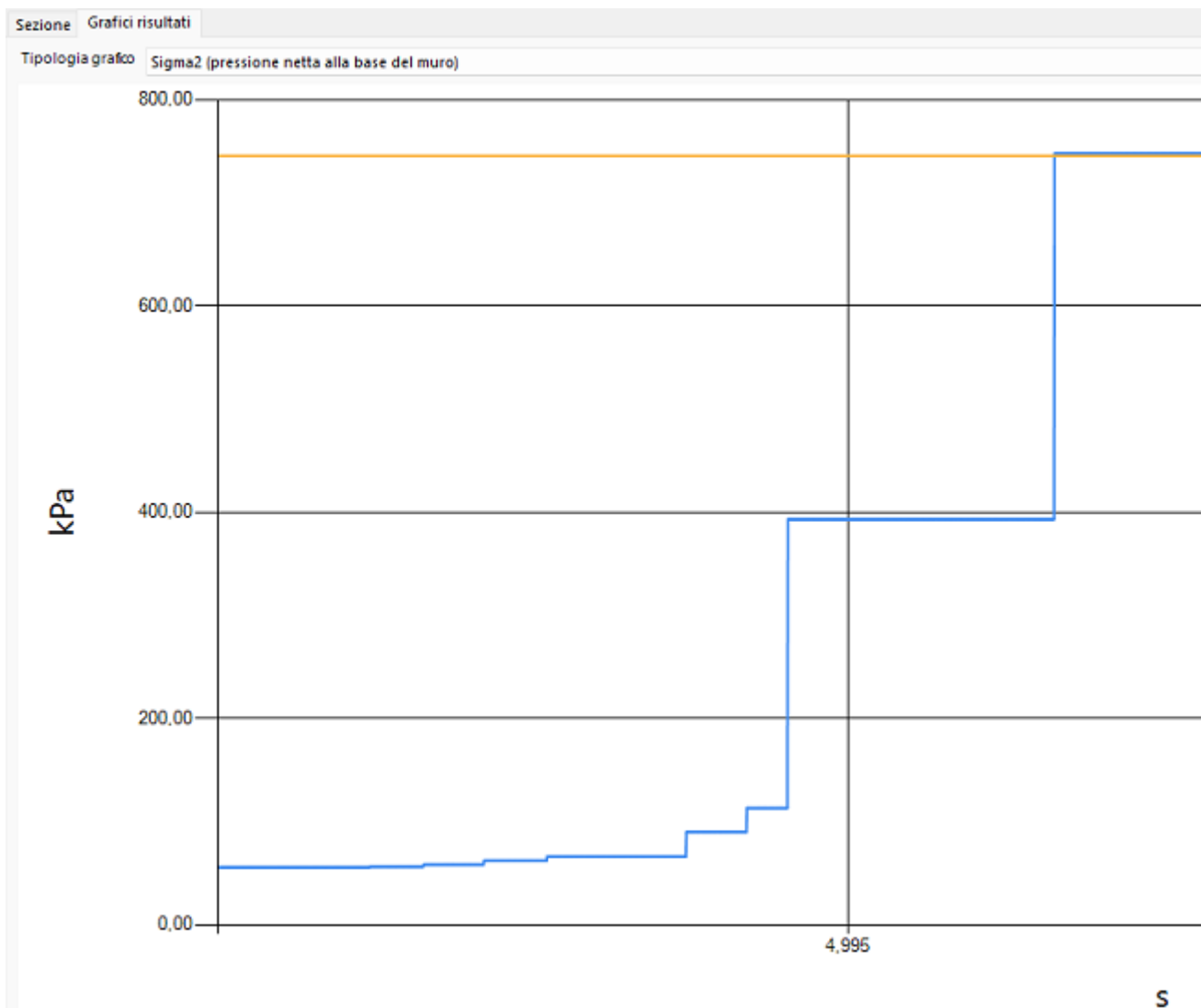
Dopo aver risolto l'equazione del moto, la rotazione della paratia viene calcolata integrando due volte l'accelerazione angolare. Un tipico output della rotazione è mostrato nella seguente figura.



Evoluzione nel tempo della rotazione della paratia

#### 2.3.1.6 Pressione netta alla base del muro

La [pressione netta](#) esercitata dal terreno sulla paratia varia durante l'evento sismico. Tuttavia, la pressione netta non può eccedere un limite superiore, corrispondente alla condizione di equilibrio limite. Per verificare che tale condizione sia sempre rispettata durante il calcolo, DReW Seismic plotta l'evoluzione nel tempo della pressione netta calcolata alla base della paratia e la confronta con il valore corrispondente alla condizione di equilibrio limite. A tal proposito, è impiegato il metodo sviluppato da [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#). Un esempio è riportato di seguito.



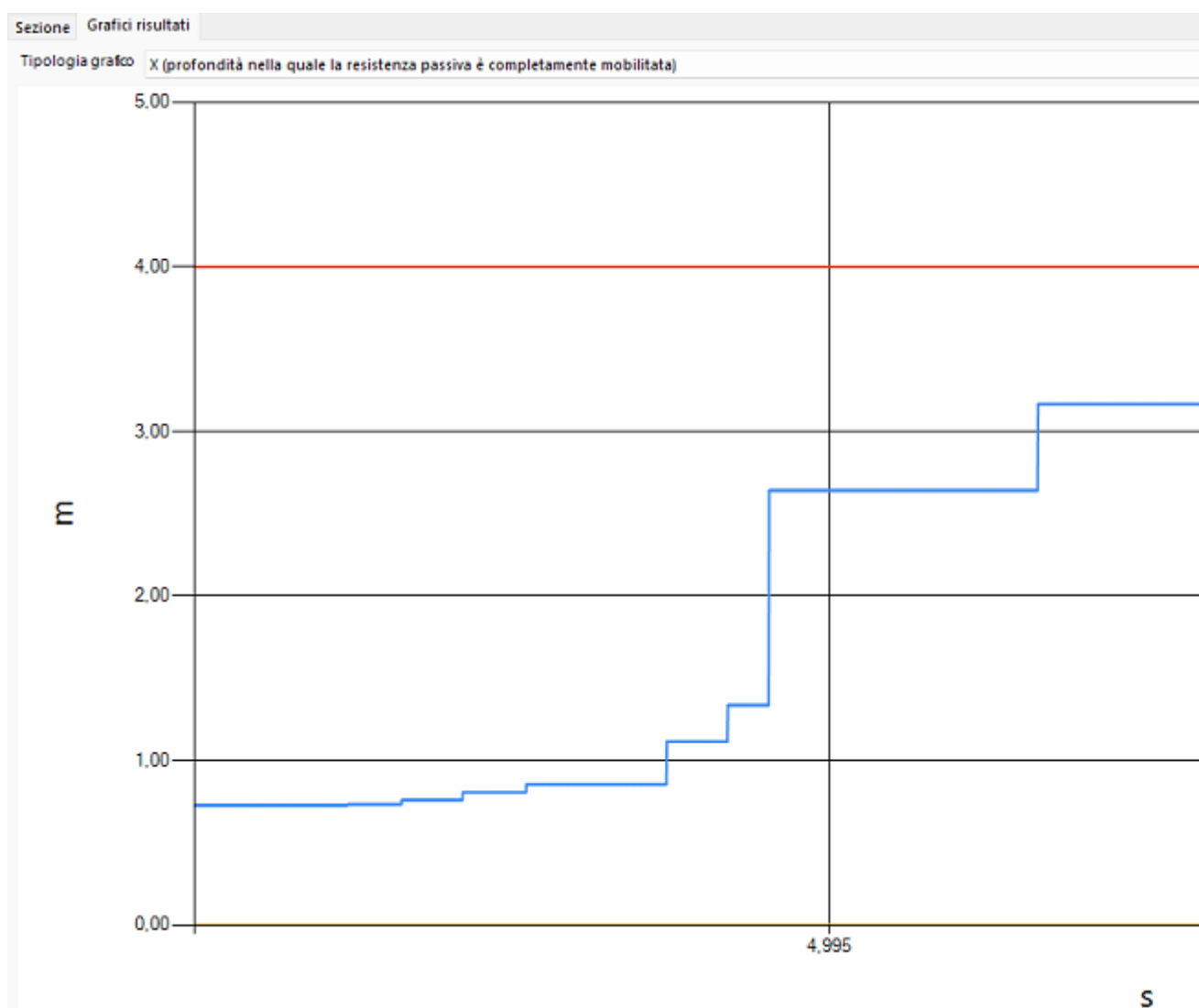
Confronto tra pressione netta calcolata alla base della paratia e la soglia massima corrispondente alla condizione di equilibrio limite

Alla fine del calcolo, l'utente deve verificare che la pressione netta calcolata alla base del muro sia sempre minore o uguale al valore limite.

#### 2.3.1.7 Profondità X

Sulla base dello studio di [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#), la resistenza passiva del terreno viene mobilitata completamente solo fino ad una profondità X, misurata a partire dal livello di scavo (vedi [qui](#)), con X che deve essere minore o uguale alla profondità di ammorsamento, D. Poiché il diagramma della pressione netta evolve durante il sisma, la porzione di terreno in cui la resistenza passiva è completamente mobilitata aumenta progressivamente. Di conseguenza, aumenta anche la profondità X.

Un esempio dell'evoluzione della profondità X durante l'evento sismico calcolata da DReW Seismic è mostrata nella figura sottostante.

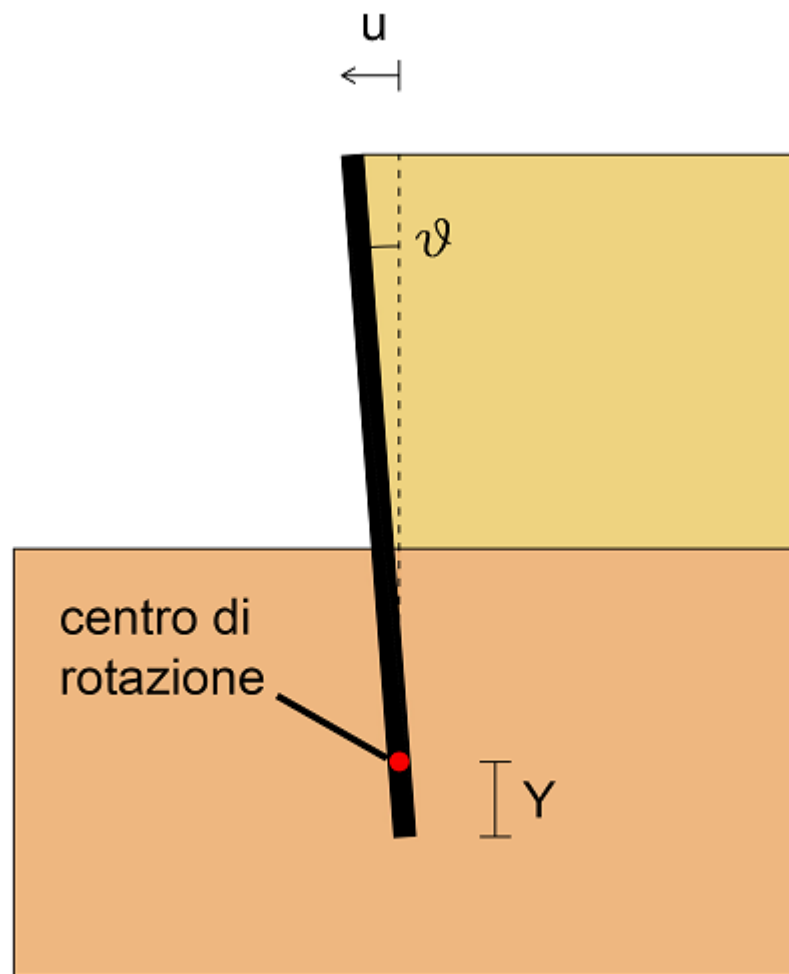


Evoluzione della profondità X durante l'evento sismico

L'utente deve verificare che la profondità X calcolata da DReW Seismic sia sempre minore o al più uguale della profondità di ammassamento. In aggiunta, bisogna verificare che X assuma valori positivi.

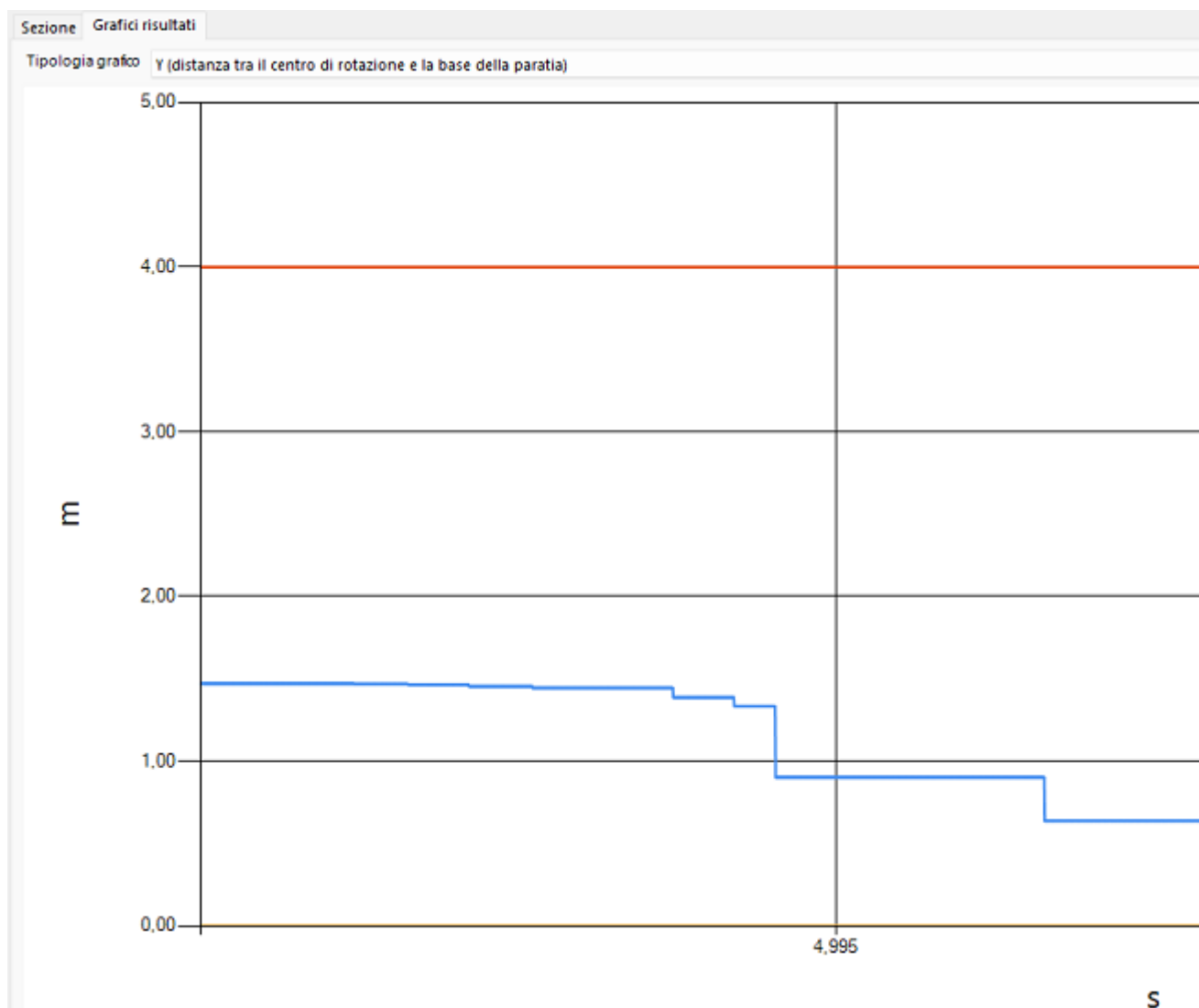
#### 2.3.1.8 Posizione del centro di rotazione

DReW Seismic è basato sul metodo sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#), nel quale si assume che la paratia è sottoposta ad una rotazione rigida ( $\theta$ ) intorno ad un punto situato in prossimità della base del muro. La distanza tra il centro di rotazione e la base del muro è indicata come Y (vedi figura sottostante).



Tipo di movimento cui è sottoposta la paratia durante l'evento sismico

La posizione del centro di rotazione varia durante l'evento sismico. In tale contesto, DReW Seismic fornisce l'evoluzione di  $Y$  nel tempo a causa del terremoto. Un esempio è riportato di seguito.



Evoluzione della posizione del centro di rotazione Y, durante il terremoto considerato

L'utente deve fare attenzione che i valori di Y forniti da DReW Seismic siano sempre positivi, e minori della profondità di ammorsamento.

### 3 Metodo di calcolo

Il metodo di calcolo impiegato su DReW Seismic è stato sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). Le principali caratteristiche del metodo sono riassunte in questa sezione.

#### **I principali step riguardano il calcolo:**

- [della distribuzione delle pressioni nette agenti sulla paratia](#)

➤ [dell'accelerazione critica](#)

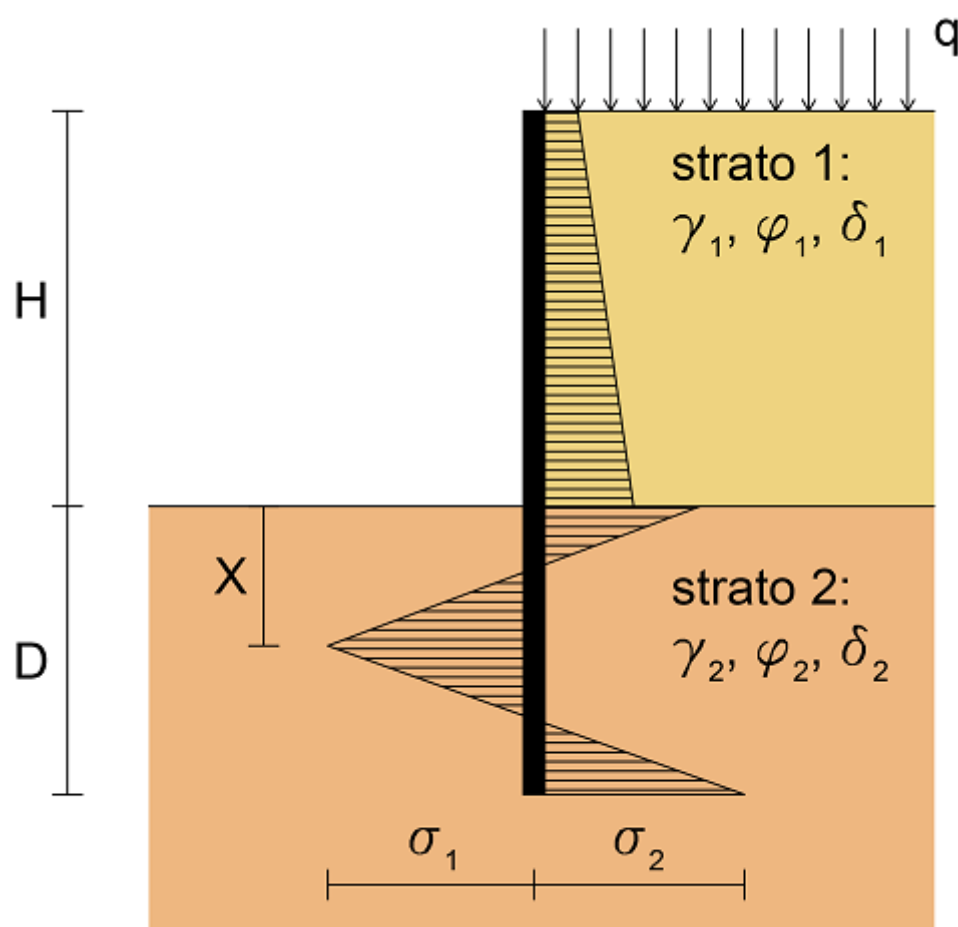
➤ [dello spostamento orizzontale della testa della paratia](#)

Poiché si tratta di un metodo dinamico, tutte le quantità sopra indicate variano nel tempo a seguito del terremoto considerato.

### 3.1 Calcolo della distribuzione delle pressioni nette

Il primo step per il calcolo dello spostamento permanente sismo-indotto di paratie libere consiste nella definizione della distribuzione delle pressioni nette esercitate dal terreno sulla struttura. In questo contesto, è necessario sottolineare che il termine *pressione netta* è utilizzato per indicare la differenza tra la tensione passiva e quella attiva agenti sul muro. A tal proposito, DReW Seismic si riferisce alla soluzione ottenuta da [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#). Un esempio di tale distribuzione è mostrato nella seguente figura.





Distribuzione delle pressioni nette agenti sulla paratia

La distribuzione delle pressioni nette dipende dal coefficiente sismico orizzontale,  $k_h$ , il quale varia durante il terremoto. Al generico istante di tempo  $t$ , il coefficiente sismico orizzontale è legato all'accelerazione del suolo  $a(t)$  mediante la seguente relazione  $k_h(t) = a(t)/g$ , in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Poiché il tipo di movimento manifestato da tali strutture consiste generalmente in una rotazione approssimativamente rigida intorno ad un punto posizionato vicino la sua base, la condizione di stato limite attivo si verifica a tergo dell'opera, al di sopra del livello di scavo. Al di sotto di tale livello, la pressione attiva e resistenza passiva sono completamente mobilitate fino ad una profondità  $X$ , mentre al di sotto di tale profondità la resistenza passiva non è completamente mobilitata. In prima approssimazione, si assume che la distribuzione delle pressioni nette varia linearmente da  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$ , come mostrato nella figura sopra riportata. Maggiori dettagli possono essere trovati nell'articolo di [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#).

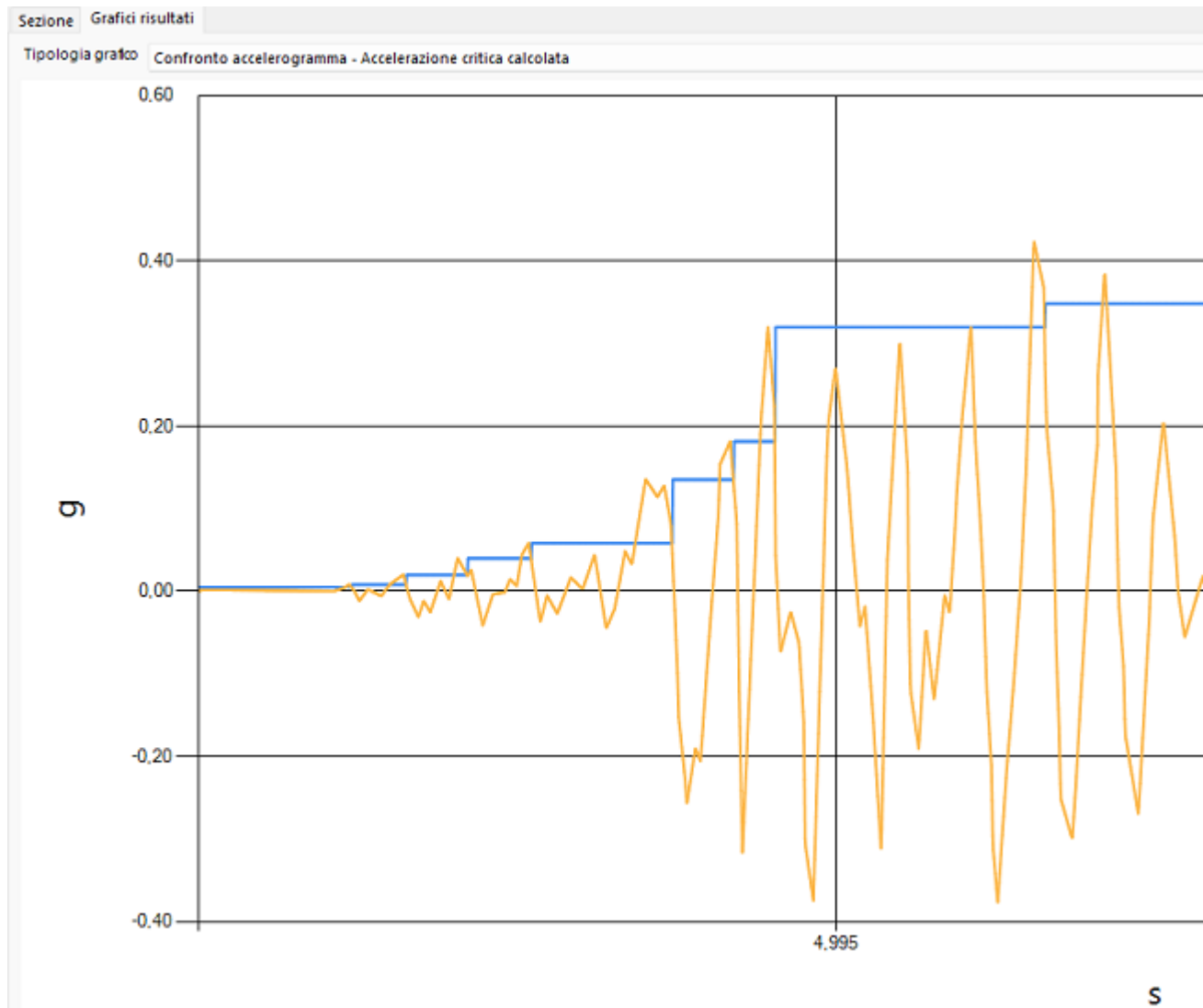
La spinta attiva e resistenza passiva agenti al di sopra della profondità  $X$  dipendono dai coefficienti di spinta attiva e resistenza passiva in condizioni sismiche,  $K_{aE}$  e  $K_{pE}$ , rispettivamente. Su DReW Seismic tali coefficienti sono valutati mediante la soluzione di [Lancellotta \(2007\)](#). La profondità  $X$  e la pressione netta alla base del muro  $\sigma_2$  sono calcolate dalla condizione di equilibrio. La loro soluzione è riportata nell'articolo di [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#).

### 3.2 Calcolo dell'accelerazione critica

Quando si considera una storia di valori di accelerazioni ([accelerogramma](#)), il movimento della paratia si verifica negli intervalli di tempo in cui l'accelerazione del terreno eccede una soglia critica, la quale varia durante l'evento sismico ([Conte, Pugliese e Troncone, 2022](#)). Nello specifico, la soglia critica di accelerazione aumenta durante il terremoto seguendo le semplici regole descritte di seguito:

1. all'inizio del terremoto, l'accelerazione critica assume un valore iniziale, il quale deve essere assegnato come input dall'utente. Questo dato deve essere impostato pari al valore 0 per una paratia di nuova costruzione. Al contrario, può essere assunto pari al massimo valore di accelerazione che ha agito sulla paratia durante i terremoti che hanno investito la struttura in precedenza. Tuttavia, in mancanza di informazioni più approfondite, l'assunzione del valore 0 anche nel caso di strutture esistenti consente di ottenere dei risultati più cautelativi. Infatti, lo spostamento sismo-indotto si riduce quando l'accelerazione critica iniziale aumenta.
2. quando l'accelerazione del suolo eccede il valore soglia attuale, quest'ultimo è mantenuto costante.
3. quando l'accelerazione del suolo ritorna al di sotto della soglia critica, quest'ultima viene aggiornata e assunta pari al massimo valore di accelerazione precedentemente osservato.
4. l'accelerazione critica non può mai eccedere un limite superiore, corrispondente alla condizione di equilibrio limite. Quest'ultimo è calcolato come spiegato nell'articolo di [Conte, Troncone e Vena \(2017\)](#).

L'esempio mostrato nella figura sottostante ha lo scopo di meglio chiarire la procedura appena descritta.



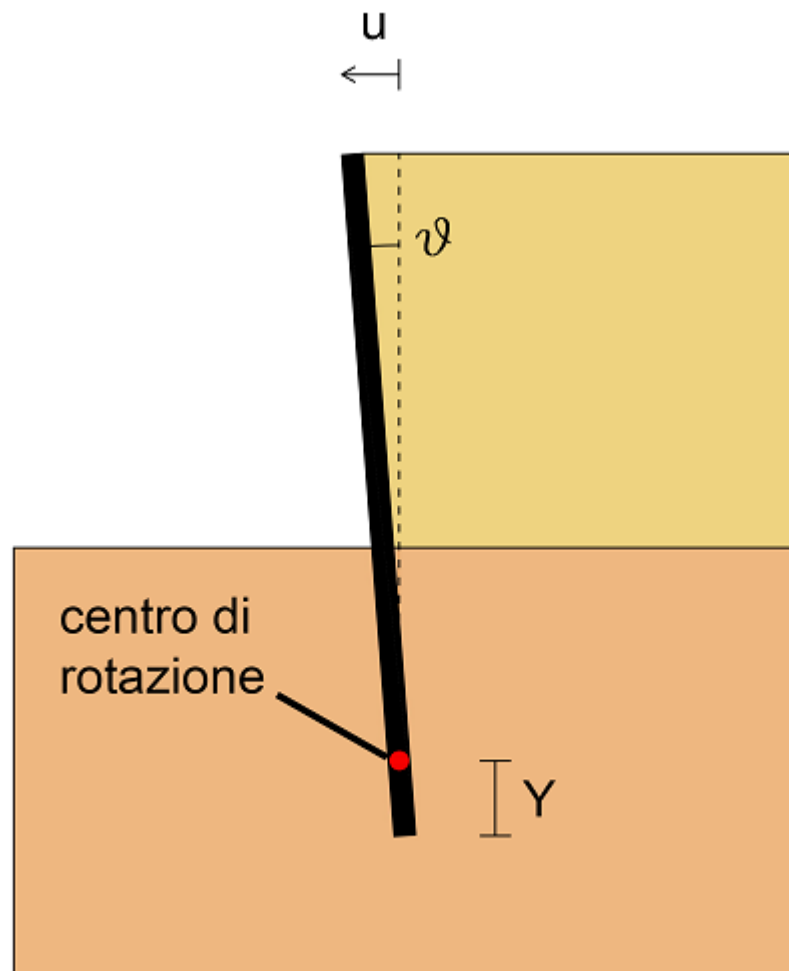
Confronto tra l'accelerogramma di input e i valori calcolati della soglia critica di accelerazione

### 3.3 Calcolo dello spostamento della paratia

Per calcolare lo spostamento della paratia a seguito del sisma, DReW Seismic confronta l'accelerogramma con la soglia di accelerazione critica per ogni istante di tempo della simulazione.

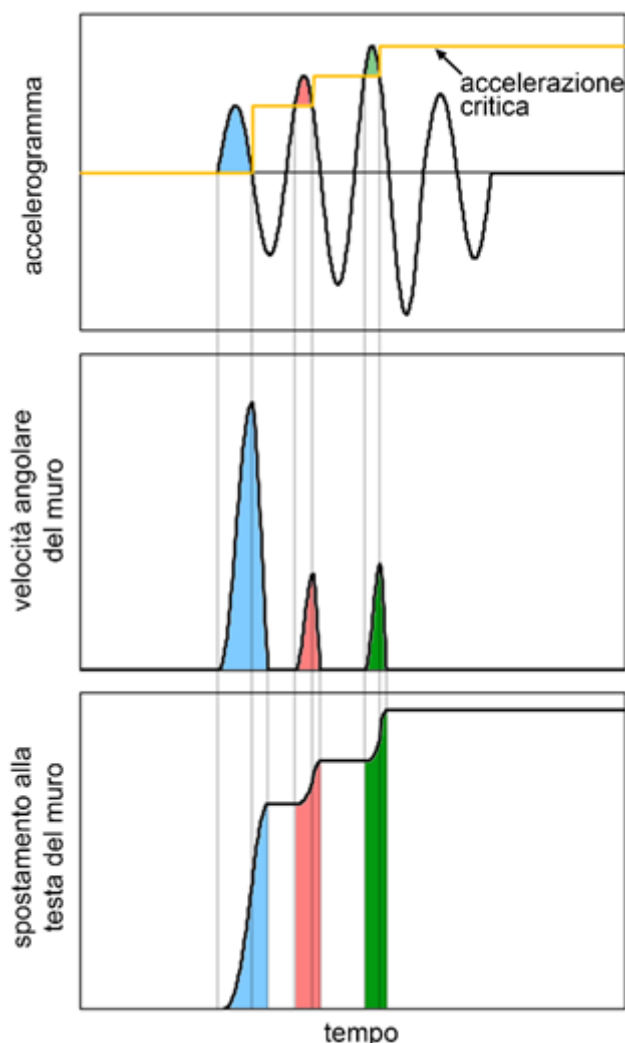
Quando l'accelerazione al suolo eccede la soglia critica, viene risolta l'equazione del moto per calcolare l'accelerazione angolare del muro. Successivamente, la velocità angolare e la rotazione ( $\theta$ ) della paratia sono calcolate mediante successive integrazioni. Tutte le equazioni impiegate sono descritte nel dettaglio nell'articolo di [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#).

Alla fine, lo spostamento alla testa della paratia ( $u$ ) è calcolato sotto la ragionevole ipotesi che la struttura ruota rigidamente intorno ad un punto situato ad una distanza  $Y$  dalla base, come mostrato nella figura sottostante.



Tipo di movimento cui è sottoposta la paratia durante l'evento sismico

Una rappresentazione schematica della procedura di integrazione è mostrata nella seguente figura.



Rappresentazione schematica della procedura di integrazione dell'equazione del moto

## 4 Validazione

DReW Seismic consente la predizione dello spostamento permanente di paratie libere indotto da terremoti. A tal proposito, viene impiegato il metodo sviluppato da [Conte, Pugliese e Troncone \(2022\)](#). Questo metodo è stato validato mediante il confronto con i risultati sia di prove sperimentali che di simulazioni numeriche avanzate. Per ogni caso di studio considerato, è sempre stato riscontrato un buon accordo tra predizione e osservazione, come documentato [qui](#).

Tuttavia, un esempio svolto viene mostrato in questa sezione, per ragioni di completezza. Nello specifico, DReW Seismic è impiegato nel seguito per analizzare il caso di studio sperimentale documentato da [Madabhushi & Zeng \(2006\)](#). Questo caso riguarda una paratia libera caratterizzata da un'altezza di scavo  $H = 7.20$  m ed una profondità di ammorsamento  $D = 7.20$  m. La paratia è realizzata da un diaframma in alluminio con uno spessore  $B = 0.264$

m e un peso specifico  $\gamma_{\text{wall}} = 27 \text{ kN/m}^3$ . La paratia è realizzata in uno strato omogeneo di sabbia asciutta caratterizzata dai seguenti parametri: peso dell'unità di volume  $\gamma = 16.4 \text{ kN/m}^3$ , angolo di resistenza al taglio  $\phi = 34^\circ$  ed angolo di attrito terreno-struttura  $\delta = 12^\circ$ .

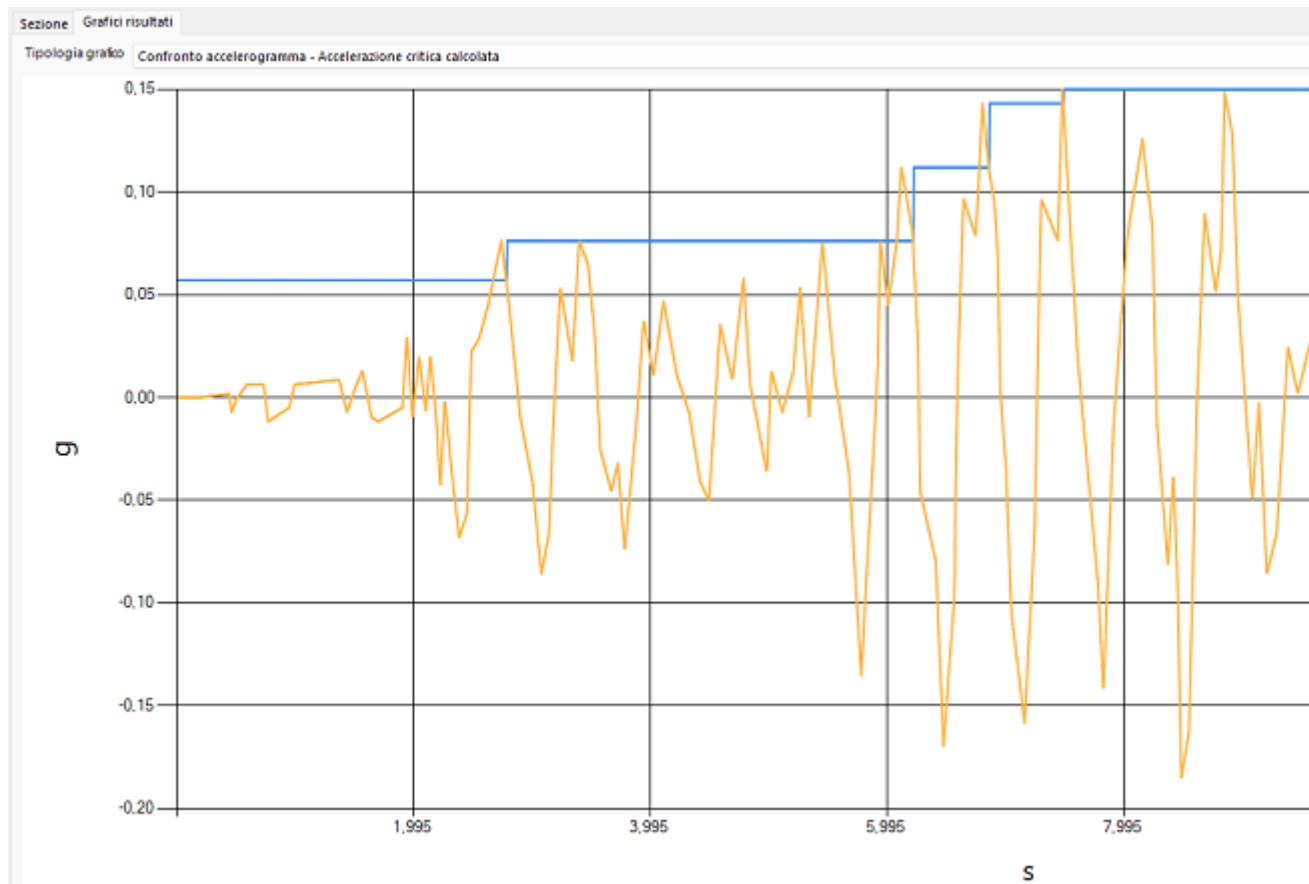
La paratia è stata sottoposta a due terremoti consecutivi, indicati EQ1 ed EQ2, rispettivamente. I file .txt contenenti gli accelerogrammi di tali eventi, e i corrispondenti spostamenti misurati, possono essere scaricati da [questo link](#). Questi file sono composti da una sola colonna, relativa ai valori di accelerazione o di spostamento. Il corrispondente passo temporale è pari a 0.005 s.

I parametri di input su indicati sono inseriti nel software seguendo la procedura descritta in [questa sezione](#). Successivamente, è possibile [eseguire](#) il calcolo. In particolare, nel seguito si eseguono due analisi, una per ogni terremoto.

Nella prima analisi si considera il terremoto EQ1. Poiché il muro era stato precedentemente sottoposto ad ulteriori vibrazioni, l'accelerazione critica iniziale viene calibrata in modo tale da ottimizzare l'evoluzione degli spostamenti calcolata rispetto a quella osservata, mediante una procedura di tipo *trial and error*. Il valore di accelerazione critica risultante è pari a  $0.56 \text{ m/s}^2$ .

Nelle figure in basso sono riportati rispettivamente:

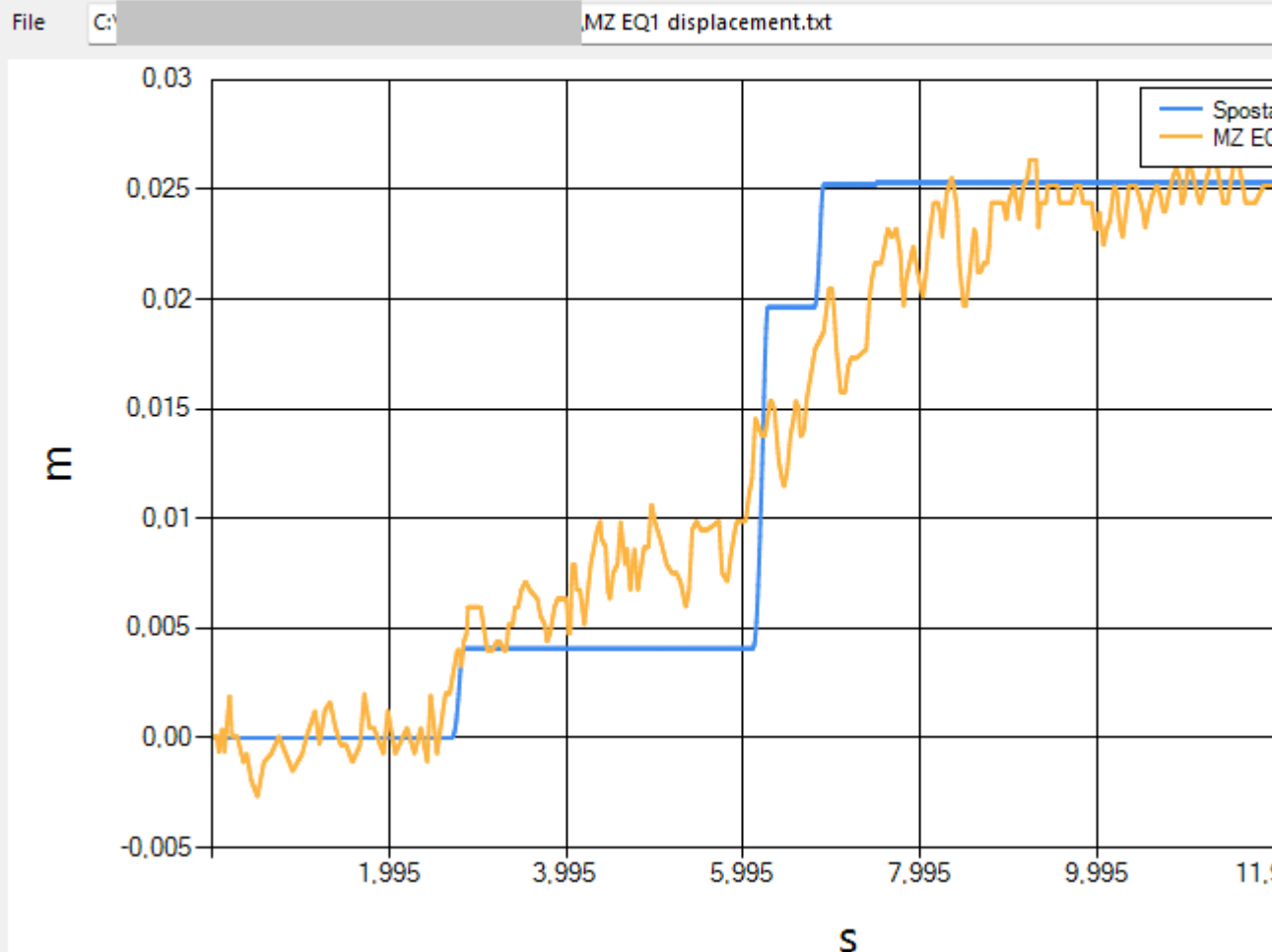
- il confronto tra l'accelerogramma e i valori calcolati di accelerazione critica;
- il confronto tra lo spostamento calcolato nel tempo da DReW Seismic e quello misurato.



Confronto tra l'accelerogramma dato in input e i valori di accelerazione critica calcolati da DReW Seismic, per il terremoto EQ1

### Spostamento

Selezionare un file contenente i valori di spostamento da confrontare con quelli ottenuti tramite il calcolo effettuato. Si assume che il file sia lo stesso utilizzato nel calcolo.



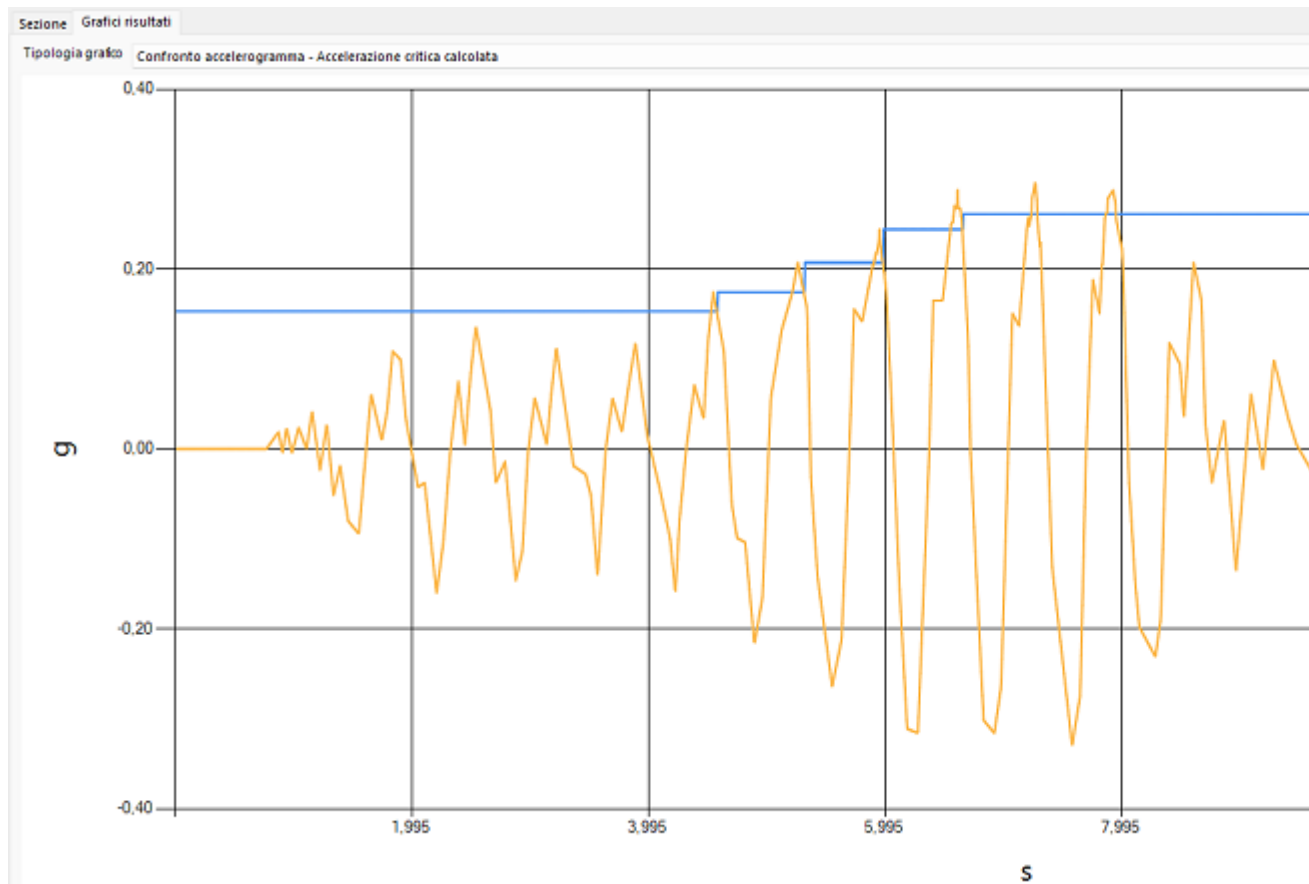
Confronto tra l'evoluzione sperimentale dello spostamento nel tempo (curva arancione) e quella calcolata da DReW Seismic (curva blu), per il terremoto EQ1

Nella seconda analisi viene analizzato il terremoto EQ2. Poiché tale terremoto ha colpito la struttura dopo EQ1, il valore di accelerazione critica iniziale è assunto pari al massimo valore di accelerazione registrata durante EQ1, nella direzione dello scavo (cioè tra i valori positivi).

Nelle figure in basso sono riportati rispettivamente:

- il confronto tra l'accelerogramma e i valori calcolati di accelerazione critica;
- il confronto tra lo spostamento calcolato nel tempo da DReW Seismic e quello misurato.

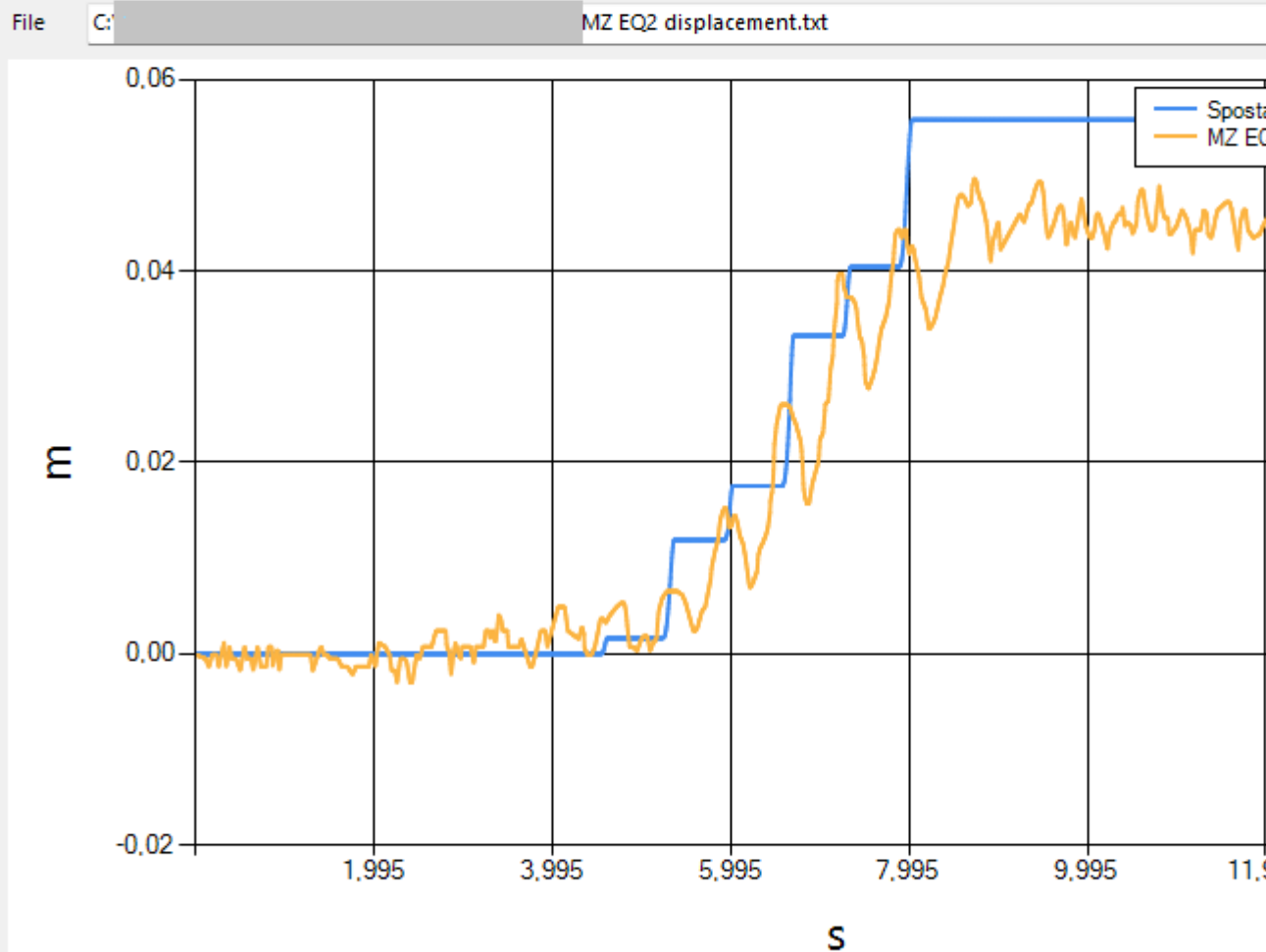




Confronto tra l'accelerogramma dato in input e i valori di accelerazione critica calcolati da DReW Seismic, per il terremoto EQ2

## Spostamento

Selezionare un file contenente i valori di spostamento da confrontare con quelli ottenuti tramite il calcolo effettuato. Si assume che il file sia lo stesso utilizzato nel calcolo.



Come è possibile osservare, DReW Seismic fornisce una predizione soddisfacente dello spostamento sismo-indotto di paratie libere mediante l'impiego di un metodo di analisi molto semplice da utilizzare.

## 5 Contatti

[Contatti](#)



**Telefono**

0690289085

**Whatsapp**

0040 737 28 38 54

**E-mail**[info@geostru.eu](mailto:info@geostru.eu)[office@geostru.eu](mailto:office@geostru.eu)**Orari**

Lunedì – Venerdì Ore 9-17

**Supporto**

**Assistenza:** Per il servizio di assistenza usare preferibilmente l'area dedicata di supporto ([Ticket](#)).

DReW Seismic è disponibile alla relativa [pagina del prodotto](#).