



Studio della risposta sismica locale con Flac2D

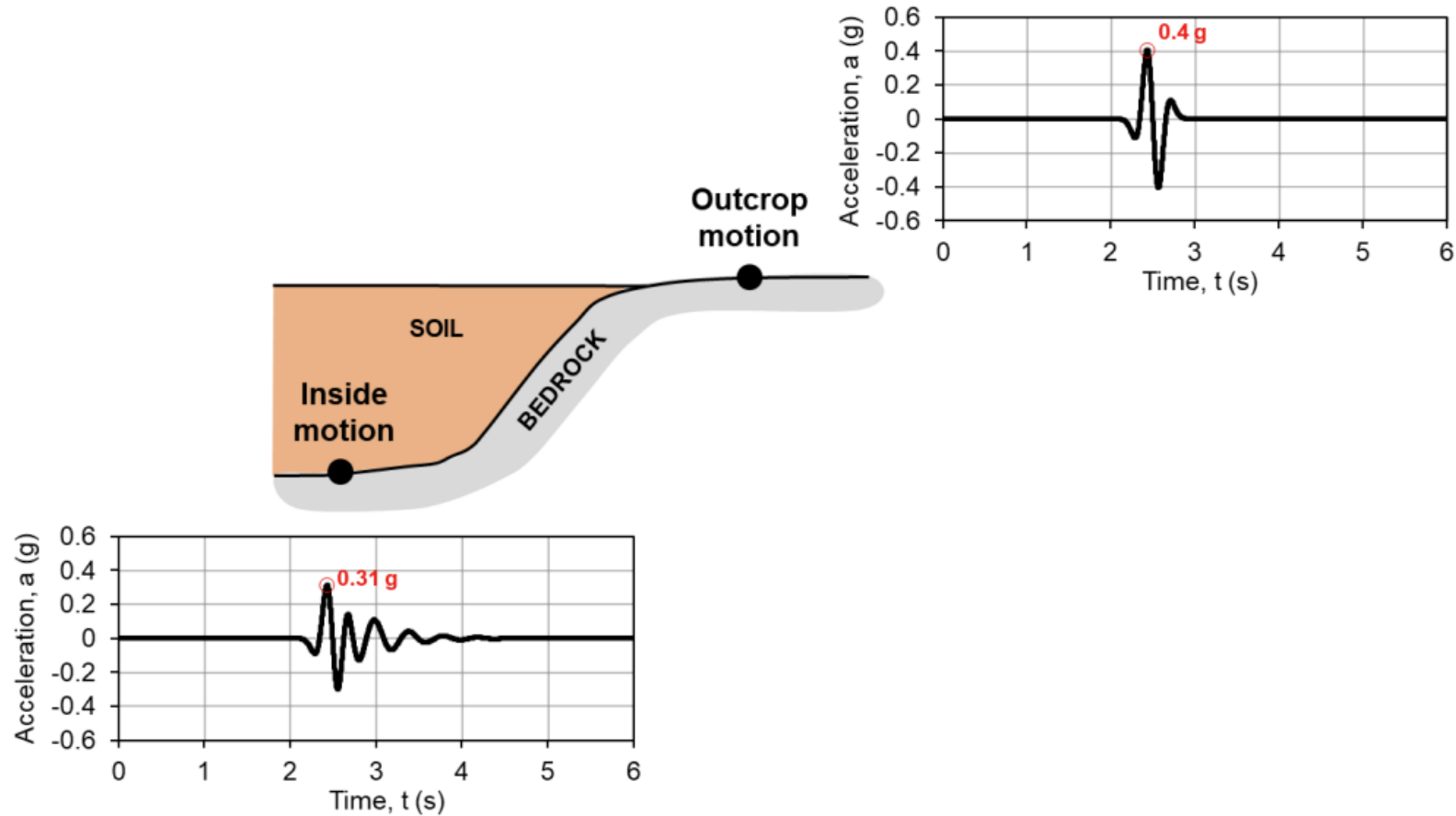
Ing. Samuele Perni

Technical Presales

Divisione calcolo strutturale e geotecnico

perni@harpaceas.it

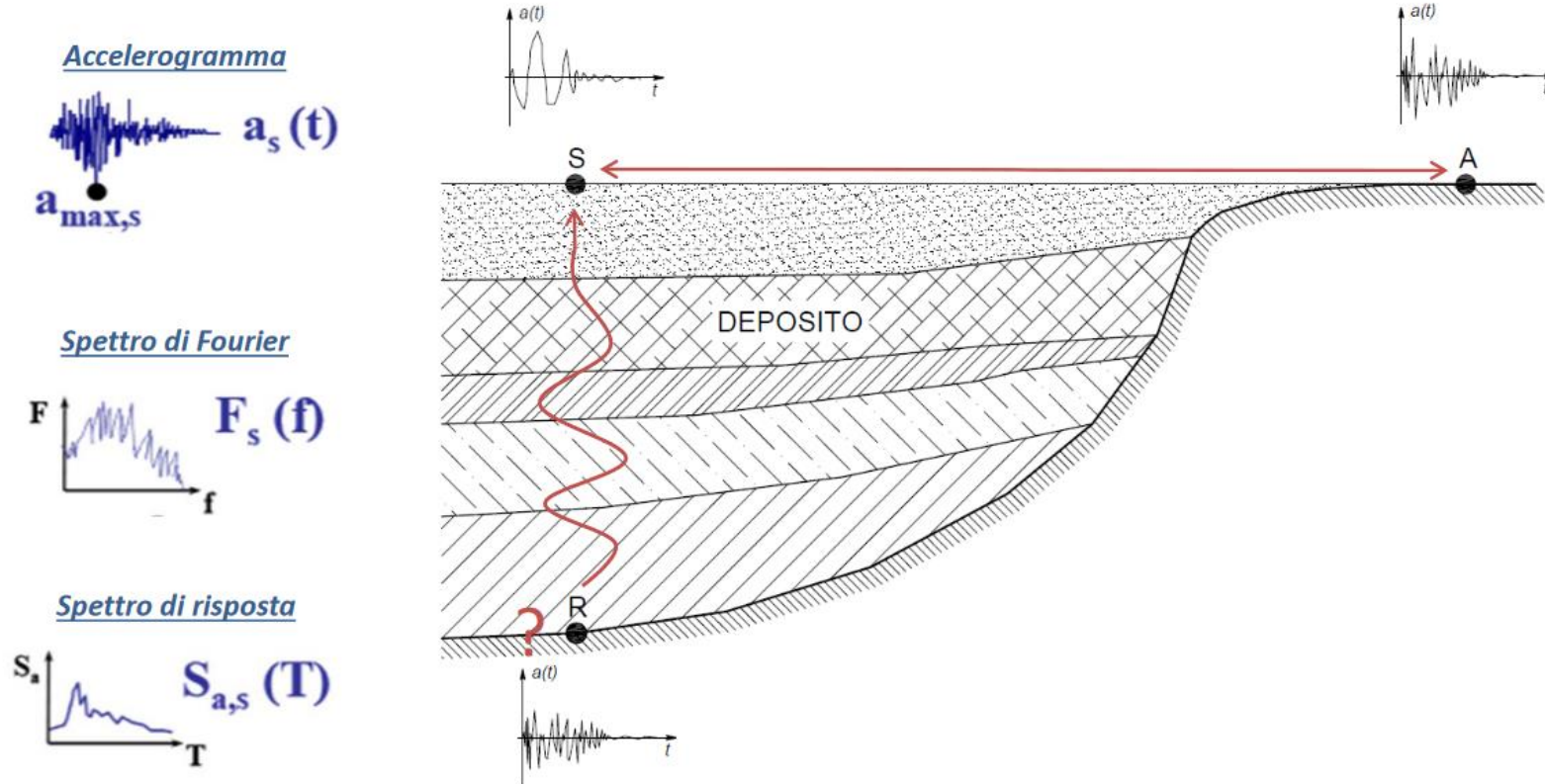
Analisi di risposta sismica locale



CENNI TEORICI

Dal punto di vista strettamente fisico, per **ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE** si intende la valutazione quantitativa delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite da un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Dal punto di vista tecnico, è forse più significativa una valutazione alternativa di tale fenomeno, cioè quella che assume come moto sismico di riferimento quello relativo ad un ipotetico (o reale) affioramento della formazione rocciosa di base

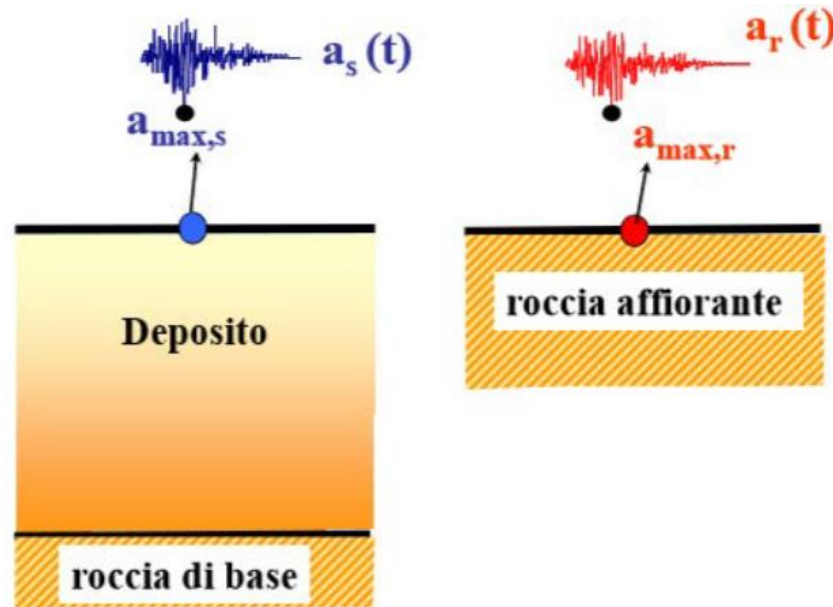


Valutazione della risposta sismica locale in termini di accelerazione massima

Nel dominio del tempo, il parametro più significativo è il rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie del terreno ($a_{max,S}$) e quella in corrispondenza della formazione rocciosa ($a_{max,R}$), rapporto che prende il nome di fattore di amplificazione.

$$FA = \frac{a_{max,s}}{a_{max,r}}$$

Questo può essere maggiore o minore dell'unità, a seconda che l'accelerazione massima in superficie risulti maggiore o minore di quella su roccia.



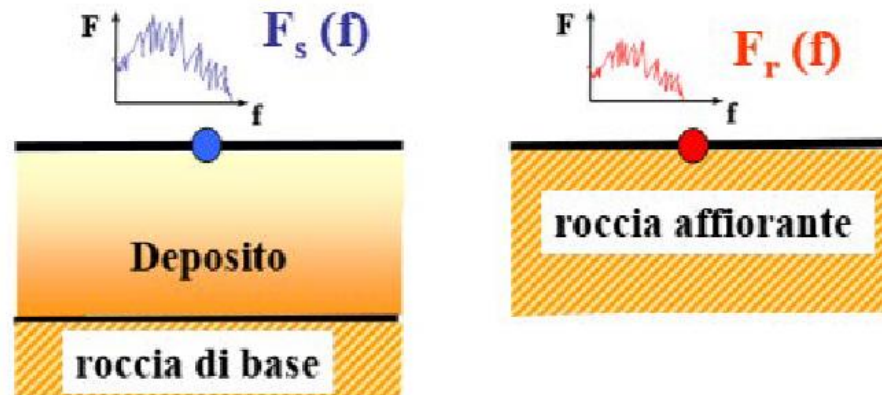
Valutazione della risposta sismica locale in termini di analisi di Fourier

Il terreno agisce come un «filtro», incrementando l'ampiezza del moto in corrispondenza di determinate frequenze e riducendola per altre. La valutazione dell'effetto di filtraggio esercitato dal terreno sul moto sismico di riferimento è più efficace e completa se effettuata operando nel dominio delle frequenze. Ciò si ottiene attraverso la cosiddetta funzione di trasferimento $H(f)$, che corrisponde al rapporto tra lo spettro di Fourier del moto alla superficie del terreno e quello dell'analogo componente in corrispondenza dell'affioramento della formazione rocciosa.

$$H(f) = \frac{F_s(f)}{F_r(f)}$$

Trattandosi del rapporto tra due funzioni in generale complesse, la $H(f)$ è a sua volta anch'essa complessa; il suo modulo, cioè lo spettro di ampiezza $A(f)$, è la cosiddetta funzione di amplificazione

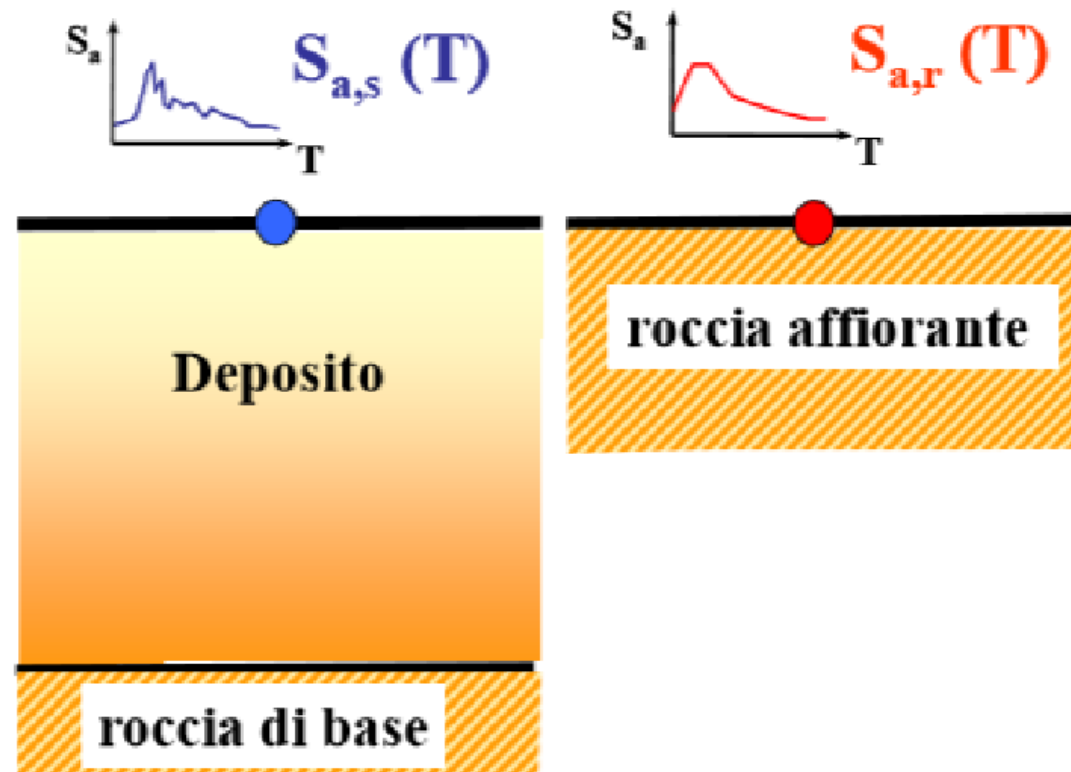
$$A(f) = |H(f)|$$



Valutazione della risposta sismica locale in termini di spettri di risposta

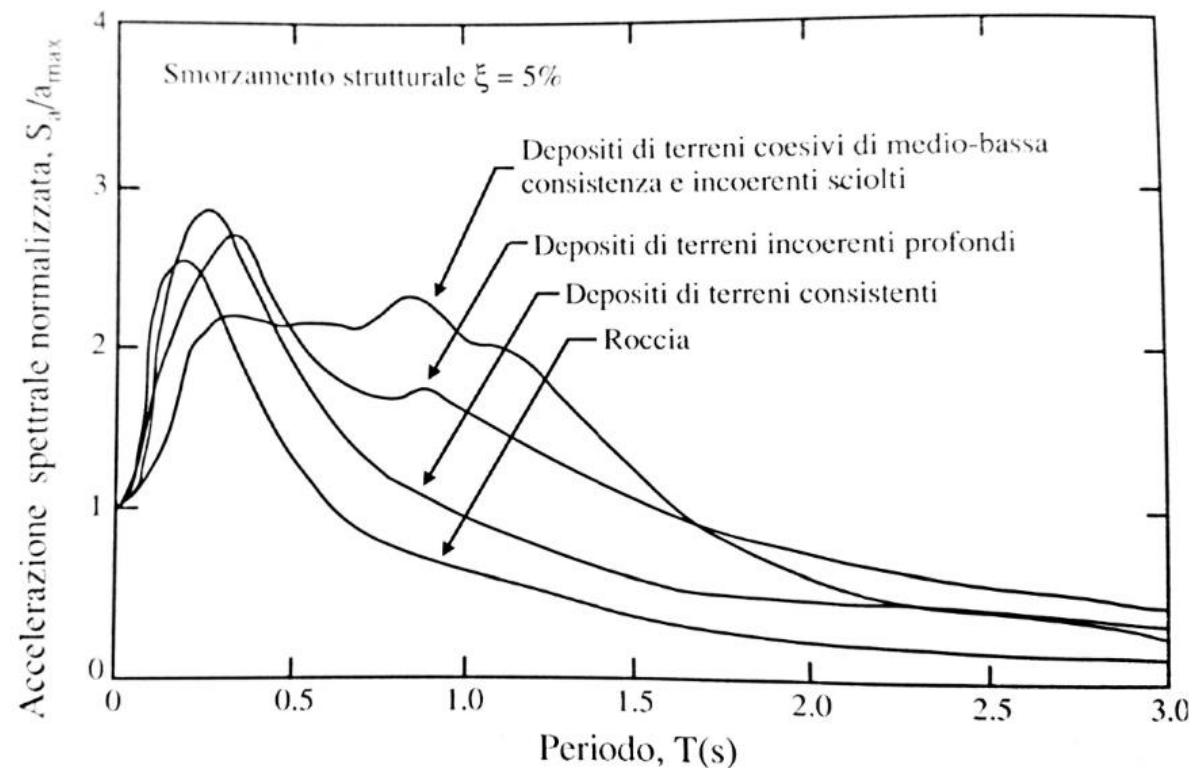
Il rapporto tra lo spettro di risposta in accelerazione del moto sul deposito e lo spettro di risposta in accelerazione del moto sulla roccia affiorante viene definita funzione di amplificazione $FA(t)$:

$$FA(T) = \frac{S_{a,s}(T)}{S_{a,r}(T)}$$

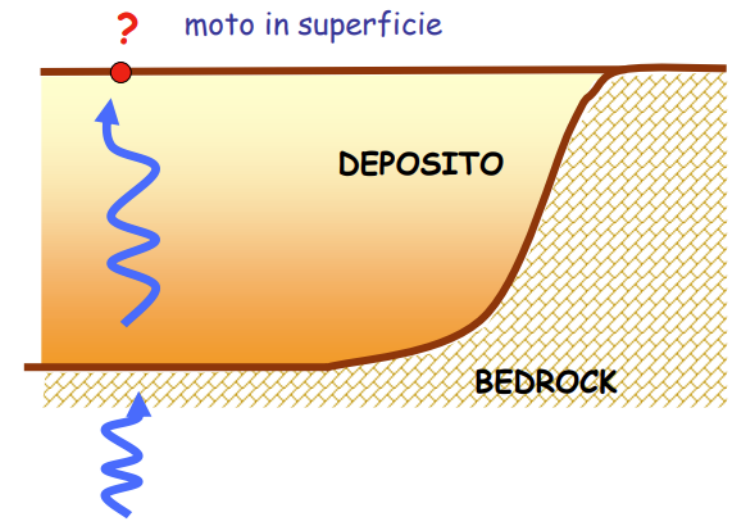


Influenza della natura del deposito sullo spettro di risposta

La prassi ingegneristica per la progettazione strutturale in zona sismica prevede l'impiego di spettri di risposta di accelerazione. Fissato un evento atteso, in base ad un'analisi della pericolosità regionale, gli spettri di risposta sono notevolmente influenzati dalle condizioni locali. La dipendenza dello spettro di risposta dalla natura del terreno è stata puntualizzata da un celebre lavoro di Seed et al. (1974) che hanno esaminato statisticamente gli spettri di risposta di 104 registrazioni relative a 23 eventi sismici avvenuti negli Stati Uniti, Giappone e Turchia in relazione alle diverse caratteristiche stratigrafiche dei siti raggruppabili in quattro classi: Roccia, depositi di terreni consistenti, depositi di terreni incoerenti profondi, depositi di terreni coesivi di consistenza medio-bassa e incoerenti sciolti.



METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA RSL



METODI EMPIRICI

Sono pratici e poco costosi e basati su analisi statistiche.

Si utilizzano per valutazioni di massima e/o in situazioni semplici. (Utilizzati da alcune normative sismiche come NTC18).

METODI APPROSSIMATI

Sono pratici e poco costosi e in genere disponibili per effettuare la valutazione di effetti stratigrafici (1D).

METODI NUMERICI

Sono allo stato attuale i metodi che restituiscono una previsione più accurata del fenomeno e si adattano a situazioni complesse.

METODI SPERIMENTALI

Sono più o meno costosi e basati su indagini in sito della risposta del sottosuolo sollecitato attraverso varie modalità.

METODI NUMERICI

Fasi dell'analisi numerica

Si tratta di modelli numerici in grado di simulare il fenomeno della propagazione 1D, 2D e 3D delle onde sismiche dal basamento all'interno di un deposito superficiale, consentendo di modellare situazioni complesse dal punto di vista della geometria e della stratigrafia.

Tali metodi si articolano in tre fasi:

1) DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOMETRICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Gli strati devono essere caratterizzati in termini di peso dell'unità di volume, velocità delle onde di taglio V_S , coefficiente di Poisson ν ; per analisi non lineari sono poi necessari altri parametri descrittivi del comportamento ciclico dei terreni (ad. es. curve $G/G_0 - \gamma$ e $D/D_0 - \gamma$);

2) DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

- Registrazioni (weak o strong motion) all'affioramento del basamento;
- Accelerogrammi, naturali o artificiali, compatibili con lo spettro di risposta su roccia atteso al sito e derivante da studi probabilistici, deterministici o da normativa;

3) ANALISI ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI

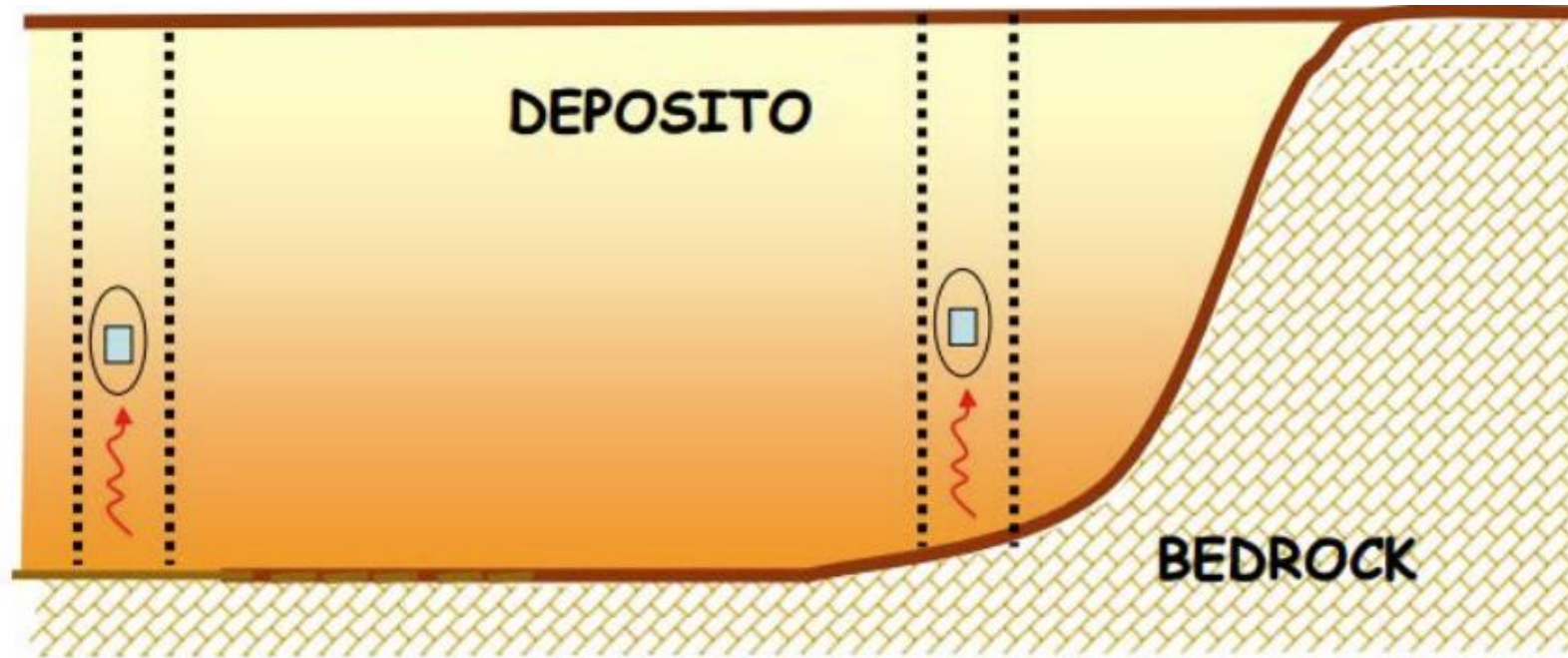
- Scelta del tipo di modello da adottare (1D, 2D o 3D), analisi e calcolo dei parametri che definiscono la risposta sismica locale ai fini della progettazione strutturale.

DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOMETRICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

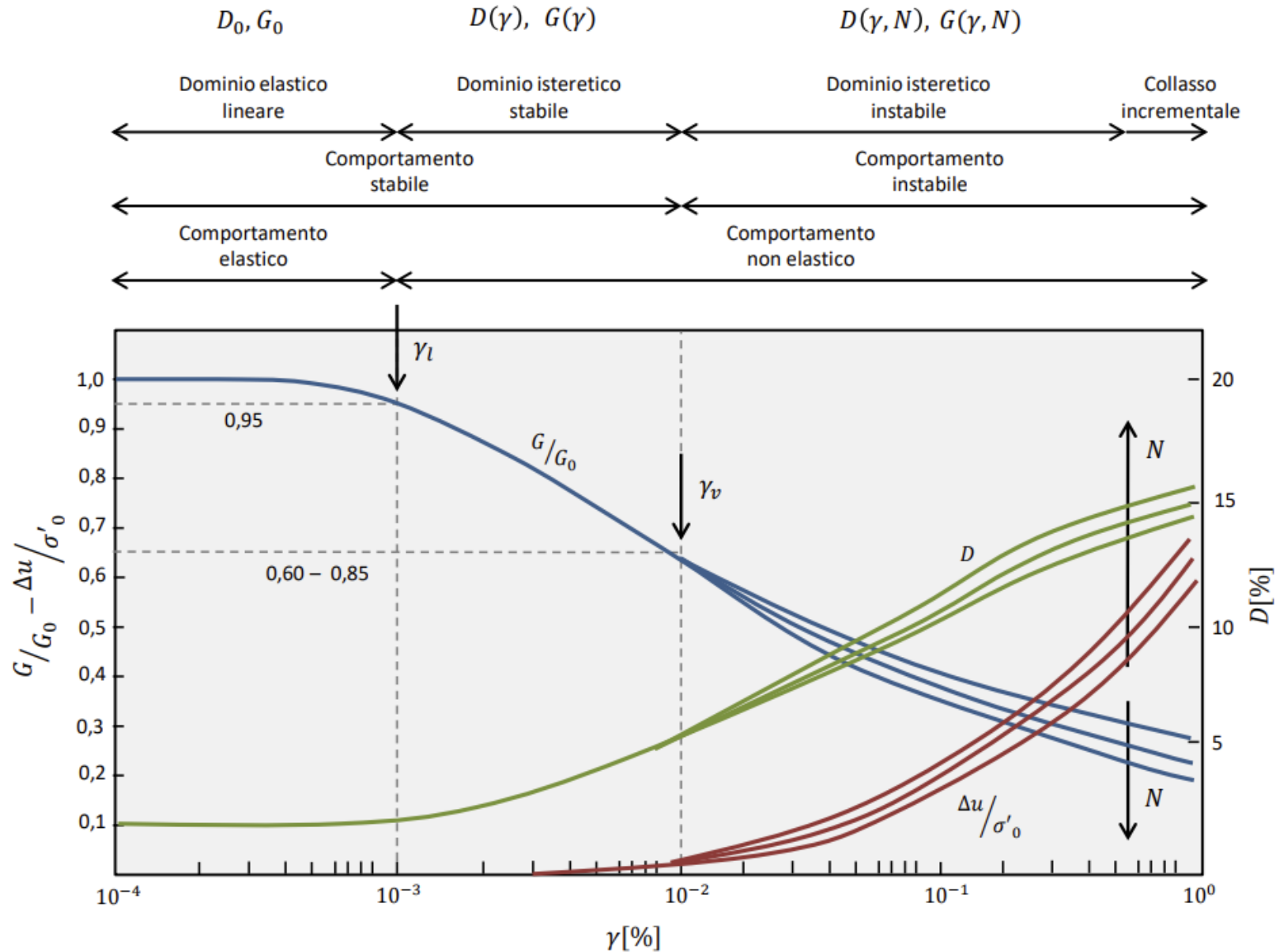
Geometria del modello

La schematizzazione della geometria è generalmente effettuata sulla base di due modelli principali:

- Bidimensionali (si stimano gli effetti di amplificazione dovuti alla stratigrafia del deposito);
- Tridimensionali (oltre agli effetti della stratigrafia è possibile valutare anche quelli dovuti alla morfologia)



RISPOSTA MECCANICA DEL TERRENO

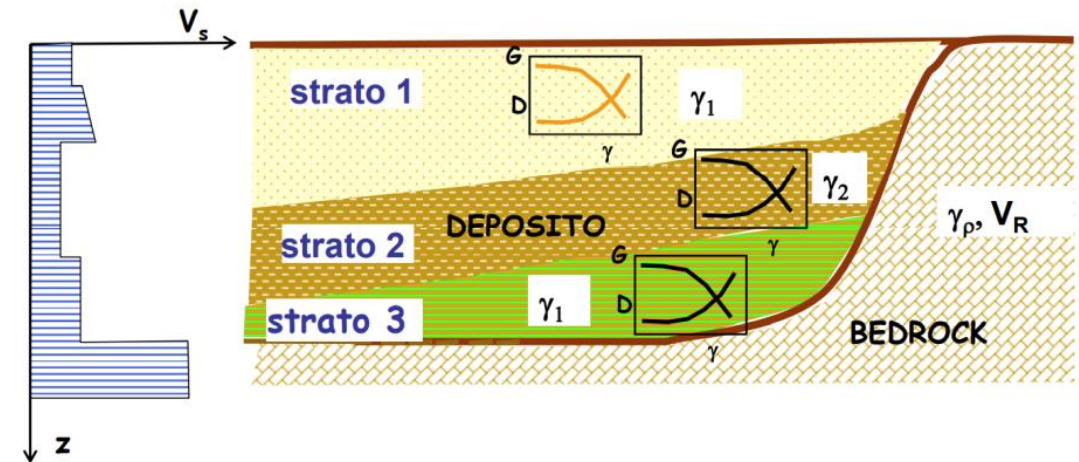


MODELLAZIONE GEOTECNICA

I modelli numerici necessitano della conoscenza di parametri in grado di descrivere la risposta meccanica di «sismostrati» di terreno.

Tali parametri sono:

- Pesi dell'unità di volume dei singoli strati γ e della roccia di base γ_R ;
- Profilo delle velocità delle onde di taglio V_s del terreno;
- Velocità delle onde di taglio nella roccia $V_{S,R}$ di base;
- Coefficiente di Poisson ν di strati e roccia di base;
- Curve di decadimento del modulo di taglio ($G/G_0 - \gamma\gamma$) e di incremento del fattore di smorzamento viscoso $D - \gamma$.



DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

Accelerogrammi nelle analisi RSL

Si tratta di definire un set di almeno 7 gruppi di accelerogrammi che siano indicativi del sisma atteso per l'area di studio (spettro-compatibilità). Dove il singolo gruppo di accelerogrammi contiene 3 storie temporali di accelerazione al suolo rispettivamente per le componenti x, y, e z. Il punto di partenza per la determinazione di tali accelerogrammi sono i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base:

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{V_R} nel periodo di riferimento V_R a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

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

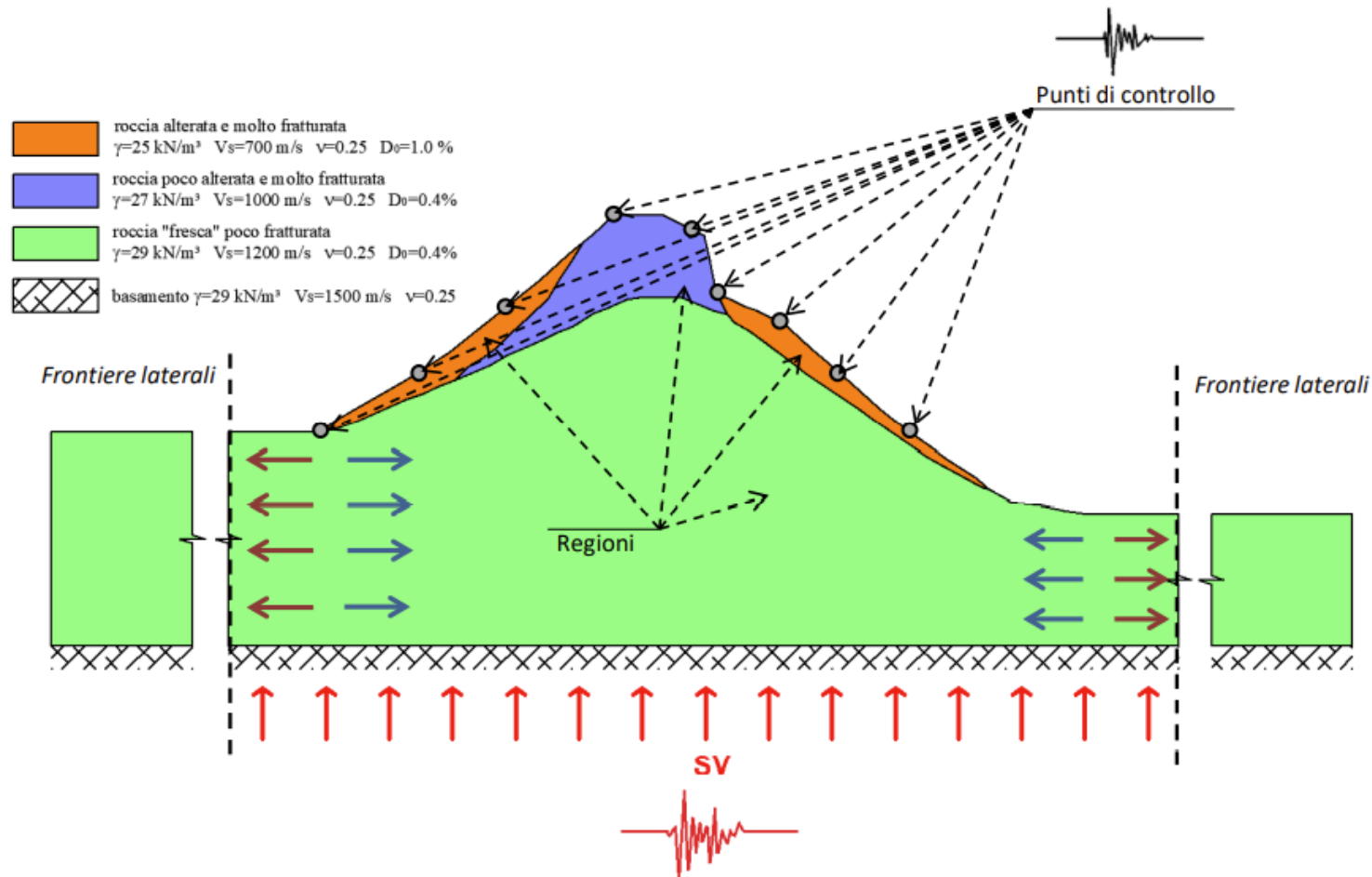
T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_o e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.



MODELLI BIDIMENSIONALI

Viene modellata una porzione di terreno, ritenuta significativa in funzione degli studi che si vogliono condurre, e suddivisa in regioni poligonali le cui caratteristiche meccaniche possono essere assunte uniformi in ognuna di esse. Vengono applicate le condizioni al contorno sulle frontiere laterali ed al basamento e l'azione sismica viene applicata in corrispondenza di quest'ultimo attraverso un treno di onde S. **Il moto in uscita viene ottenuto mediante una storia temporale di spostamenti, velocità ed accelerazioni in uno o più punti (detti di controllo) del modello.**



CONDIZIONI AL CONTORNO:

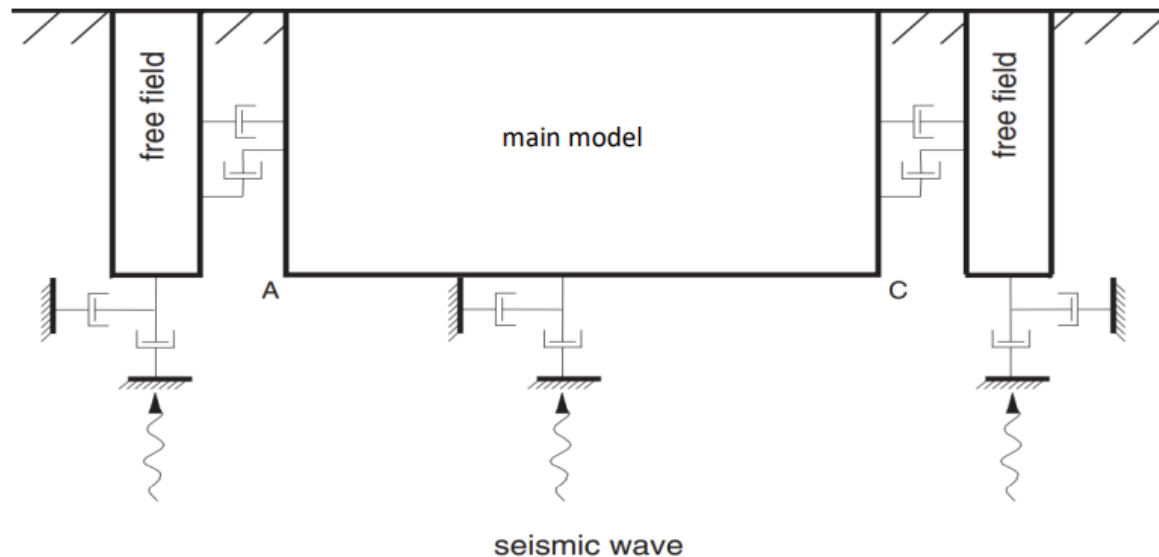
Free-field boundaries in LSR2D

Gli spostamenti in corrispondenza delle frontiere laterali del modello dovrebbero essere uguali a quelli di una colonna di terreno isolata in condizioni di campo libero. Se lo smorzamento del terreno è relativamente alto, tale condizione può essere raggiunta semplicemente allontanando di una certa distanza dalla regione di interesse le frontiere laterali ed assegnando delle restrizioni cinematiche nei confronti della componente verticale.

Tuttavia, se lo smorzamento del terreno è basso la distanza necessaria risulta molto elevata.

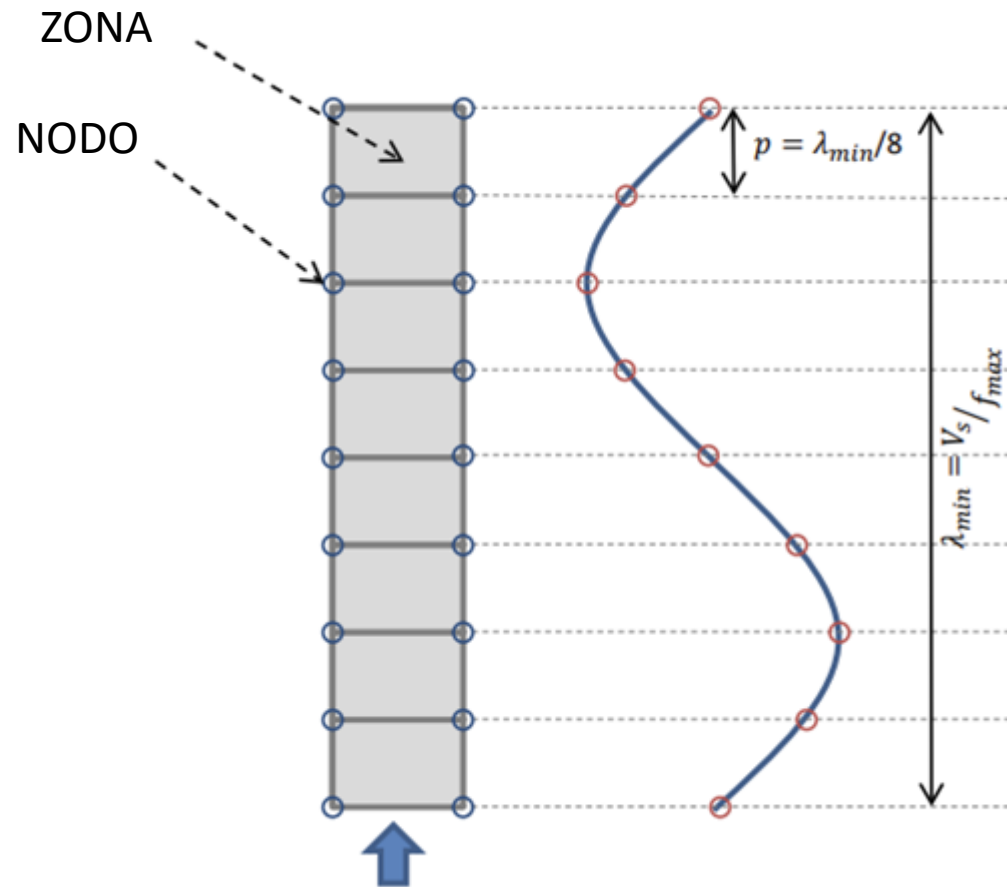
Un metodo alternativo, è quello di “applicare” il moto di campo libero in modo tale che le frontiere agiscano come un sistema in grado di assorbire le onde riflesse che altrimenti verrebbero artificialmente reintrodotte nel modello.

Nel Flac2D/3D questo è implementato 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 sono uguali.



DISCRETIZZAZIONE DOMINIO

La scelta della griglia di calcolo rappresenta un punto fondamentale dell'analisi in quanto da essa dipende l'accuratezza della soluzione. In generale è possibile affermare che tanto più è fitta la griglia tanto più sarà accurata la soluzione, tuttavia una griglia troppo fitta fa aumentare notevolmente gli oneri computazionali; **per contro una griglia troppo grossolana si traduce in un filtraggio delle componenti di alta frequenza poiché le piccole lunghezze d'onda non possono essere adeguatamente modellate da nodi troppo distanti tra loro.**



A tal proposito si raccomanda di scegliere la dimensione di ogni zona in modo che sia inferiore ad $1/8 \div 1/5$ della più piccola lunghezza d'onda considerata nell'analisi

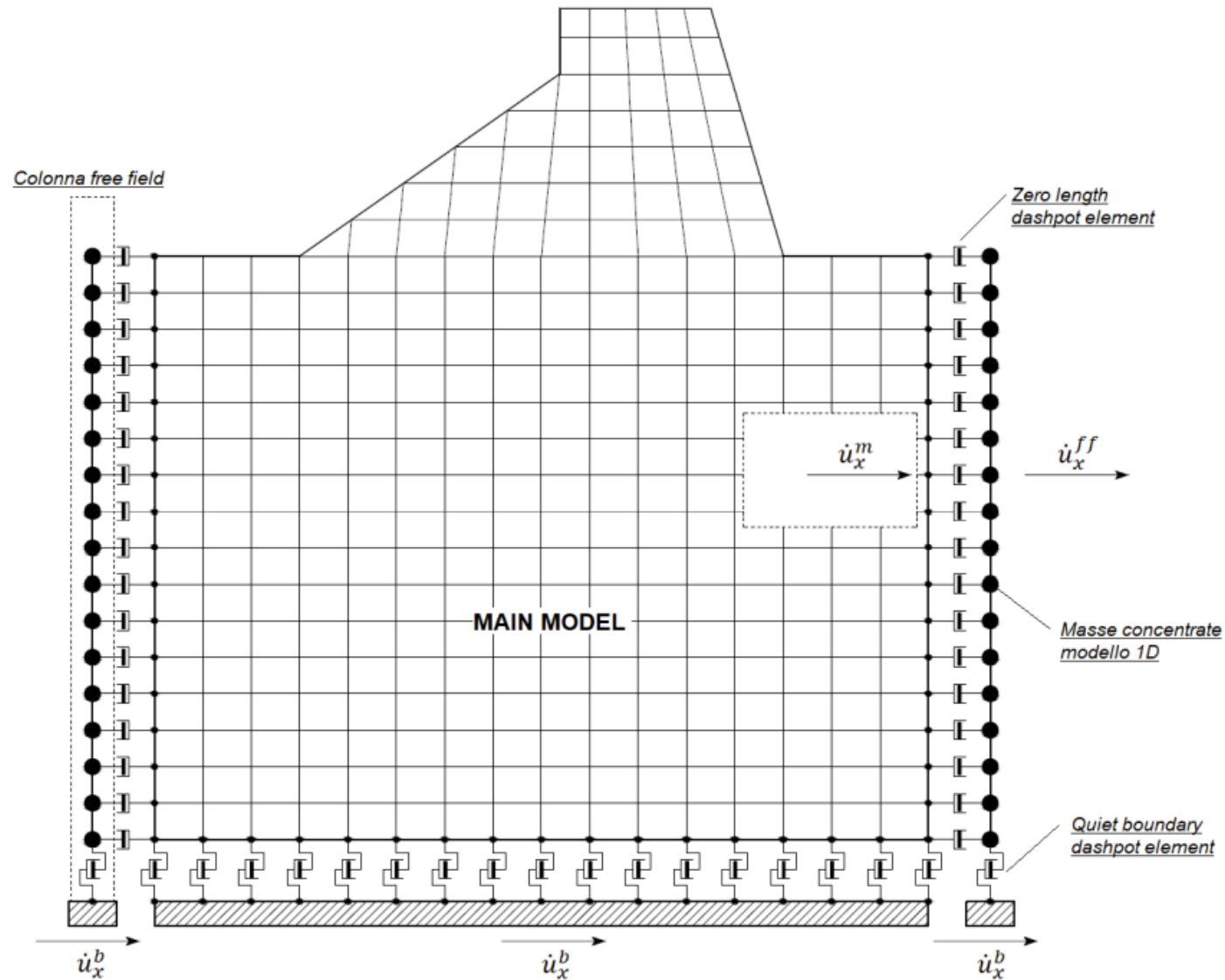
$$p \leq \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{5} \right) \frac{V_s}{f_{max}}$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde del materiale costituente la zona e f_{max} è la massima frequenza considerata nell'analisi (20-25Hz)

$$p \leq \frac{V_s}{160}$$

DISCRETIZZAZIONE DOMINIO

Modello 2D per analisi LSR



since 1990

HARPACEAS

More than BIM



Viale Richard, 1 - 20143 Milano



Tel: 02-891741



info@harpaceas.it



www.harpaceas.it



Conforme alla norma
UNI EN ISO 9001:2015