



CONSORZIO di BONIFICA
in DESTRA del FIUME SELE

**MINICENTRALE
TUSCIANO - BOSCARIELLO**

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO	Relazione sismica
E	

PROGETTAZIONE

Dott. ing. Vincenzo Napoli

**RESPONSABILE UNICO
DEL PROCEDIMENTO**

Dott. ing. Francesco Marotta

Febbraio 2014

RELAZIONE SISMICA

1. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

1.1 – Premessa

Nella presente Relazione sono descritte le caratteristiche principali della sismicità e della pericolosità sismica relative al territorio comunale di Eboli, situato in provincia di Salerno, interessato dalla progettazione della minicentrale idroelettrica.

Per la caratterizzazione sismica dell'area e la determinazione ed il calcolo dell'azione sismica, ai sensi delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni N.T.C. - **DM 14/01/2008** - **GU n.29 del 04.02.2008**.

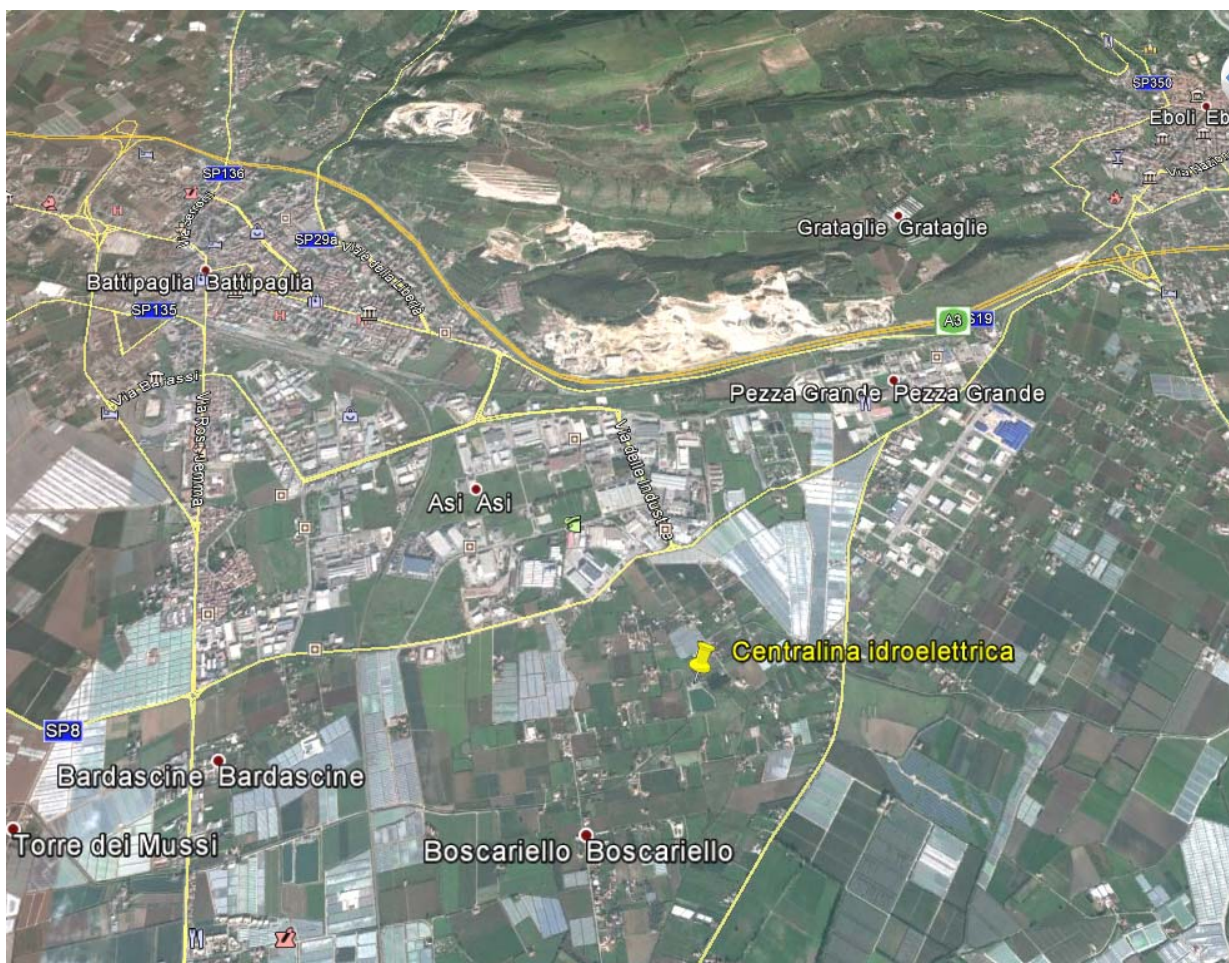


Figura 1 – Area di interesse

1.2 – Pericolosità e rischio sismico

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali ed è la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area.

Concettualmente il rischio sismico rappresenta il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico che lo subisce. Affinché si abbia rischio è necessario che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento sismico di data intensità nell'area in esame.

In termini analitici la pericolosità (hazard) si esprime in termini percentuali così come la vulnerabilità (vulnerability); l'elemento a rischio (element at risk) si esprime in termini venali ed è valutato attraverso una stima economica del bene esposto all'evento naturale. Il rischio totale (total risk) rappresenta il prodotto tra la pericolosità, il valore economico del bene esposto e la vulnerabilità (ovvero la probabilità di perdita totale = 1 oppure nulla = 0 del bene a seguito di evento catastrofico).

Il rischio totale, pertanto, risulta pari a zero sia che la vulnerabilità dei beni esposti è nulla, sia che il loro valore è trascurabile, sia che la probabilità di accadimento è nulla.

Per ridurre il rischio sismico, pertanto, si può agire diminuendo il valore di uno dei tre termini del prodotto suddetto. Escludendo, per ovvie considerazioni, l'annullamento della pericolosità, che è funzione delle caratteristiche sismotettoniche di una data area, il rischio totale può essere ridotto esponendo elementi a basso valore venale oppure migliorando le caratteristiche di resistenza dell'elemento esposto al fenomeno naturale.

La tendenza diffusa è quella di realizzare opere e manufatti che abbiano la minore vulnerabilità possibile, ovvero che “sappiano resistere” alle sollecitazioni indotte da un fenomeno di intensità data, producendo una perdita nulla o pressoché tale a seguito del suo manifestarsi.

In estrema sintesi in un'area in cui le strutture e le attività sono in grado di sopportare un evento sismico di magnitudo 6.0 (che rappresenta l'intensità massima sulla quale è stato costruito lo scenario estremo) il rischio sismico è nullo, così come la vulnerabilità del tessuto antropico. La pericolosità, viceversa, varia in funzione dei tempi di ritorno attesi per un fenomeno di tale intensità ed è estremamente elevata per fenomeni ricorrenti con tempi bassi o con fenomeni potenzialmente distruttivi.

Ecco perché la pericolosità sismica assume una notevole importanza in senso pianificatorio e di predisposizione delle misure atte a mitigare l'effetto atteso sulle strutture e sulle attività antropiche.

Mentre il rischio rappresenta solo la prospettiva di perdita (in termini di vite o di denaro) ferme restando le attuali condizioni di vulnerabilità, la pericolosità è l'unico strumento che consente di programmare lo sviluppo socio-economico di un'area su basi probabilistiche. Proprio perché la conoscenza scientifica è alla base della valutazione della pericolosità di una data area, da anni sono state attivate le procedure affinché, anche in Italia, si accresca la cultura della prevenzione piuttosto che quella dell'emergenza che ha caratterizzato gli ultimi decenni di storia delle catastrofi naturali nazionali.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, che è funzione dell'assetto strutturale dell'area e della distanza dalle principali zone sismogenetiche, è necessario conoscere quali possano essere gli effetti cosismici che accompagnano l'evento naturale e, tra questi, la reazione del terreno in termini di amplificazione/smorzamento dell'onda sismica e la perdita o la modificazione delle sue caratteristiche statiche di resistenza.

Attualmente si tende ad analizzare preventivamente un territorio al fine di discretizzarlo in areali in cui le condizioni strutturali e litostratigrafiche sono tali da far attendere un comportamento, nei confronti dell'ampiezza dell'onda sismica, omogeneo in termini di amplificazione o di smorzamento.

Tale analisi preliminare è nota con il nome di "microzonazione sismica" di un territorio e si contrappone al vecchio concetto di macrozone sismiche che coincidevano, impropriamente, con confini amministrativi piuttosto che con limiti geologici. La sismicità di un'area, nella vecchia accezione, era perciò definita come la probabilità che vi potesse accadere un sisma di intensità macrosismica (MCS) nota. Le verifiche sismiche venivano condotte, perciò, con metodi pseudostatici che garantivano alle strutture soltanto l'inclinazione dei carichi di progetto rispetto alla verticale di un angolo funzione del coefficiente di spinta sismica orizzontale (K_h), la cui entità era funzione del grado sismico dell'area.

Oggi si tende ad analizzare con attenzione un territorio tentando di valutare le specifiche caratteristiche litostratigrafiche anche attraverso i metodi geofisici (soprattutto sismici in foro). Inoltre si introduce il concetto di frequenze critiche di oscillazione del terreno e di amplificazione sismica al suolo.

1.3 – Sismicità storica recente

La sismicità storica è la scienza che studia la probabilità sismica di un territorio sulla base della conoscenza dei terremoti occorsi nel passato secondo il principio che laddove sono avvenuti terremoti è probabile che ne accadano altri e che il tempo di ritorno di terremoti di data intensità è una funzione probabilistica.

La Tab. 1 mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti verificatisi dall'anno 1000 al 1992 in una vasta regione attorno alla zona in esame. La dimensione degli epicentri è proporzionale alla magnitudo degli eventi. La fonte dei dati è il Catalogo dei terremoti italiani NT 4.1.1, edito dal CNR-GNDT. Da tale carta si può notare la forte disomogeneità della distribuzione spaziale dei terremoti, i quali risultano pochi e di piccola magnitudo nella fascia tirrenica della penisola, mentre sono fortemente addensati, e con magnitudo elevate, nella fascia centrale della catena appenninica meridionale.

Le intensità sono state valutate nella scala MCS (Mercalli-Cancani-Sielberg) sulla base dei danni riportati nella documentazione storica e sono sempre riferite alla zona epicentrale. La magnitudo M_s è relativa alle onde superficiali ed è stata calcolata mediante apposite formule di correlazione intensità-magnitudo, tranne per gli ultimi quattro eventi per i quali il dato è strumentale.

Come si può notare, in un arco di tempo poco superiore al migliaio di anni, almeno una decina di eventi di intensità epicentrale pari o superiore al X grado MCS e magnitudo M_s superiore a 6 hanno interessato l'Appennino centro-meridionale. Tuttavia i risentimenti nell'area in esame sono stati molto diversi a seconda della distanza dall'area epicentrale e dell'orientazione della struttura sismogenetica.

Tabella 1

Anno	Mese	Giorno	Località epicentrale	I (mcs)	Ms
1125	10	11	BENEVENTO	VIII	5.5
1139	1	22	BENEVENTO	V-VI	4.2
1406	9	16	NAPOLI SUD	VI	4.4
1456	12	5	BENEVENTANO	X	6.7
1575	6	5	NAPOLI	VI-VII	4.7
1631	12	17	VESUVIO	VII	5.0
1685	4	25	SALERNO	VI	4.4
1687	4	25	CASTELLAMARE	VII	5.0
1702	3	14	BARONIA	IX-X	6.4
1714	8		SALERNO	VII	5.0
1779	8	8	MEDIO TIRRENO	VII	5.0
1782	1	12	VITULANO	VI	4.4
1794	6	12	MONTEMARANO	VII	5.0
1794	6	15	PUNTA ORLANDO	VII	5.0
1861	12	9	TORRE DEL GRECO	VI-VII	4.7
1885	9	17	BENEVENTO	VII	5.0
1895	2	1	MONTESARCHIO	VI	4.4
1902	12	16	MONTESARCHIO	V-VI	4.2
1903	5	4	VALLE CAUDINA	VII	5.0
1903	12	7	BENEVENTO	VI	4.4
1904	7	18	APICE	VI	4.8
1905	3	14	BENEVENTANO	VI-VII	4.7
1906	1	25	BAGNOLI	V-VI	4.2
1907	12	18	SOLOFRA	VI	4.4
1912	3	17	MERCATO S.SEVERINO	V-VI	4.2
1924	5	9	SOLOFRA	IV-V	4.7
1930	4	27	SALERNITANO	VI-VII	4.0
1936	4	3	VALLE CAUDINA	V-VI	3.8
1981	2	14	BAIANO	VII-VIII	4.6

Tab.1 Elenco dei terremoti registrati dal catalogo sismico NT 4.1.1 (edito dal CNR-GNDT, anni 1000-1992). Per ogni evento si riportano: data, località epicentrale, intensità epicentrale, magnitudo Ms.

Da ciò si può notare che la zona in esame non è mai stata sede epicentrale, negli ultimi 1000 anni, di forti terremoti documentati.

2. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E CALCOLO DELL’AZIONE SISMICA

2.1 – 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. Essa

costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

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** quale definita al parag. 3.2.2 delle NTC - GU n.29 del 04.02.2008, di seguito indicato con la sigla NTC), 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 parag. 3.2.1 delle NTC, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel parag. 2.4 delle NTC.

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

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

2.2 – Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per

azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC di seguito riportata.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

2.3 – Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

2.3.1 - Categorie di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio

semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel “**volume significativo**”, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono successivamente definite.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s].$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

La resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}.$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

- h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N_{SPT,i}$ numero di colpi SPT N nell'i-esimo strato;
- $c_{u,i}$ resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
- K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da **A** ad **E**, quando non si dispone di misure dirette della velocità delle onde di taglio si procedere come segue:

- si determina $N_{SPT,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30

m di profondità;

- si determina $c_{u,30}$ limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;
- si individuano le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri $N_{SPT,30}$ e $c_{u,30}$;
- il sottosuolo viene attribuito alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

2.3.2 - Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si adotta la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

2.4 – Valutazione dell'azione sismica

2.4.1 - Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento definiti nel parag. 3.2.2 delle NTC; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale.

L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto) e degli accelerogrammi, si rimanda ai paragrafi successivi.

2.4.2 - Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} .

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

Analogamente si opera in presenza di sottosuoli di categoria **S1** o **S2**.

2.4.2.1 - Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Inoltre

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \cdot S_T$
essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5%, mediante la relazione $\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$; dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_C \cdot T_c^*$ dove T_c^* è definito al parag. 2.1 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione: $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

2.4.2.2 - Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di a_g , F_0 , S , η sono già definiti per le componenti orizzontali; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella Tab. 3.2.VII.

Tabella 3.2.VII – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tab. 3.2.VI.

2.4.2.3- Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali $S_{De}(T)$ si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione $S_e(T)$ mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

purché il periodo di vibrazione T non ecceda i valori T_E indicati in Tab. 3.2.VIII.

Tabella 3.2.VIII – Valori dei parametri T_E e T_F

Categoria sottosuolo	T_E [s]	T_F [s]
A	4,5	10,0
B	5,0	10,0
C, D, E	6,0	10,0

Per periodi di vibrazione eccedenti T_E , le ordinate dello spettro possono essere ottenute dalle formule seguenti:

per $T_E < T \leq T_F$

$$S_{De}(T) = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot \left[F_0 \cdot \eta + (1 - F_0 \cdot \eta) \cdot \frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right]$$

per $T > T_F$

$$S_{De}(T) = d_g$$

dove tutti i simboli sono già stati definiti, ad eccezione di d_g , definito nel paragrafo successivo.

2.4.3 - Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D$$

$$v_g = 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$$

dove a_g , S , T_C , T_D assumono i valori già utilizzati.

2.4.4 - Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata.

2.4.5 - Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della

struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule di cui al paragrafo 2.4.2.1 η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

3. AZIONE SISMICA PER OPERE E SISTEMI GEOTECNICI

3.1 - Requisiti nei confronti degli stati limite

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio con gli opportuni requisiti di sicurezza indicati nel parag. 7.1 delle NTC.

3.2 - Risposta sismica e stabilità del sito

3.2.1 - Risposta sismica locale

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 (sottosuolo di categoria A).

3.2.2 - Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{\max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{\max} può essere ricavato dalla relazione $a_{\max} = S_s \cdot a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

3.2.3 - Amplificazione topografica

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST . Il parametro ST deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°, altrimenti si applicano i criteri indicati nel parag. 2.3.

3.3 - Fondazioni

La progettazione delle fondazioni deve essere condotta unitamente alla progettazione dell'opera alla quale appartengono e richiede preliminarmente:

1. la valutazione della sicurezza del sito nei confronti della liquefazione e della stabilità dei pendii;
2. la valutazione della risposta sismica locale del sito;

Le analisi di cui al punto (1) devono indicare esplicitamente gli interventi eventualmente necessari a garantire la stabilità del sito; le analisi di cui al punto (2) devono consentire di motivare la scelta dell'azione sismica adottata nella progettazione dell'intera opera.

4. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

4.1 - Determinazione degli spettri di risposta

Di seguito si forniscono gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticali delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame.

Le azioni sismiche verranno valutate ai sensi delle NTC 2008 avvalendosi del software SPETTRI DI RISPOSTA vers. 1.0.3 realizzato dal CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI.

La determinazione degli spettri di risposta relativi ad uno stato limite si articola in tre fasi:

FASE 1: individuazione della pericolosità del sito sulla base del progetto S1 dell'Istituto Nazionale di geofisica e vulcanologia;

FASE 2: scelta della strategia di progettazione (così come definita nelle NTC).

FASE 3: determinazione degli spettri di risposta (quest'ultima verrà effettuata nelle successive fasi progettuali).

Si provvederà, poi, alla valutazione delle azioni sismiche per i diversi sistemi geotecnici.

In via preliminare, in questa fase, i suoli di fondazione possono essere considerati appartenenti alla categoria "C".

Per l'opera in esame è stato considerato un valore della vita nominale dell'opera pari a $V_N \geq 50$ anni ed un valore del coefficiente d'uso pari a $c_u=1,0$ corrispondente alla classe d'uso II.

Il coefficiente di amplificazione topografica viene posto pari a 1,0.

FASE 1

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

☐ Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta ▶▶
 Variabilità dei parametri ▶▶

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri ▶▶

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

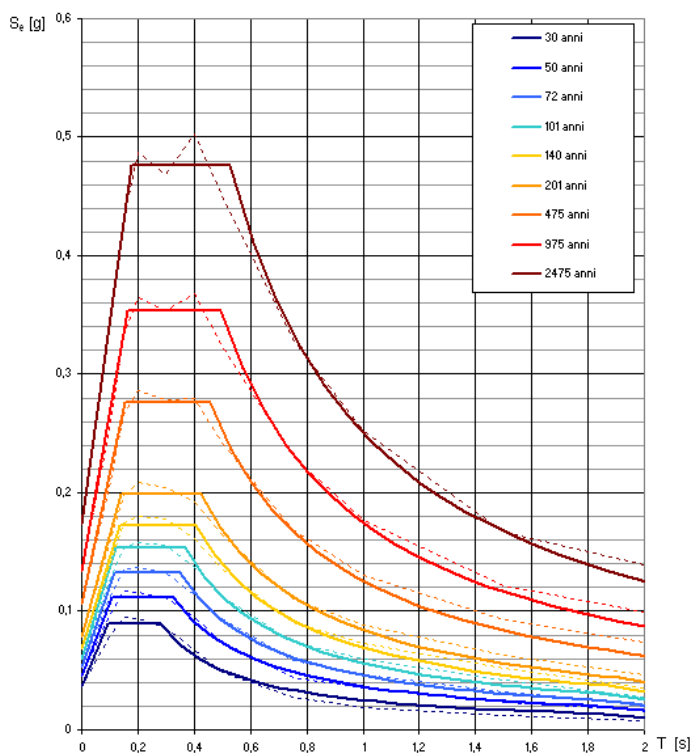
INTRO

FASE 1

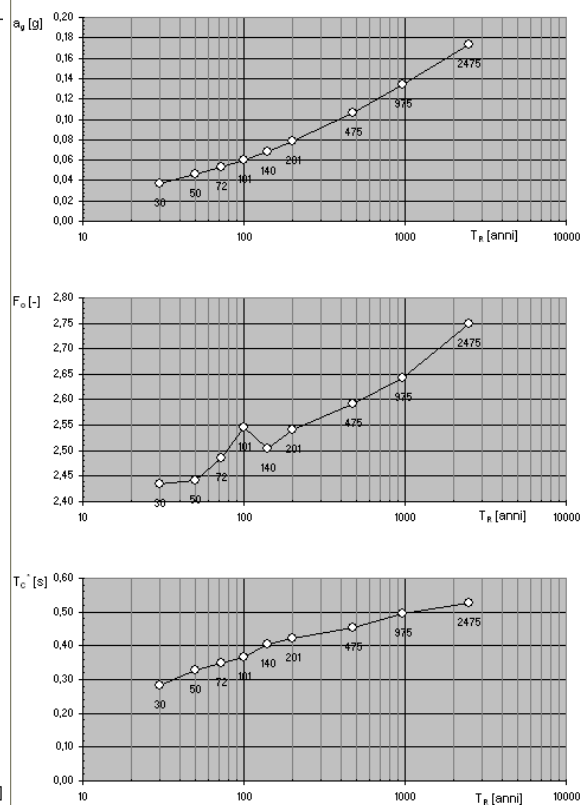
FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_R



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,037	2,435	0,281
50	0,046	2,441	0,327
72	0,053	2,486	0,348
101	0,060	2,545	0,367
140	0,069	2,504	0,405
201	0,078	2,541	0,423
475	0,106	2,592	0,455
975	0,134	2,643	0,495
2475	0,173	2,749	0,528

FASE 2

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione ||>

Grafici spettri di risposta ||>

Tabella parametri azione ||>

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

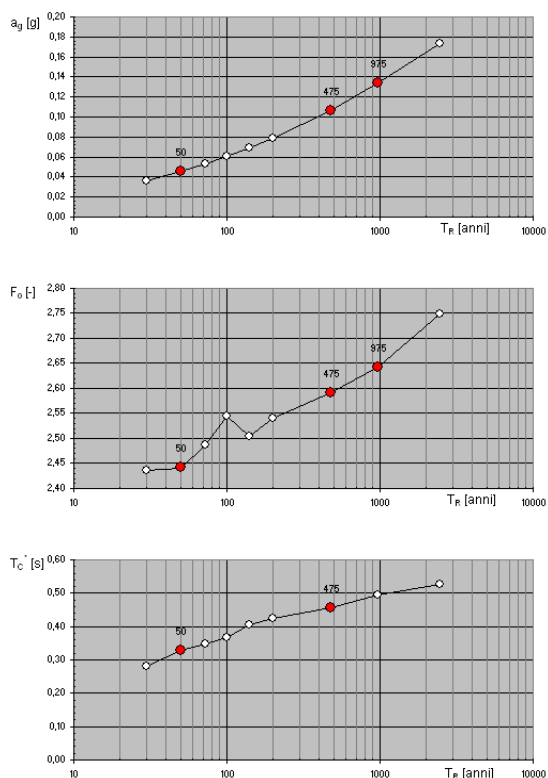
INTRO

FASE 1

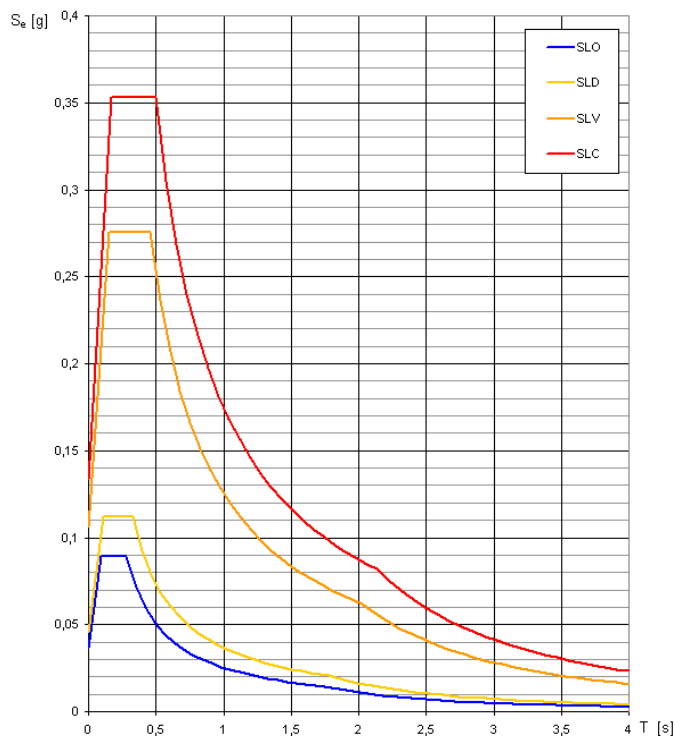
FASE 2

FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del periodo di ritorno



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



PARAMETRI

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO		0,037	2,435	0,282
SLD	50	0,046	2,442	0,328
SLV	475	0,106	2,592	0,455
SLC	975	0,134	2,643	

4.2 - Determinazione dell'azione sismica per opere geotecniche

Le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

4.2.1 - Stabilità dei pendii e fronti di scavo

		SLO	SLD	SLV	SLC
Valore dell'accelerazione a_g				0,106	0,134
Categoria di sottosuolo	C →			0,240	0,240
Categoria topografica	T1 ↓			1,535	1,488
	S _T 1				
Coefficiente sismico	kh			0,039	0,048
Coefficiente sismico	kv			0,020	0,024

4.2.2 – Muri di sostegno

		SLO	SLD	SLV	SLC
Valore dell'accelerazione a_g		0,037	0,046	0,106	0,134
Categoria di sottosuolo	C →	0,180	0,180	0,240	0,240
Categoria topografica	T1 ↓	1,500	1,500	1,535	1,488
	S _T 1				
Coefficiente sismico	kh	0,010	0,012	0,039	0,048
Coefficiente sismico	kv	0,005	0,006	0,020	0,024