



*Sito impiantistico
Galliera (BO)*

Denuncia di deposito sismico
L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 e ss.mm.ii.

PROGETTO DEFINITIVO

Ottimizzazione di utilizzo del sito impiantistico esistente
attraverso il ridimensionamento dell'area dedicata al
servizio di deposito finale dei rifiuti

ELABORATO 05

Relazione sismica e delle strutture dei
manufatti accessori

Approvato	E. Zamagni		
Controllato	L. Savigni F. Crociati		
Redatto	P. Parla		
Rev.	00	Data	30/04/2025
Cod. Doc.	DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Pagine	1 di 52

The logo for Desmos features a stylized graphic on the left consisting of two interlocking squares, one blue and one green. To the right of this graphic, the word "Desmos" is written in a green, sans-serif font, and "Ingegneria Ambiente Energia" is written in a smaller, green, sans-serif font below it.

SOMMARIO

A	OGGETTO E SCOPO	5
B	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
B.1	DOCUMENTI DI PROGETTO	6
B.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
B.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	7
B.4	SOFTWARE.....	7
C	INQUADRAMENTO DEL SITO.....	8
C.1	UBICAZIONE DEL SITO	8
C.2	SISMICITÀ GENERALE DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	10
D	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	13
D.1	INDAGINI EFFETTUATE	13
D.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO PER IL SITO.....	15
E	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	16
E.1	VITA NOMINALE, VITA UTILE E PERIODI DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	17
E.2	ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO (A_G) E PARAMETRI DI RIFERIMENTO	19
F	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	22
F.1	VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	22
F.2	AZIONE SISMICA DI PROGETTO	23

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	2 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

G	DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE IN PROGETTO	24
H	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO	26
	H.1 CALCESTRUZZO STRUTTURALE	26
	H.2 ACCIAIO PER C.A.	26
	H.3 TERRENO DI FONDAZIONE	27
I	PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE	28
	I.1 GENERALITÀ.....	28
	I.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO	29
	I.3 COMBINAZIONE DELLE AZIONI.....	30
J	ANALISI DEI CARICHI	32
	J.1 AZIONI PERMANENTI	32
	J.2 AZIONE SISMICA	32
K	VERIFICHE DI SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DI TIPO GEO	33
	K.1 STATI LIMITE ULTIMI	33
	K.2 METODOLOGIA DI CALCOLO	34
	K.3 AZIONI DI PROGETTO	35
	K.4 VERIFICHE DI SICUREZZA.....	36
L	VERIFICHE DI SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DI TIPO STR	37
	L.1 PARETI	37
	L.1.1 Stati limite e metodologia di calcolo.....	37
	L.1.2 Azioni di progetto	37

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	3 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L.1.3	Verifica di sicurezza	38
L.2	PLATEA	39
L.2.1	Stati limite e metodologia di calcolo.....	39
L.2.2	Azioni di progetto	40
L.2.3	Verifiche di sicurezza	41
M	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO AUTOMATICI (PAR. 10.2 NTC2018)	51
M.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA.....	51
M.2	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	51
M.3	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO	52
M.4	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE	52
M.5	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	52

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	4 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

A OGGETTO E SCOPO

La relazione presente, redatta ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (D.M. 14/01/2018; di seguito NTC2018), costituisce la Relazione geotecnica del Progetto degli interventi finalizzati all'ottimizzazione di utilizzo del sito impiantistico ubicato nel Comune di Galliera (BO), in via San Francesco.

L'ottimizzazione di utilizzo prevede il ridimensionamento dell'area dedicata al servizio di deposito finale dei rifiuti all'interno del Sito di proprietà di HERA Ambiente, mediante la realizzazione di un nuovo invaso, in prossimità alla discarica esistente attualmente in gestione post - operativa ma separato da questo dalla strada di accesso.

La relazione presente è finalizzata a valutare i parametri da utilizzare per il dimensionamento delle strutture e per le verifiche di sicurezza in condizioni sismiche, oltre che ad illustrare le verifiche eseguite sulle strutture in progetto.

La relazione affronta pertanto le tematiche seguenti:

- inquadramento dell'area e definizione della pericolosità sismica di base;
- valutazione degli effetti di sito;
- descrizione delle strutture in progetto;
- dimensionamenti e verifiche delle strutture in progetto.

Si precisa che la stabilità del sito in condizioni sismiche è affrontata nella Relazione geotecnica (per quanto attiene alla suscettibilità alla liquefazione) e nella Relazione di stabilità globale. Si rimanda pertanto a tali due elaborati per tali tematiche ed eventuali approfondimenti.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	5 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

B DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

B.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

La stesura della relazione presente è redatta alla luce dei documenti di progetto, in particolare:

- DS03BOVA01D1RT01.00 Relazione tecnica generale
- DS03BOVA01D1RG02.00 Relazione geologica
- Elaborati grafici degli interventi in progetto

B.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La relazione presente è redatta in conformità alle prescrizioni ed indicazioni contenute nelle leggi nazionali e regionali vigenti in tema di pericolosità sismica e di protezione dal rischio sismico, che sono di seguito elencate.

- D.M. 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*. (S.O. alla “Gazzetta Ufficiale” n. 42 del 2 febbraio 2018 – Serie generale);
- Circolare 23 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018* (S.O. alla “Gazzetta Ufficiale” n. 35 del 11 febbraio 2019 – Serie generale);
- Delibera Giunta Regionale Emilia-Romagna n. 1164 del 23.07.2018. *Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna*;
- Delibera Giunta Regionale Emilia-Romagna n. 146 del 06.02.2023. *Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna*.

Il D.M. 17 gennaio 2018 sarà richiamato nel seguito come NTC2018.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione delle norme precedenti e per quanto con esse non in contrasto, sono state prese a riferimento le indicazioni contenute nelle seguenti norme e raccomandazioni:

- Eurocodice 8 UNI EN 1998-5 (“Progettazione delle strutture per la resistenza sismica geotecnica Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”).

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	6 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

B.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>

Pieri, M. e Groppi, G. (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. Pubblicazione n. 414 del Progetto Finalizzato Geodinamica

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>

B.4 SOFTWARE

Spettri-NTCver.1.0.3 (Spettri di risposta versione 1.0.3), foglio di calcolo distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009).

Verifiche SLU, foglio di calcolo distribuito con il volume “Progetti e calcoli di geotecnica con Excel”, vol. 2, edito da DEI (2007)

Trave suolo elastico, foglio di calcolo distribuito con il volume “Progetti e calcoli di geotecnica con Excel”, vol. 2, edito da DEI (2007)

Trave suolo elastico, foglio di calcolo distribuito con il volume “Progetti e calcoli di geotecnica con Excel”, vol. 2, edito da DEI (2007)

Fondazioni dirette, foglio di calcolo distribuito con il volume “Progetti e calcoli di geotecnica con Excel”, vol. 1, edito da DEI (2007)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	7 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

C INQUADRAMENTO DEL SITO

C.1 UBICAZIONE DEL SITO

Il II stralcio in progetto sarà realizzato all'interno del sito impiantistico di Galliera (BO). Il sito, di proprietà di HERA Ambiente, attualmente ospita una discarica in fase di gestione post operativa ed è ubicato in prossimità al limite est del confine comunale, nelle vicinanze del tronco autostradale dell'A13 che collega Bologna a Ferrara (Figura C-1 e Figura C-2).

Al sito si accede dalla via S. Francesco, che, oltre a costituire via di accesso alla discarica in gestione post – operativa, separerà fisicamente la discarica in progetto (ampliamento) da quella esistente.

Via San Francesco è facilmente raggiungibile mediante l'A13:

- da Bologna, utilizzando l'uscita di Altedo, percorrendo la SP21 e poi la via Ca' Bianca; dopo aver attraversato l'abitato di Ponticelli si svolta sulla SP12 fino ad incrociare la via S. Vincenzo;
- da Ferrara Sud, con lo stesso percorso.

In alternativa, da Ferrara, per raggiungere il sito si può utilizzare la viabilità locale (arrivando da est: SS273 – SS64 – SP12; arrivando da ovest: SP70 – SP25 – SP4 – SP12).

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	8 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

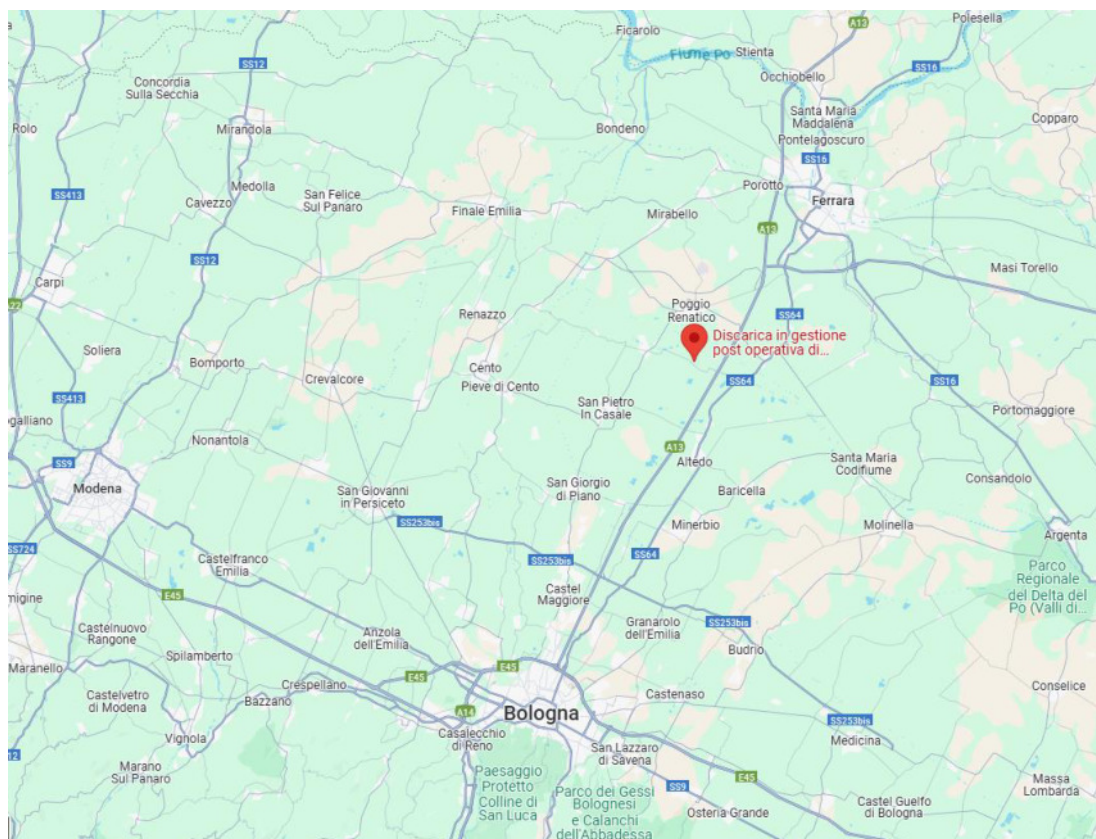


Figura C-1 Ubicazione del sito (fonte: Google Maps)

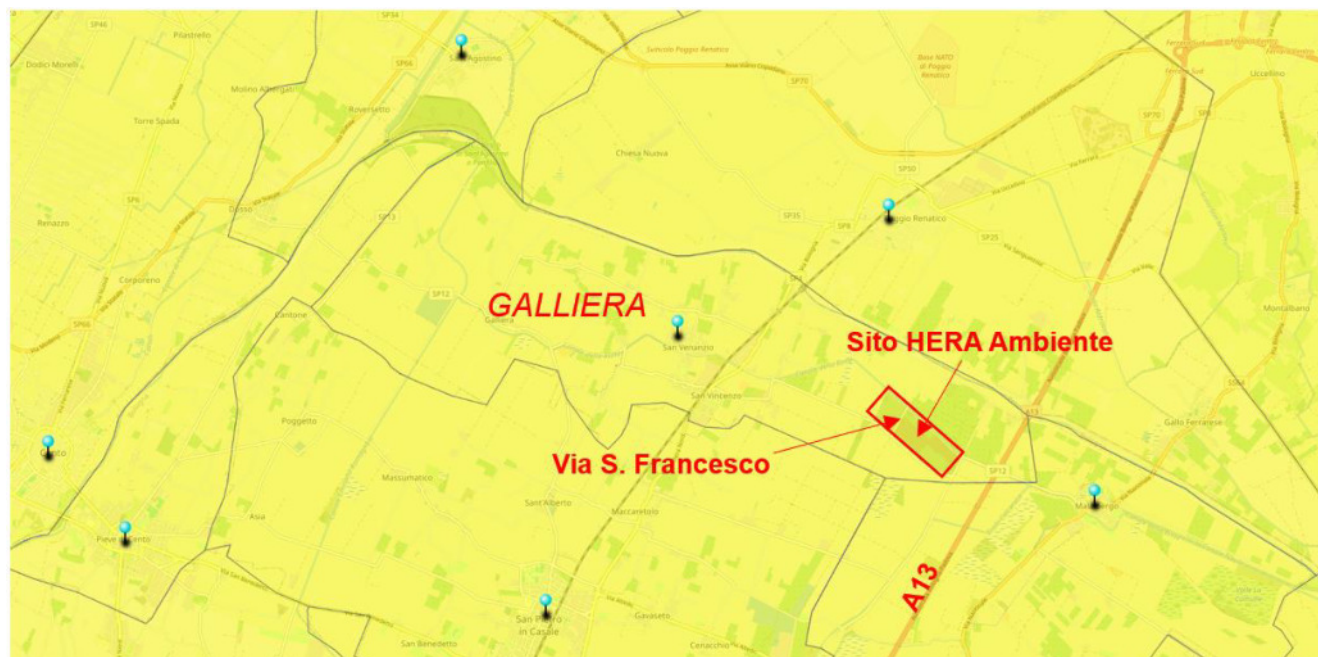


Figura C-2 Posizione del sito nell'ambito del territorio comunale (Fonte: OpenStreetMap)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	9 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

C.2 SISMICITÀ GENERALE DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE SISMICA

La Pianura Padana rappresenta un grande bacino tettonico-sedimentario che si è originato a seguito dei lenti processi geodinamici che hanno interessato tutta l'Italia settentrionale e che è stato progressivamente riempito dai sedimenti provenienti dallo smantellamento delle Alpi Meridionali, a nord, e degli Appennini Settentrionali, a sud, che nel frattempo andavano sollevandosi.

Il sollevamento delle due catene montuose contrapposte è determinato da una persistente convergenza regionale in direzione circa nord-sud che, ancora oggi, è caratterizzata da tassi pari a 1-3 mm/anno. La deformazione dei volumi crostali che attualmente formano i due orogeni è avvenuta grazie all'attività di numerosissime piccole e grandi faglie e di pieghe ad esse associate.

Durante il Quaternario, l'attività tettonica dell'Appennino è progressivamente migrata verso nord, originando diverse faglie anche nel sottosuolo della Pianura Padana. Tali faglie sono per lo più cieche (si veda a tal proposito la Figura C-3), ovvero non dislocano direttamente la superficie terrestre ma sono tuttora attive, come documentato dalla sismicità storica e strumentale della regione (es. sequenza sismica del 2012).

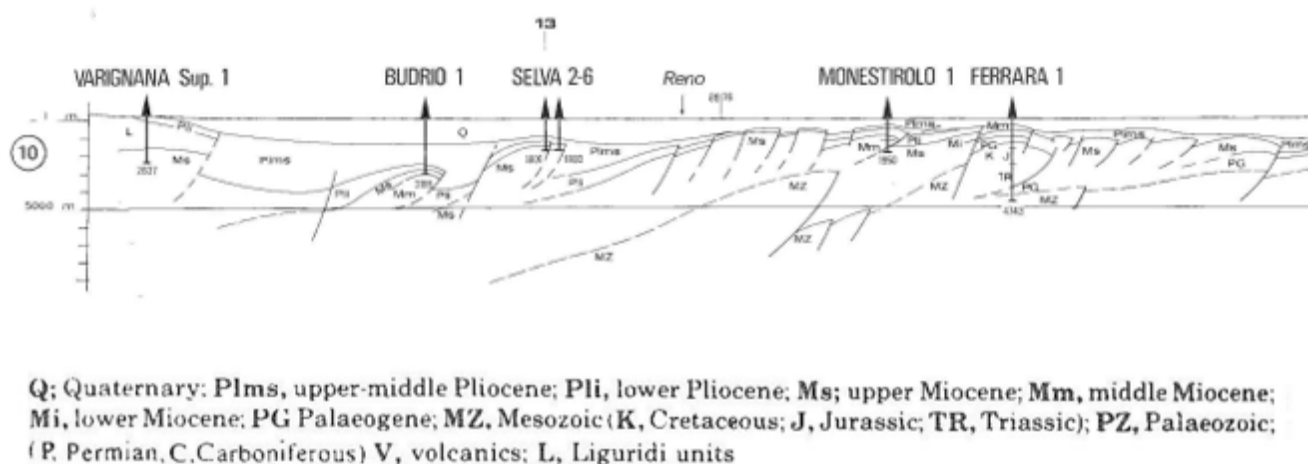


Figura C-3 Stralcio di sezione geologica della mappa strutturale semplificata della sequenza del Plio-Quaternaria nella pianura del Po e del Veneto (Fonte: Pieri e Groppi, 1981)

L'attività sismica risentita nel territorio comunale è sintetizzata dai dati riportati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). Il catalogo fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020 (Figura C-4).

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	10 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Galliera

PlaceID IT_39674
 Coordinate (lat, lon) 44.751, 11.393
 Comune (ISTAT 2015) Galliera
 Provincia Bologna
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 8

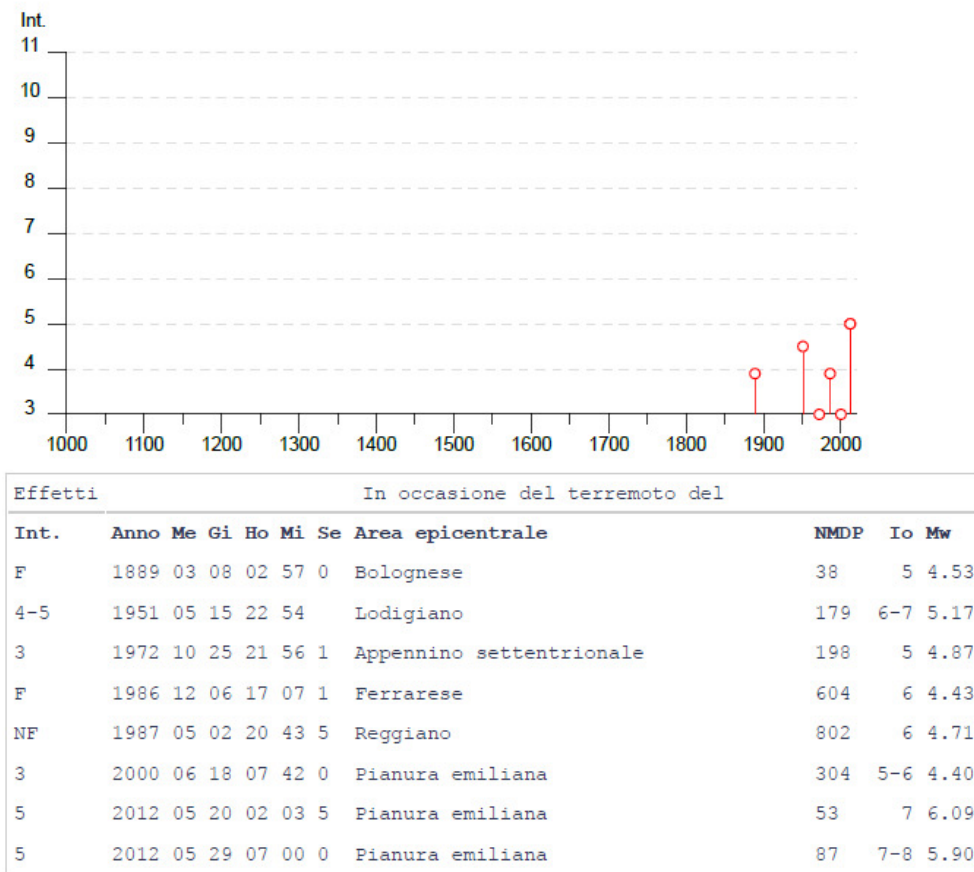


Figura C-4 Terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 che hanno avuto risentimenti nel territorio comunale (Fonte: Rovida et al., 2022)

La magnitudo massima dei terremoti che si sono risentiti nel territorio comunale è 6.09 (evento della pianura emiliana del 2012); l'intensità nel territorio comunale è sempre risultata inferiore di circa 2 gradi rispetto all'intensità epicentrale (I_0).

Secondo la classificazione sismica della Regione Emilia Romagna più aggiornata (Delibera della Giunta Regionale n. 146 del 06/02/2023), il Comune di Galliera è in zona 3 (Figura C-5).

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	11 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

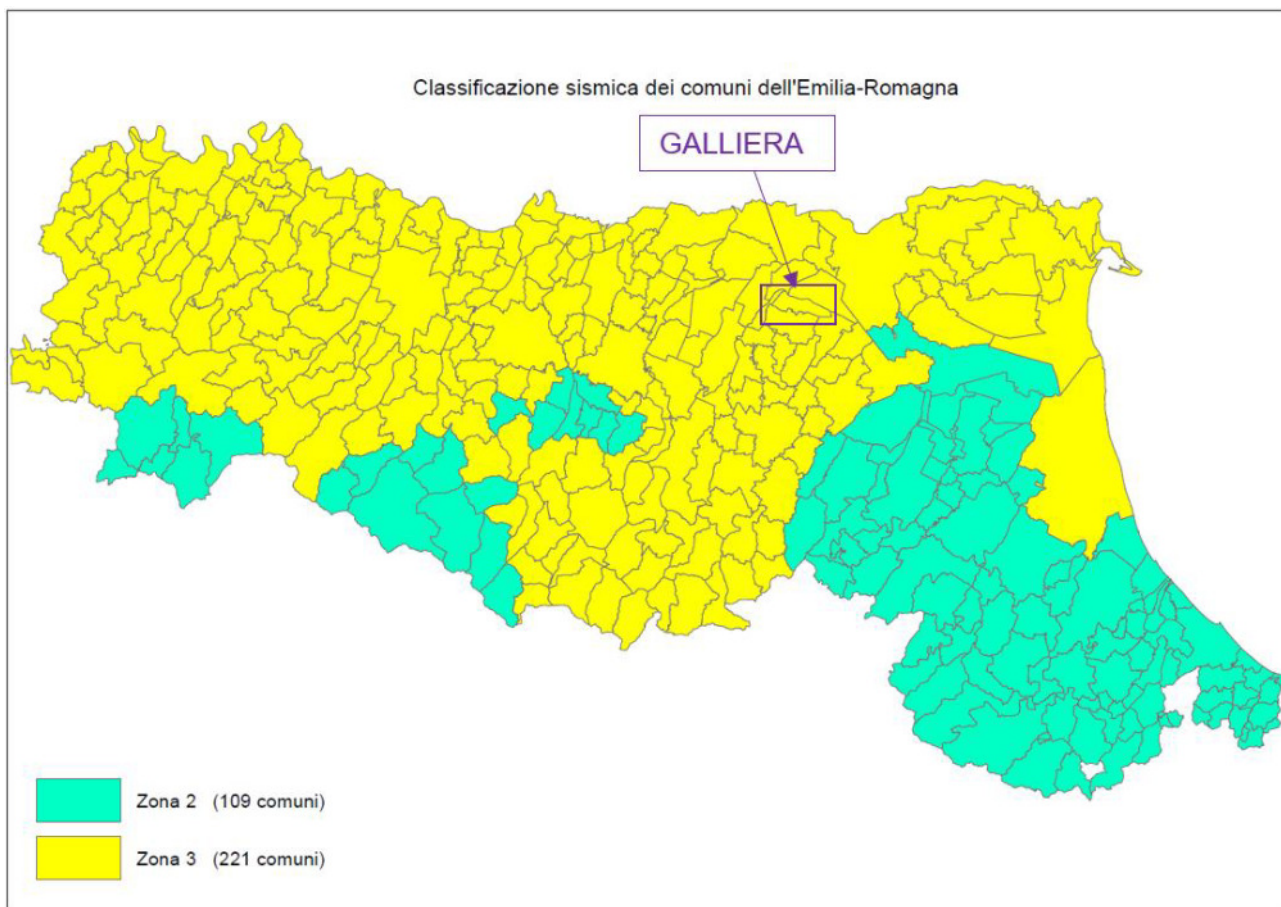


Figura C-5 Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna

Pertanto, in base alla normativa vigente, le zone sismiche assumono solo un significato prescrittivo oppure amministrativo, in quanto i valori di pericolosità sismica di base sono fissati unicamente in funzione delle coordinate geografiche del sito di costruzione, come descritto in seguito,

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	12 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

D CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Ai fini di valutare l'amplificazione dello scuotimento sismico attesa in relazione alla situazione lito-stratigrafica locale, le norme tecniche vigenti (DM 17/01/2018, di seguito NTC2018) permettono di adottare, in alternativa ad un'analisi di risposta sismica locale, una procedura semplificata basata sulla definizione di categorie di sottosuolo.

La procedura semplificata si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde sismiche (V_s), che V_s devono essere ottenuti con specifiche prove, oppure, limitatamente all'approccio semplificato, possono essere valutati tramite correlazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito (ad es. prove penetrometriche, statiche o dinamiche). Si descrivono al paragrafo seguente le indagini effettuate per ottenere il valore di V_s rappresentativo del volume significativo per le opere in progetto.

D.1 INDAGINI EFFETTUATE

Per la caratterizzazione sismica del sottosuolo sono stati eseguiti n. 2 stendimenti sismici con esecuzione di prove MASW per la determinazione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio richiesta dalle NTC2018 ($V_{s,eq}$), che, data la profondità del substrato nell'area in esame, è definita dal parametro $V_{s,30}$.

Sono state inoltre eseguite prove n. 2 prove con il piezocono sismico (SPTU), a riscontro dei profili ottenuti con le MASW lungo due verticali.

Le prove MASW sono state eseguite nelle posizioni mostrate in Figura D-1; le prove SCPTU lungo la direzione della MASW1.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	13 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	



Figura D-1 Ubicazione delle prove MASW

I risultati delle prove MASW hanno fornito valori del parametro $V_{s,30}$ molto simili fra loro (rispettivamente: MASW 1 = 251 m/s; MASW 2 = 248 m/s), più alti rispetto ai valori desunti con le prove SCPTU (rispettivamente: SCPTU1 = 189 m/s; SCPTU2 = 191 m/s).

I valori del parametro $V_{s,30}$ ottenuti, sia quelli ricavati con le MASW sia quelli ricavati con le SCPTU, sono del tutto in linea con l'attribuzione della categoria di sottosuolo per la discarica esistente (Categoria C, $V_{s,eq} > 180$ m/s).

Si rimanda ai rapporti di prova allegati alla Relazione geologica per maggiori dettagli.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	14 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

D.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO PER IL SITO

I valori di velocità equivalente ricavati con le prove in sito, come si è detto, sono riferibili ad un sottosuolo di categoria C, che è definito come segue (Tabella 3.2.II delle NTC 2018):

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Si rappresenta che i valori di velocità equivalente ricavati nel sito sono, in linea generale, consistenti con i valori determinati in altre parti del territorio comunale a partire dalle correlazioni con il modulo di taglio G_0 ricavato da prove CPTU e utilizzati dall'Amministrazione comunale per l'aggiornamento dello studio di Microzonazione (si veda la Relazione di pericolosità e microzonazione sismica del Piano Strutturale Comunale), scaricabile al sito:

<https://www.renogalliera.it/lunione/uffici-e-servizi/uffici/area-gestione-del-territorio/urbanistica/pianificazione-di-livello-comunale-psc-poc-rue/galliera/psc>

Alla luce di quanto riportato, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, al sedime delle opere si attribuisce la **categoria C di sottosuolo**.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	15 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base è la componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche del sito in esame e definisce, in termini probabilistici, i valori dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in relazione a tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti.

La pericolosità sismica di base è riferita a condizioni ideali litostratigrafiche (substrato roccioso affiorante e superficie topografica orizzontale) ed è funzione degli Stati Limite relativi all'opera in progetto e delle corrispondenti probabilità P_{VR} di verificarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento da adottare per le verifiche in condizioni sismiche (par. 3.2.1 delle Norme Tecniche) sono:

Stati Limite Ultimi (SLU), che comprendono:

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana (SLV), definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC), definito come lo stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Stati limite di Esercizio (SLE), che comprendono:

- Stato Limite di immediata Operatività (SLO), relativo alla condizione che, per effetto del terremoto, la costruzione nel suo complesso (elementi strutturali, non strutturali e apparecchiature rilevanti) non subisca danni e interruzioni d'uso significative;
- Stato Limite di Danno (SLD), relativo alla condizione che, per effetto del terremoto, la costruzione nel suo complesso (elementi strutturali, non strutturali e apparecchiature rilevanti) subisca danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

La norma vigente attribuisce al progettista la responsabilità di stabilire il livello di prestazione della struttura da verificare per ogni stato limite considerato. Le probabilità di superamento a cui

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	16 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

riferirsi per individuare l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati sono qui riportati in Tabella E.1 (cfr Tab 3.2.I NTC2018).

Tabella E.1 Stratigrafia e parametri di progetto

Stati Limite	P _{VR} : Probabilità di superamento nel tempo V _R	
Esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

Il tempo di ritorno T_R dell'evento sismico per ciascuno stato limite è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} tramite la relazione:

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

Il periodo di riferimento V_R è stabilito come descritto al paragrafo seguente.

E.1 VITA NOMINALE, VITA UTILE E PERIODI DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

La Vita Nominale di progetto di un'opera (V_N), intesa come il numero di anni in cui la stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così stabilita dalle NTC2018:

- V_N ≤ 10 anni, per costruzioni temporanee e provvisorie;
- V_N ≥ 50 anni, per costruzioni con livelli di prestazioni ordinari;
- V_N ≥ 100 anni per costruzioni con livelli di prestazioni elevati.

Le verifiche sismiche di opere con V_N ≤ 10 anni o di opere in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto prevede che la condizione provvisoria permanga per meno di 2 anni.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, per tutte le opere in progetto si assumerà:

V_N = 100 anni.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	17 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le Norme Tecniche distinguono le costruzioni in classi d'uso, legate ad esigenze di operatività nelle fasi immediatamente successive ad un evento sismico.

Le classi d'uso, caratterizzate mediante il coefficiente d'uso (C_U), sono così definite:

Classe I ($C_U=0.7$): costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;

Classe II ($C_U=1.0$): Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. [...];

Classe III ($C_U = 1.5$): Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. [...];

Classe IV ($C_U = 2.0$): Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. [...].

Tutte le opere in progetto saranno attribuite alla Classe IV ($C_U = 2$).

L'azione sismica da considerare nelle verifiche è fissata in relazione ad un periodo di riferimento V_R che, per ciascun tipo di opera, si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Alla luce di quanto sopra esposto, il periodo di riferimento V_R rispetto al quale calcolare l'azione sismica di progetto è, per tutte le opere:

$$V_R = 100 \cdot 2 = 200 \text{ anni.}$$

Per le opere in progetto ($V_R = 200$ anni), il tempo di ritorno dell'azione sismica si ricava dalla tabella seguente.

Stato Limite		P_{VR} %	T_R anni
SLE	SLO	81%	120
	SLD	63%	200
SLU	SLV	10%	1898

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	18 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Stato Limite		P_{VR} %	T_R anni
	SLC	5%	2475

E.2 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO (a_g) E PARAMETRI DI RIFERIMENTO

I valori dei parametri a_g , F_o , e T_c^* da considerare per la determinazione dell'azione sismica, sono quelli forniti in allegato al DM 14/01/2008¹ in punti ubicati ai nodi di una griglia che copre l'intero territorio nazionale. I valori degli stessi parametri in un sito di coordinate geografiche note che non sia ubicato su un nodo della griglia possono essere ottenuti per interpolazione dei valori ai quattro nodi della griglia più vicini mediante il foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009).

Le coordinate geografiche del sito (gradi decimali) sono (Figura E-1):

Lat: 44,732506

Long: 11,486252

¹ Par. 3.2 delle NTC2018: "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."

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	19 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

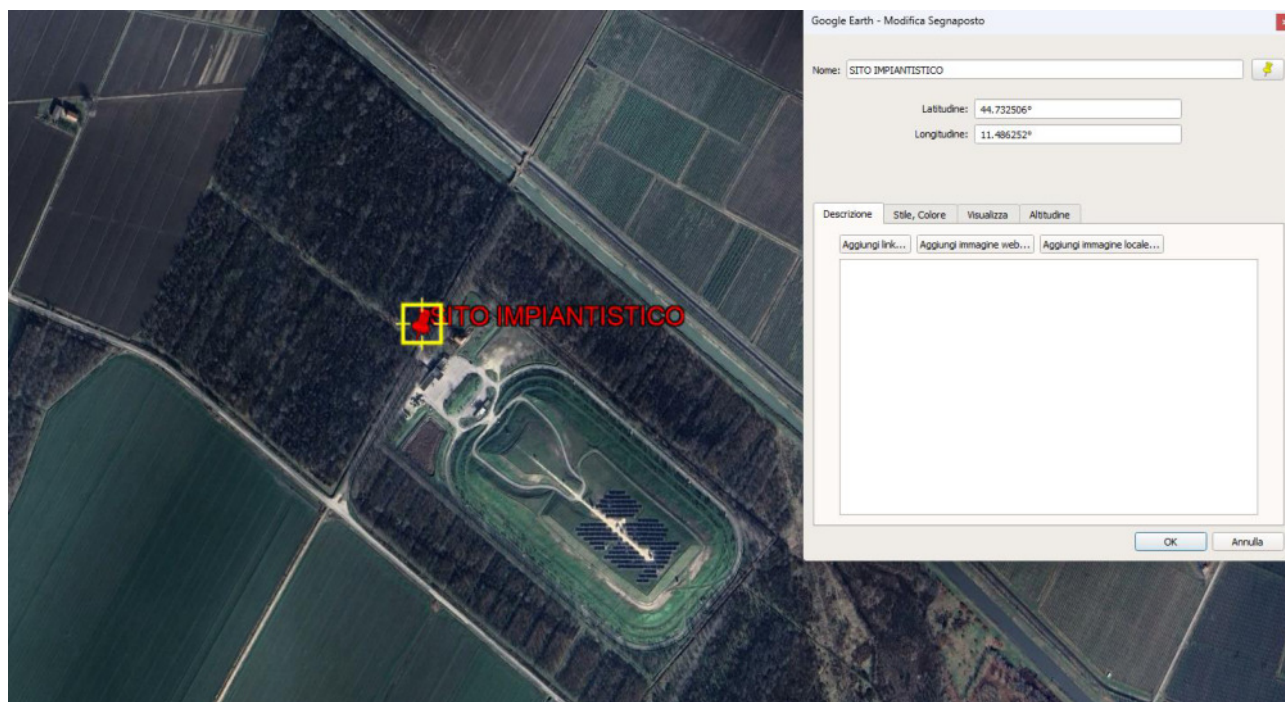


Figura E-1 Coordinate geografiche rappresentative del sito (Fonte: google earth)

Tali coordinate sono inserite nel foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC per ricavare i valori dei parametri rappresentativi della pericolosità del sito.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	20 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

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

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

In **Tabella E.2** sono riportati i valori di a_g , F_0 , e T_c^* ricavati per il sito.

Tabella E.2 Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0.085	2.575	0.266
SLD	201	0.108	2.582	0.270
SLV	1898	0.268	2.465	0.290
SLC	2475	0.296	2.438	0.294

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	21 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

F VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

F.1 VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per valutare eventuali effetti di amplificazione locale senza dover ricorrere ad una più rigorosa analisi di risposta sismica, le NTC2018 permettono di adottare una procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo.

Adottando l'approccio semplificato previsto dalle NTC2018, l'effetto della risposta sismica locale sulla pericolosità di base si valuta mediante il coefficiente di sito (S), che è ottenuto dal prodotto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S , legato alla categoria di sottosuolo già introdotta (par. D.2), e il coefficiente di amplificazione topografica S_T , legato all'andamento piano altimetrico della superficie topografica su cui l'opera è collocata:

$$S = S_S \cdot S_T.$$

Il valore del coefficiente S_S per ciascuna categoria di sottosuolo si ricava dalle espressioni fornite in Tabella 3.2.IV al par. 3.2.3 delle NTC2018 (Tabella F.1 seguente). Il coefficiente S_T si applica a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m (par. 3.2.2 delle NTC2018). Poiché il sito in oggetto è collocato in un'area pianeggiante, il coefficiente S_T si può quindi trascurare.

Tabella F.1 Espressioni di S_S e C_c

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

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	22 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

F.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

In Tabella 10 si forniscono i valori dei coefficienti e i valori dei periodi per il calcolo dello spettro di risposta elastica in accelerazione della componente orizzontale, in funzione dei diversi stati limite previsti dalla normativa, valutati per il sito in oggetto.

Stato Limite	T_R (anni)	a_g (g)	F_O (-)	T_c^* (s)	S (-)	C_c	a_{max} (g)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
SLO	120	0,085	2,575	0,266	1,500	1,625	0,128	0,144	0,432	1,940
SLD	201	0,108	2,582	0,270	1,500	1,617	0,162	0,146	0,437	2,032
SLV	1898	0,268	2,465	0,290	1,304	1,580	0,349	0,153	0,458	2,672
SLC	2475	0,296	2,438	0,294	1,267	1,573	0,375	0,154	0,462	2,784

Tabella F.2 Valori dei parametri per il calcolo dell'azione sismica

Per quanto riguarda lo spettro di risposta elastica in accelerazione della componente verticale, si applica la Tab. 3.2.VI delle NTC2018, essendo $S_T = 1$ (si veda la Tabella F.3).

Tabella F.3 Valori dei parametri dello spettro 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

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	23 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

G DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE IN PROGETTO

Le opere strutturali in progetto sono costituite da:

- plinti di fondazione dei pozzi inclinati;
- bacino di contenimento dei serbatoi di stoccaggio percolato, che, data la sua rigidezza viene modellata come fondazione diretta;
- box dotati di copertura mobile in materiale plastico, realizzati mediante strutture prefabbricate.

Il plinto di fondazione dei pozzi di stoccaggio percolato è un basamento che, come il pozzo stesso, risulterà completamente interrato e confinato tra i rifiuti, una volta che il settore afferente al pozzo sarà in coltivazione.

La relazione presente riporta il dimensionamento e le verifiche di sicurezza relative alla struttura che forma il bacino di contenimento dei serbatoi. Tale struttura è una vasca in c.a. fuori terra, costituita da una platea di fondazione, da una parete perimetrale e da una parete divisoria interna (setto), che ripartisce la vasca in due sotto bacini. Data la sua rigidezza, la vasca è modellata come una fondazione scatolare diretta.

Le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali sono:

- platea di fondazione:
 - $B = 9$ m (larghezza)
 - $L = 38.20$ m (lunghezza)
 - $S = 0.7$ m (spessore)
- pareti:
 - $H = 1.7$ m (altezza);
 - $LB = 7.6$ m (lunghezza nella direzione di B, compreso spessore pareti perimetrali in dir. L);
 - $LL = 36.8$ m (lunghezza nella direzione di L, compreso spessore pareti perimetrali in dir. B);

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	24 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- $sp = 0.4 \text{ m}$ (spessore delle pareti).

All'interno della vasca vengono alloggiati n. 8 serbatoi in vetroresina di capacità 80 m^3 ciascuno, poggianti su piedini.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	25 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

H CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO

Considerate le caratteristiche ambientali del sito e la loro funzione, la struttura è realizzata con materiali aventi le proprietà seguenti.

H.1 CALCESTRUZZO STRUTTURALE

Resistenza caratteristica cubica: $f_{ck, cube} \geq 45 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico: $E_c = 34'000 \text{ MPa}$

Coefficiente di Poisson: $\nu = 0,1$

Resistenza caratteristica a trazione (media): $f_{ctm} \geq 3.21 \text{ N/mm}^2$.

Alla luce dei valori di resistenza caratteristica del calcestruzzo strutturale, i valori di resistenza di progetto sono:

- Resistenza a compressione: $f_{cd} \geq 19,83 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione: $f_{ctd} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza ammissibile a SLE per combinazione caratteristica: $\sigma_{c,amm} \geq 21 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza ammissibile a SLE per combinazione quasi permanente: $\sigma_{c,amm} \geq 15,75 \text{ N/mm}^2$

H.2 ACCIAIO PER C.A.

Acciaio in barre tipo

B450C

Tensione caratteristica di snervamento:

$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura:

$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico:

$E_s = 200'000 \text{ MPa}$

Allungamento totale a carico massimo:

$(A_{gt})_k \geq 7.5\%$

Alla luce dei valori di resistenza caratteristica dell'acciaio di armatura, i valori di resistenza di progetto sono:

- Resistenza a trazione: $f_{yd} \geq 391,3 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza ammissibile a SLE per combinazione caratteristica: $\sigma_{samm} \geq 360 \text{ N/mm}^2$

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	26 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

H.3 TERRENO DI FONDAZIONE

Al terreno di imposta della platea possono essere attribuiti i valori dei parametri relativi all'unità più superficiale (si veda la Relazione geotecnica):

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3 \text{ (peso di volume naturale);}$$

$$c_u = 30 \div 60 \text{ kN/m}^2 \text{ (resistenza a taglio non drenata).}$$

Per le verifiche, si assumerà $c_{u,k} = 50 \text{ kN/m}^2$, valore rappresentativo di un valore medio della resistenza a taglio non drenata nel volume significativo per l'opera (verifiche al carico limite) e della resistenza a taglio non drenata alla profondità del piano di imposta (verifiche a scorrimento) in base ai risultati delle prove penetrometriche statiche.

Per analisi di interazione in cui il sottosuolo è schematizzato con il classico modello di letto di molle elastiche di Winkler, il valore del coefficiente di sottofondo k_s è ricavato con l'espressione (si veda la Relazione geotecnica):

$$k_s = k_1 \cdot b / (1,5 \cdot B),$$

ossia:

$$k_s = 4000/B \text{ kN/m}^2$$

Date le dimensioni delle opere in oggetto, si ricava:

$$k_s = 4000/9 \approx 440 \text{ kN/m}^3$$

Com'è noto, le sollecitazioni ottenute con il modello di Winkler sono poco sensibili al variare di k_s in un intervallo molto ampio.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	27 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

I PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE

I.1 GENERALITÀ

L'opera in c.a. in progetto è schematizzabile come una fondazione superficiale ai sensi delle NTC2018, sollecitata dal peso proprio delle componenti strutturali e impiantistiche e dalle azioni da queste trasferite alla platea.

In accordo alle NTC2018, per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono attribuiti in funzione del tipo di verifica da effettuare e, per quanto riguarda le resistenze, del tipo di opera.

Per quanto concerne le azioni di progetto, E_d , le norme vigenti precisano che tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Le tabelle seguenti, estratte dalla norma vigente, riportano i diversi coefficienti parziali da adottare nelle possibili condizioni di interesse progettuale.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	28 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Tabella I.1 Coefficienti parziali per le azioni o per gli effetti delle azioni (Tabella 6.2.I delle NTC2018)

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella I.2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II delle NTC2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Analogamente, per ciascuno stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni nelle combinazioni di carico per gli SLE e C_d è il valore ammissibile dell'effetto delle azioni, che è stabilito in funzione del comportamento dell'opera in progetto e delle eventuali costruzioni che interagiscono con essa.

I.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO

In coerenza con la NTC2018, ai fini della presente le azioni come si classificano come segue:

- il peso proprio della struttura in c.a. è classificato come azione permanente (G_1);
- il peso proprio dei serbatoi e del liquido contenuto sono classificati come azioni permanenti (G_2);

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	29 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- l'azione del liquido sulle pareti del bacino di contenimento è classificata come azione variabile (Q);

Sarà poi considerata l'azione sismica.

I coefficienti parziali da impiegare nelle combinazioni che saranno valutate in progetto sono quindi assunti in coerenza con la classificazione anzidetta, in accordo alla Tabella I.1 e alla Tabella I.3 seguente.

Tabella I.3 Valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I delle NTC2018)

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Si precisa che i coefficienti di combinazione, quando previsti, saranno assunti con i valori relativi alla Categoria E (aree per immagazzinamento e uso industriale, ambienti ad uso industriale).

I.3 **COMBINAZIONE DELLE AZIONI**

Si valuteranno le combinazioni delle azioni seguenti:

- per lo Stato Limite Ultimo, la cosiddetta combinazione fondamentale, espressa con la formulazione (espressione 2.5.1 delle NTC2018):

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	30 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- per gli Stati Limite di Esercizio:
 - la cosiddetta combinazione caratteristica o rara, espressa con la formulazione (espressione 2.5.2 delle NTC2018):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- la cosiddetta combinazione frequente, espressa con la formulazione (espressione 2.5.3 delle NTC2018):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- la cosiddetta combinazione quasi permanente, espressa con la formulazione (espressione 2.5.4 delle NTC2018):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- in presenza dell'azione sismica, la combinazione sismica, espressa con la formulazione (espressione 2.5.5 delle NTC2018):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- nell'ipotesi di rottura o perdite dei serbatoi, la combinazione eccezionale, espressa con la formulazione (espressione 2.5.6 delle NTC2018):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

in cui gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali seguenti:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	31 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

J ANALISI DEI CARICHI

J.1 AZIONI PERMANENTI

I pesi propri degli elementi, strutturali e portati, sono valutati a partire dal peso di volume di ciascun materiale, rispettivamente assunto uguale a:

- $\gamma_{\text{cls}} = 25 \text{ kN/m}^3$ (calcestruzzo)
- $\gamma_{\text{perc}} = 10 \text{ kN/m}^3$ (percolato)

I serbatoi il loro contenuto sono considerati elementi non strutturali (G_2 , a cui è quindi associato il coefficiente parziale $\gamma_{G2} = 1,5$ nelle verifiche di SLU che prevedono la combinazione A1).

Il peso di ogni serbatoio è assunto uguale a:

- $w_v = 82 \text{ kN}$ (vuoto);
- $w_p = 882 \text{ kN}$ (pieno).

J.2 AZIONE SISMICA

Gli effetti dell'azione sismica sono modellati mediante l'azione inerziale proporzionale all'accelerazione massima in direzione orizzontale (par. F.2). In particolare, per lo SLV si ha:

$$a_{\text{max}} = 0,349 \text{ g}$$

In direzione verticale si assumerà:

$$a_v = \pm a_{\text{max}}/2 = 0,1745 \text{ g}$$

con segno positivo o negativo in modo che la scelta sia tale da rappresentare la situazione più gravosa in termini di sollecitazione sulla struttura.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	32 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

K VERIFICHE DI SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DI TIPO GEO**K.1 STATI LIMITE ULTIMI**

Date le caratteristiche dell'opera in oggetto si eseguono le verifiche degli stati limite di tipo geotecnico relativi a:

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa.

Come richiesto dalle norme vigenti (NTC2018), le verifiche sono effettuate applicando la combinazione di coefficienti parziali sulle azioni e sulle resistenze prevista dall'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali qui riportati in Tabella K.1 (in campo statico) e in Tabella K.2 (campo sismico).

Tabella K.1 Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali
(Tabella 6.4.1 delle Norme tecniche per le costruzioni)

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo, il coefficiente γ_R può essere ridotto a 1.8.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	33 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Tabella K.2 Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche (Tabella 7.11. II delle Norme tecniche per le costruzioni)

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

K.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

La verifica del collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno è effettuata valutando la resistenza del terreno (carico limite) con la formula generale di Brinch Hansen (1970). Alla luce della stratigrafia del sito, il carico limite è valutato in condizioni non drenate mediante l'espressione:

$$q_{lim} = c_U \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q$$

dove:

q_{lim}	pressione limite (resistenza caratteristica a capacità portante, riferita all'area della fondazione ridotta);
$B' \cdot L'$	area della fondazione ridotta (area minima per cui il carico risulta centrato);
$B' = B - 2 \cdot e_B$	dimensione ridotta della fondazione (lato minore);
e_B	componente dell'eccentricità della risultante dei carichi nelle direzioni parallela a B;
$L' = L - 2 \cdot e_L$	dimensione ridotta della fondazione (lato maggiore);
e_L	componente dell'eccentricità della risultante dei carichi nelle direzioni parallela a L;
s_c	fattore di forma della fondazione;
d_c	fattore di profondità del piano di appoggio;
i_c	fattore di inclinazione del carico;
b_c	fattore di inclinazione della base della fondazione;

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	34 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

g_c	fattore di inclinazione del piano campagna;
N_c	coefficienti di capacità portante ($N_c = 2 + \pi = 5,14$);
γ	peso di volume del terreno;
$q = \gamma D$	pressione verticale alla quota di imposta della fondazione.

Per la formulazione dei fattori di forma, profondità, inclinazione del carico, della base e del piano campagna e dei coefficienti di capacità portante si rimanda alla trattazione dell'autore.

La verifica del collasso per scorrimento sul piano di posa è effettuata valutando la resistenza a scorrimento in condizioni non drenate si ricava dall'espressione seguente:

$$R_d = B \cdot c_{ud} / \gamma_R$$

essendo: B la dimensione della fondazione in direzione parallela alla forza, $c_{ud} = c_{u,k}$ il valore caratteristico della resistenza a taglio non drenata e γ_R il coefficiente parziale per la verifica a scorrimento.

K.3 AZIONI DI PROGETTO

Si valuta la sicurezza nei confronti del collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno nelle condizioni più gravose per l'opera, ossia quelle in cui tutti i serbatoi sono pieni.

Il peso della struttura (W_{STR}) si ottiene moltiplicando il suo volume per il peso di volume del calcestruzzo:

$$W_{STR} = 280,1 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 7002,5 \text{ kN}$$

Data la simmetria della struttura, il carico è centrato.

Il carico degli 8 serbatoi pieni è dato da:

$$W_{SERB} = 8 \times 882 \text{ kN} = 7056 \text{ kN}.$$

L'azione sismica (par. J.2) è applicata ai baricentri delle masse, ossia a metà altezza della platea e a metà altezza dei serbatoi.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	35 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

K.4 VERIFICHE DI SICUREZZA

Sono analizzati i 3 casi, di SLU, di SLV con azione sismica diretta parallelamente al lato B della fondazione e con azione sismica diretta parallelamente al lato L. La resistenza delle superfici laterali non viene presa in conto nel calcolo; pertanto, si omette la relativa verifica di resistenza (si veda la Tabella K.2).

I valori del fattore di sicurezza ottenuti con le verifiche sono riportati in Tabella K.3; poiché in tutte le verifiche si ha $FS \geq \gamma_{R \min}$ (valore minimo di normativa), la verifica è soddisfatta in accordo alle NTC2018.

Tabella K.3 Coefficienti di sicurezza per SLU di tipo GEO

Combinazione di carico	Carico limite		Scorrimento	
	FS	$\gamma_{R \min}$	FS	$\gamma_{R \min}$
SLU	4,87	2,3	N.D.	1,1
SLV - Dir. B	3,39	2,3	2,1	1,1
SLV - Dir. L	4,56	2,3	2,57	1,1

I tabulati di calcolo sono forniti nel documento DS 03 BO SM 01 D1 RS 05.01 allegato alla presente.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	36 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L VERIFICHE DI SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DI TIPO STR**L.1 PARETI****L.1.1 Stati limite e metodologia di calcolo**

In condizioni di esercizio ordinarie (bacino vuoto), le pareti non sono soggette ad azioni orizzontali significative. Le pareti possono essere soggette ad azioni orizzontali significative nelle seguenti situazioni:

- in presenza di sisma (combinazione sismica);
- in occasione della rottura di uno o più serbatoi (combinazione eccezionale). In tal caso, si assume che il liquido può riempire il bacino.

Le azioni di progetto sono quindi costituite dall'azione sismica e dalla spinta idrostatica; poiché il riempimento del bacino e comunque la formazione di un battente significativo all'interno del bacino è una condizione "estrema" (combinazione eccezionale), l'azione idrostatica non si combina con l'azione sismica.

L'azione sismica verticale è assunta con verso negativo (ossia diretta verso l'alto), in modo da determinare una minore azione di compressione e quindi una condizione peggiorativa per la verifica a pressoflessione.

Le pareti sono calcolate come muri a mensola con schemi e procedure normalmente adottate nelle Scienze e nella Tecnica delle Costruzioni. Tenuto conto della ridotta altezza di tali elementi strutturali, si adotta uno schema di armatura unico ai due lembi della sezione e per tutta l'altezza; pertanto, sarà sufficiente calcolare la massima sollecitazione alla sezione di incastro e verificare tale sezione.

L.1.2 Azioni di progetto

Data la semplicità dello schema di calcolo, le azioni di progetto sono calcolate con un foglio di calcolo predisposto appositamente. I tabulati sono riportati nel documento DS 03 BO SM 01 D1 RS 05.01 allegato alla presente.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	37 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L.1.3 Verifica di sicurezza

Il calcolo delle azioni è svolto con un foglio di calcolo Excel appositamente predisposto dagli scriventi.

I tabulati di calcolo con cui sono valutate le sollecitazioni sulle pareti (per metro di sezione) sono forniti nel documento DS 03 BO SM 01 D1 RS 05.01 allegato alla presente. In particolare, sono forniti i tabulati relativi alla due condizioni significative (combinazione eccezionale e combinazione sismica).

Le sollecitazioni nella sezione all'incastro tra la parete e la platea sono riepilogate nella Tabella L.1 seguente.

Tabella L.1 Riepilogo delle sollecitazioni di progetto per la sezione della parete

Stato Limite	N_d [kN/m]	T_d [kN/m]	M_d [kNm/m]
Combinazione eccezionale	17	21.68	12.28
Combinazione sismica	14.03	8.9	7.56

La sezione in c.a., di base 100 cm e altezza 40 cm, è armata con barre diametro 12 mm ogni 20 cm (5 barre/m). Il copriferro di progetto è 4 cm.

Si ottiene quindi:

- per la verifica della sezione in c.a. nella combinazione eccezionale:
 $M_R = 83.5 \text{ kNm} > M_d = 12,3 \text{ kNm}$,
pertanto la sezione è verificata a SLU;
- per la verifica della sezione nella combinazione sismica:
 $M_R = 83.1 \text{ kNm} > M_d = 7,56 \text{ kNm}$,
pertanto la sezione è verificata a SLU;

In condizioni ordinarie di esercizio, le pareti sono soggette solo al peso proprio, quindi ad azione di compressione. Si omettono pertanto le verifiche a SLU/SLE.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	38 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L.2 PLATEA

L.2.1 *Stati limite e metodologia di calcolo*

Sono valutati gli Stati Limite di tipo STR relativi alle combinazioni di carico seguenti:

- combinazione fondamentale (SLU);
- combinazione sismica (SLV);
- combinazione caratteristica o rara (SLE);
- combinazione frequente (SLE);
- combinazione quasi permanente (SLE).

Data la semplicità della struttura in c.a. e la regolarità in pianta della distribuzione delle masse, l'azione sismica è considerata agente alternativamente nel piano (z,B) e nel piano (z,L); le sollecitazioni sugli elementi strutturali sono perciò ricavate con analisi lineari nelle direzioni B ed L.

I calcoli sono svolti con metodi e procedure normalmente adottate nelle Scienze e nella Tecnica delle Costruzioni; in particolare:

- le sollecitazioni agenti sulla platea sono valutate mediante analisi di interazione riferite ad una striscia di larghezza pari all'interasse tra due piedini (1,185 m) nella direzione ortogonale al piano sui cui agiscono le azioni, in cui il sottosuolo è rappresentato da un letto di molle elastiche (c.d. suolo alla Winkler);
- i serbatoi sono considerati alternativamente vuoti o pieni, in modo da valutare le sollecitazioni le sollecitazioni massime e dimensionare la struttura su queste, senza necessità di condizionare l'ordine di riempimento dei serbatoi;
- in direzione L, le azioni gravitazionali dei serbatoi sono applicate per semplicità in corrispondenza del baricentro (assunzione cautelativa); in direzione B, in corrispondenza del baricentro di ogni piedino di appoggio.

Non è ammessa la contemporaneità di serbatoi pieni e bacino pieno, in quanto il bacino si può riempire solo a seguito di perdite da uno o più serbatoi. La condizione di bacino pieno è di minore interesse, poiché determina un carico uniforme (a cui, nell'analisi di interazione, corrisponde una reazione uniforme del terreno).

Le caratteristiche del terreno di fondazione sono quelle richiamate al par. H.3.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	39 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L.2.2 Azioni di progetto

I carichi agenti sulla platea di fondazione sono determinati dai serbatoi, che possono trovarsi nella condizione di serbatoio vuoto (V) o pieno (P). Si ipotizza che il riempimento sia progressivo, pertanto ne discendono le combinazioni di carico seguenti:

- in direzione B:
 - P (serbatoio pieno);
- in direzione L:
 - P-V-V-V-V-V-V-V;
 - P-P-V-V-V-V-V-V;
 - P-P-P-V-V-V-V-V;
 - P-P-P-P-V-V-V-V;
 - P-P-P-P-P-V-V-V;
 - P-P-P-P-P-P-V-V;
 - P-P-P-P-P-P-P-V;
 - P-P-P-P-P-P-P-P;

Le azioni verticali sulla platea trasmesse dalle pareti e dai serbatoi, nelle ipotesi precedentemente descritte, sono sintetizzate nelle tabelle seguenti.

Tabella L.2 Azioni di progetto trasmesse alla platea (dir. L)

Elemento	G (kN)	Q (kN)	COMBINAZIONE				
			SLU (kN)	SLV (kN)	RARA (kN)	FREQ (kN)	QP (kN)
Muro	50,4	0,0	65,5	59,2	50,4	50,4	50,4
Serbatoio pieno	41,0	400,0	661,6	424,0	441,0	401,0	361,0
Serbatoio vuoto	41,0	0,0	61,6	48,2	41,0	41,0	41,0

Tabella L.3 Azioni di progetto trasmesse alla platea (dir. B)

Elemento	G (kN)	Q (kN)	COMBINAZIONE				
			SLU (kN)	SLV (kN)	RARA (kN)	FREQ (kN)	QP (kN)
Muro	50,4	0,0	65,5	59,2	50,4	50,4	50,4
Serbatoio pieno	20,5	200,0	330,8	212,0	220,5	200,5	180,5
Serbatoio vuoto	20,5	0,0	30,8	24,1	20,5	20,5	20,5

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	40 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L.2.3 Verifiche di sicurezza

Le verifiche di sicurezza sono state eseguite per le 9 condizioni di carico (1 in direzione B e 8 in direzione L) e per le 5 combinazioni di carico (per un totale di 45 situazioni analizzate) mediante un foglio di calcolo distribuito in commercio (par. M.2) che modella il comportamento della trave su suolo elastico. I file di input sono riportati nel documento DS 03 BO SM 01 D1 RS 05.01 allegato alla presente.

I risultati ottenuti sono sintetizzati dai grafici alle figure seguenti (relativi ad una fascia di larghezza $B = 1,185$) e dai valori di sollecitazione massima riportati in Tabella L.4 e Tabella L.5 (sollecitazioni di progetto per metro di sezione).

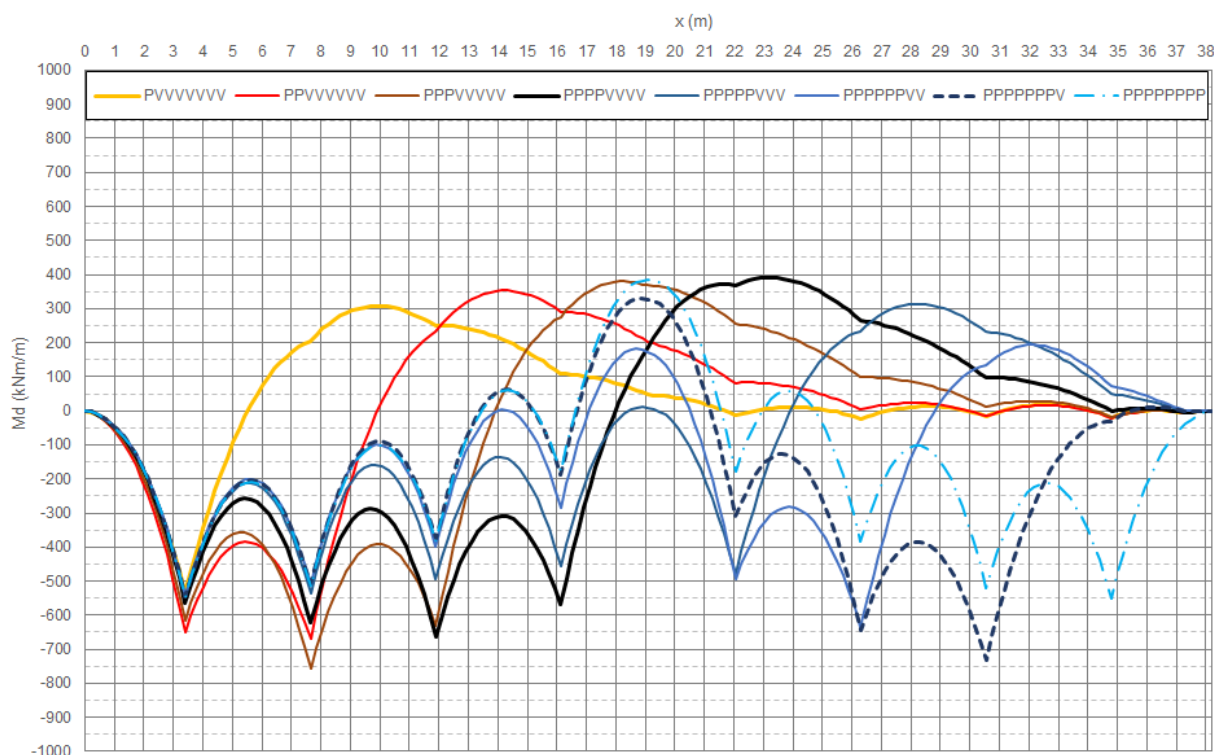


Figura L-1 Momento flettente nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLU, dir. L)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	41 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

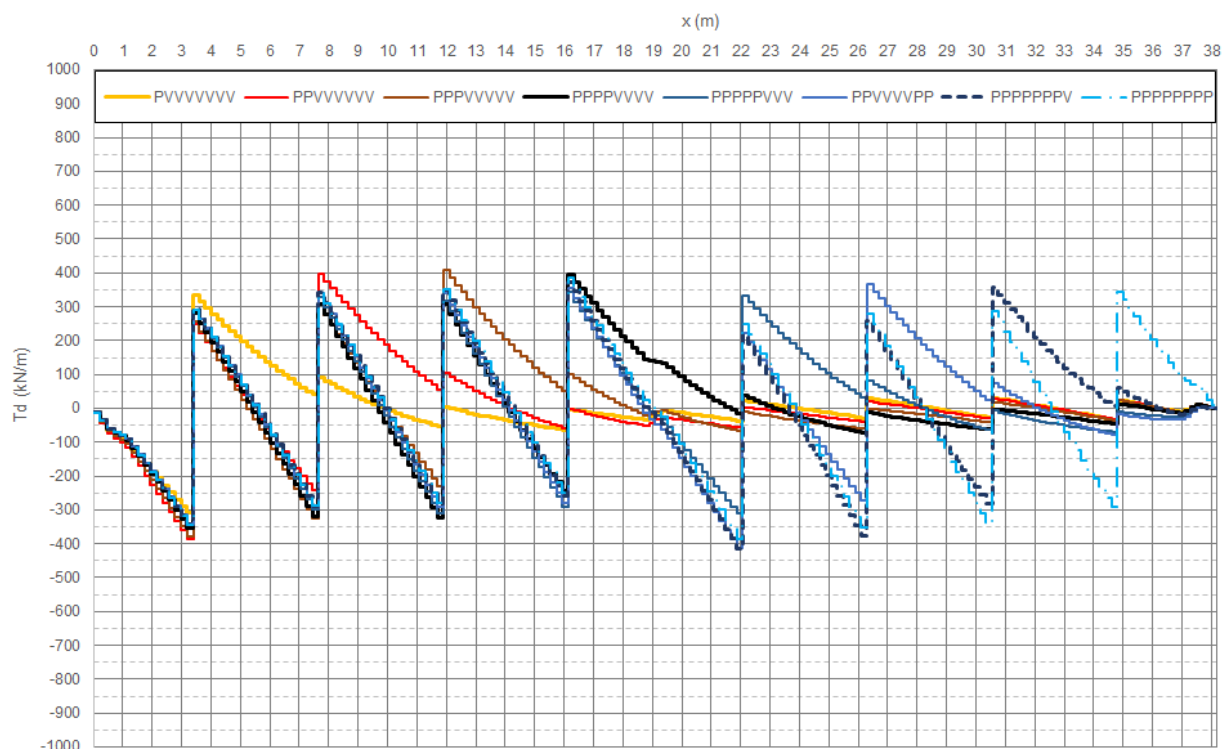


Figura L-2 Taglio nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLU, dir. L)

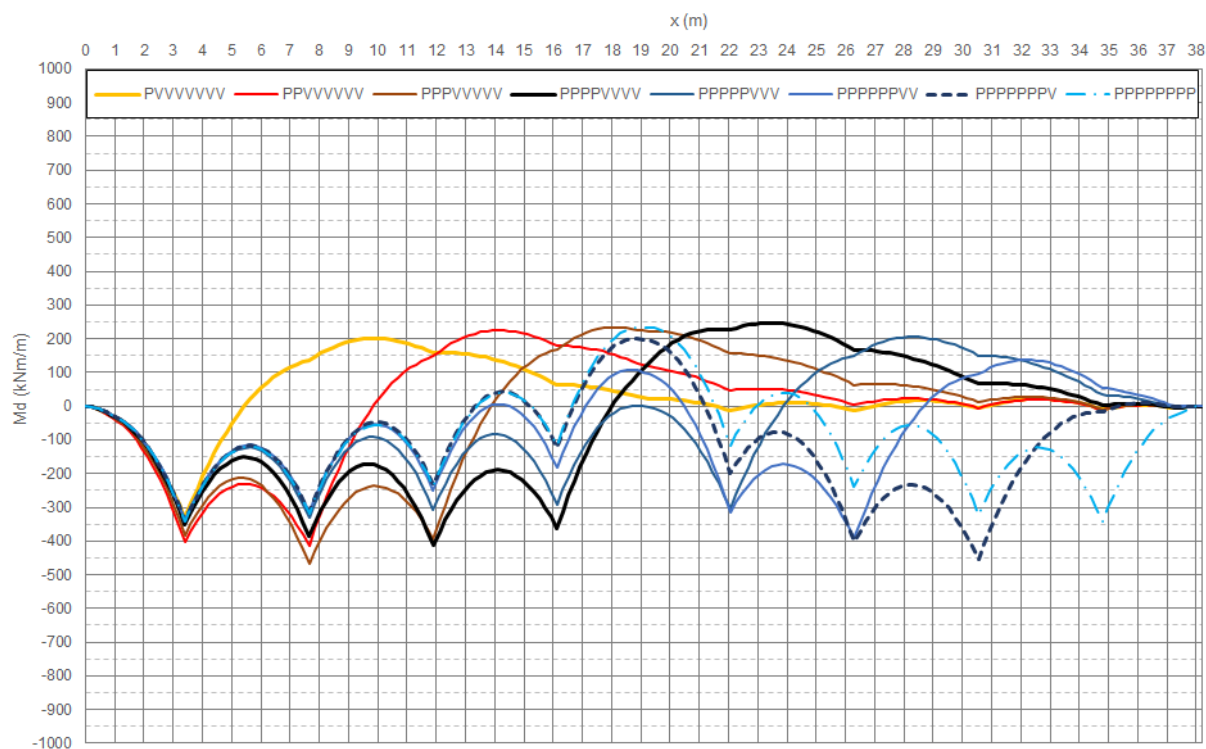


Figura L-3 Momento flettente nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLV, dir. L)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	42 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

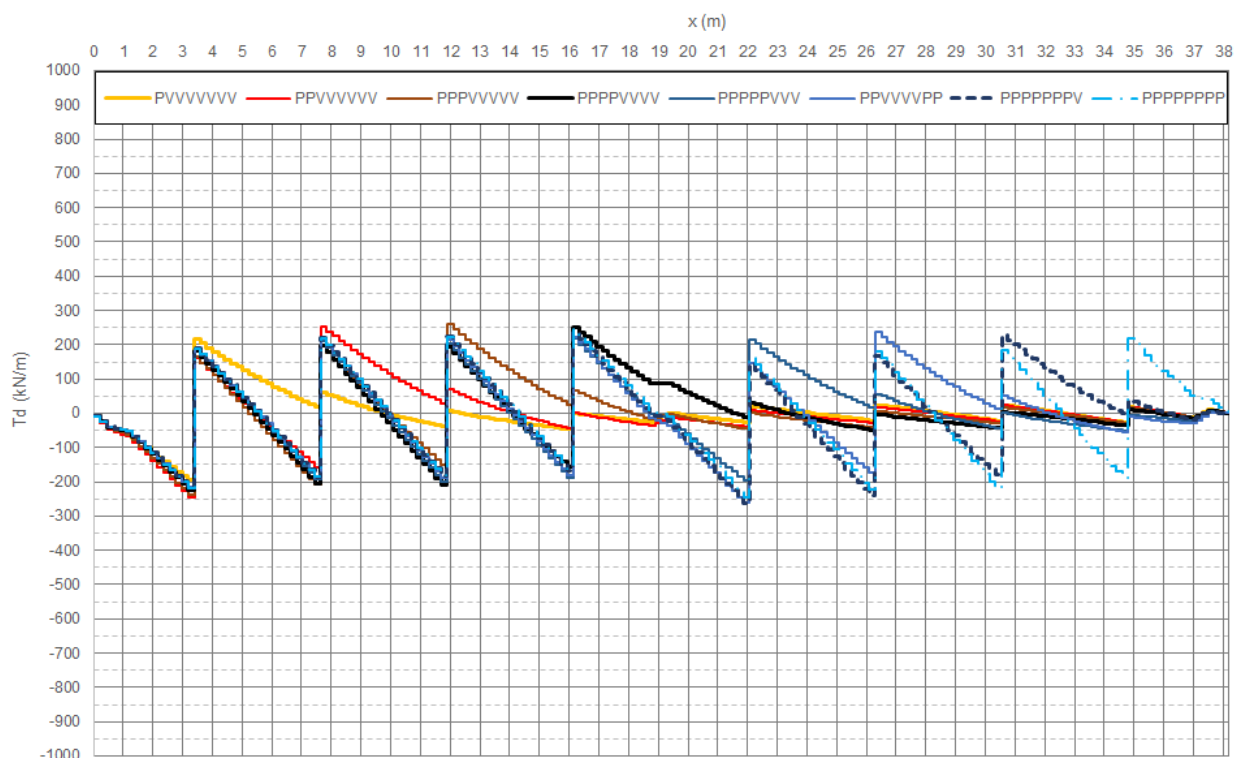


Figura L-4 Taglio nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLV, dir. L)

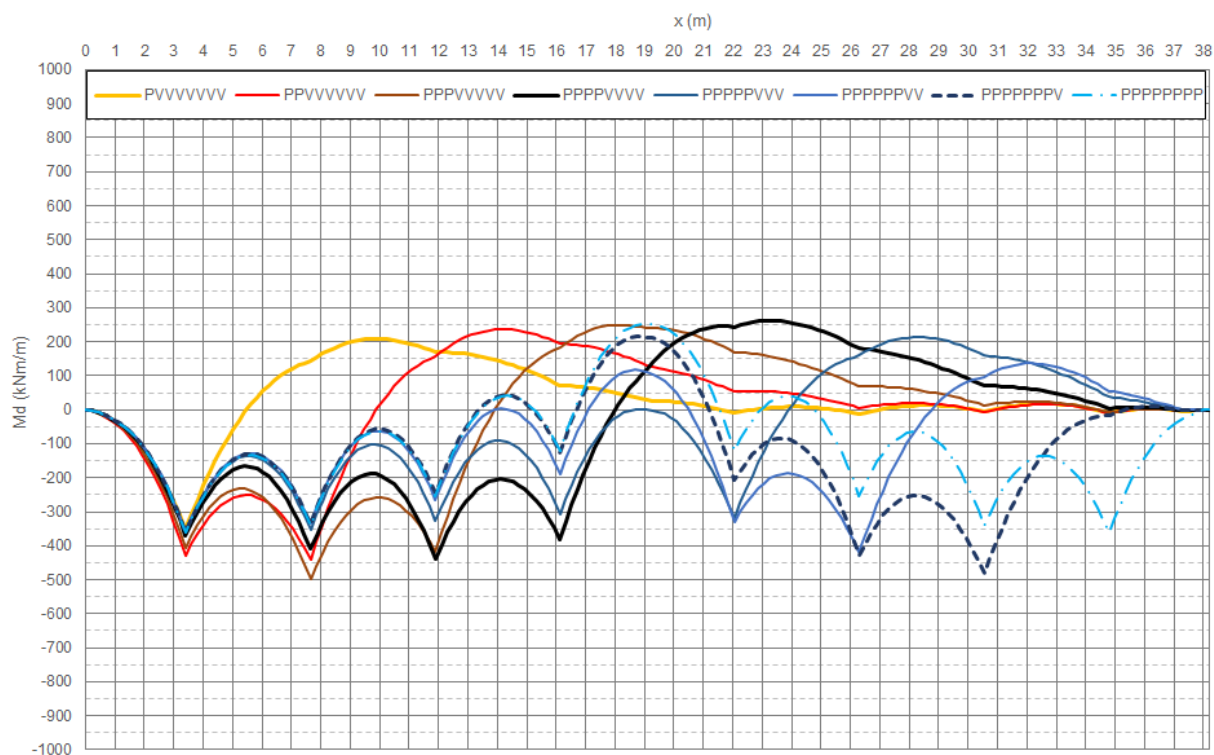


Figura L-5 Momento flettente nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE fondamentale, dir. L)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	43 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

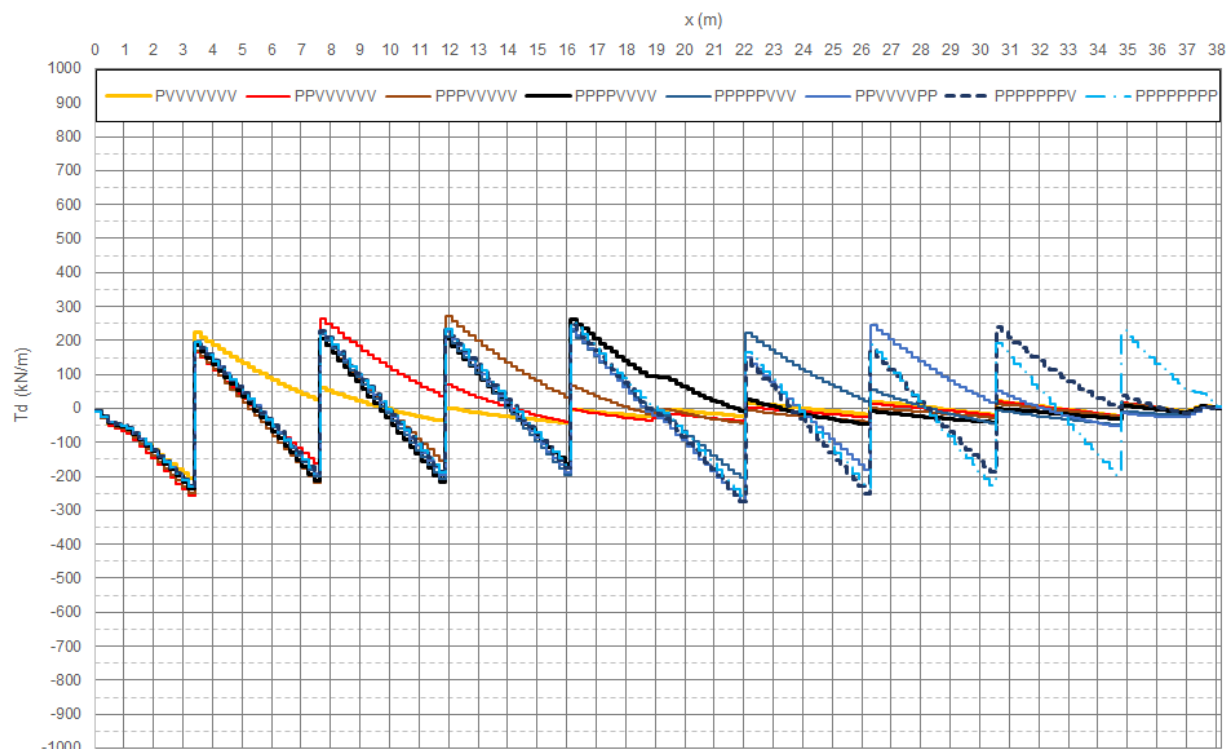


Figura L-6 Taglio nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE fondamentale, dir. L)

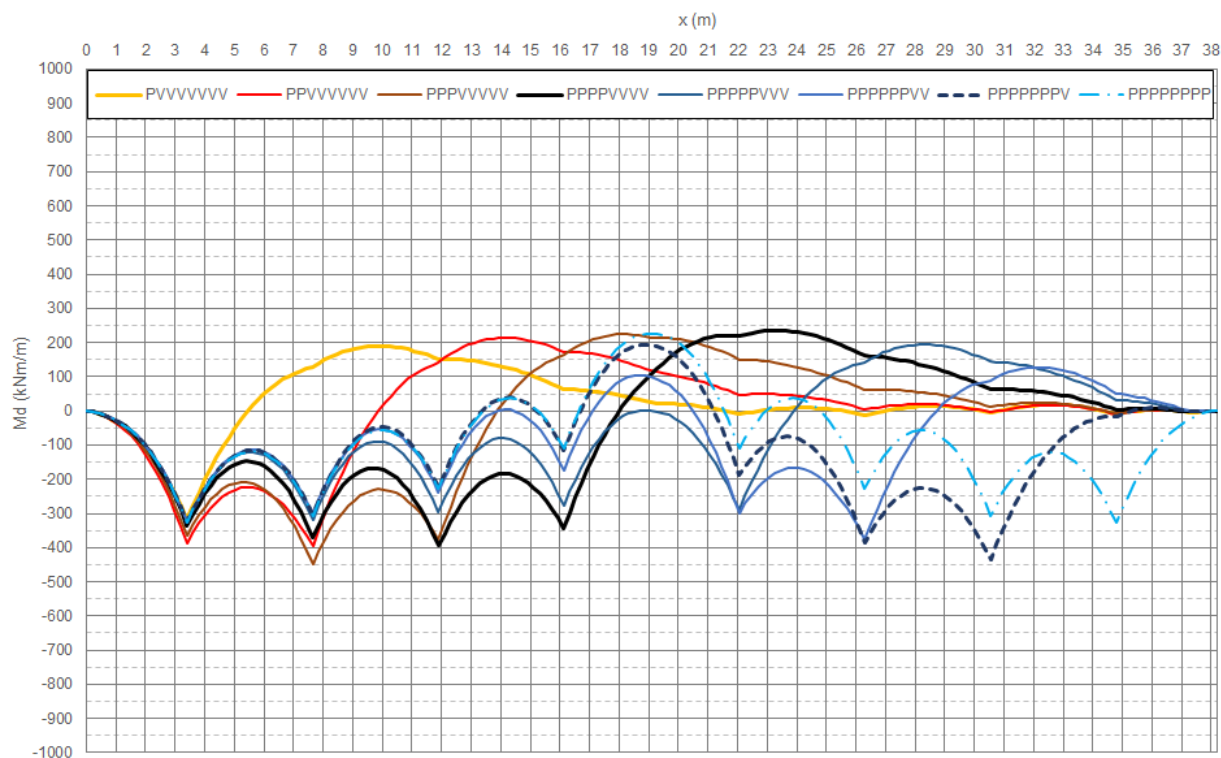


Figura L-7 Momento flettente nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE frequente, dir. L)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	44 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

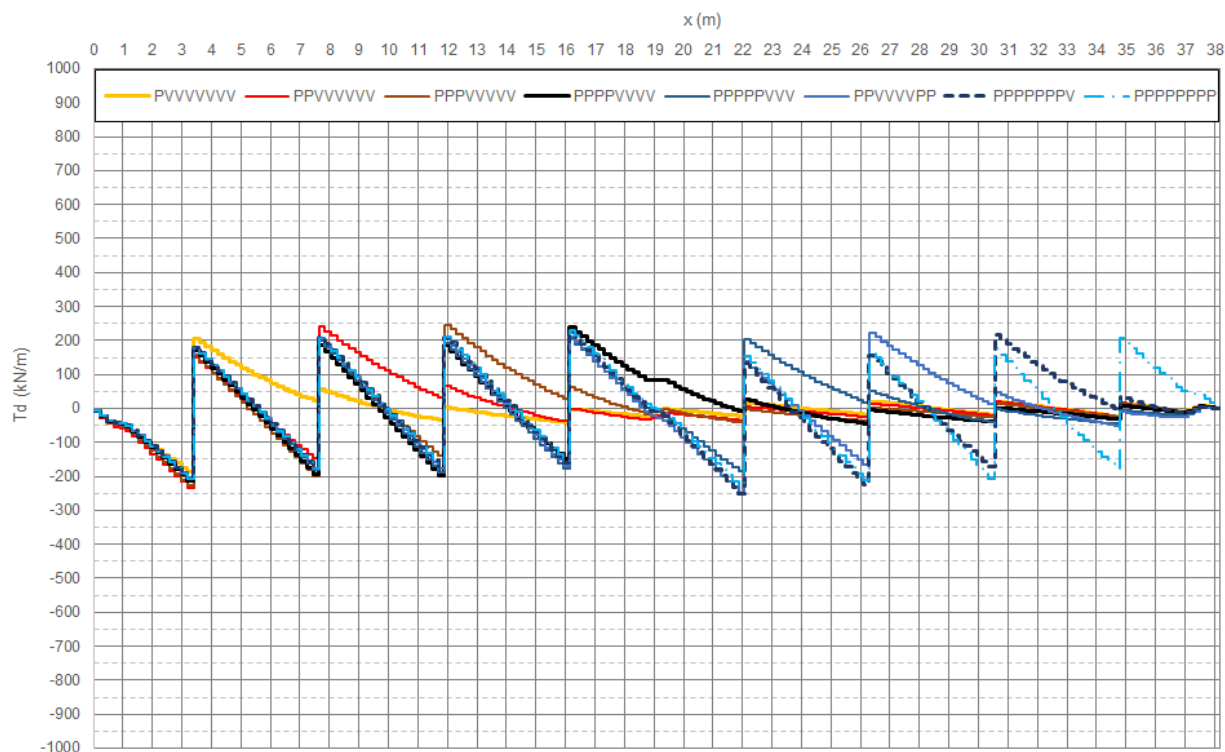


Figura L-8 Taglio nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE frequente, dir. L)

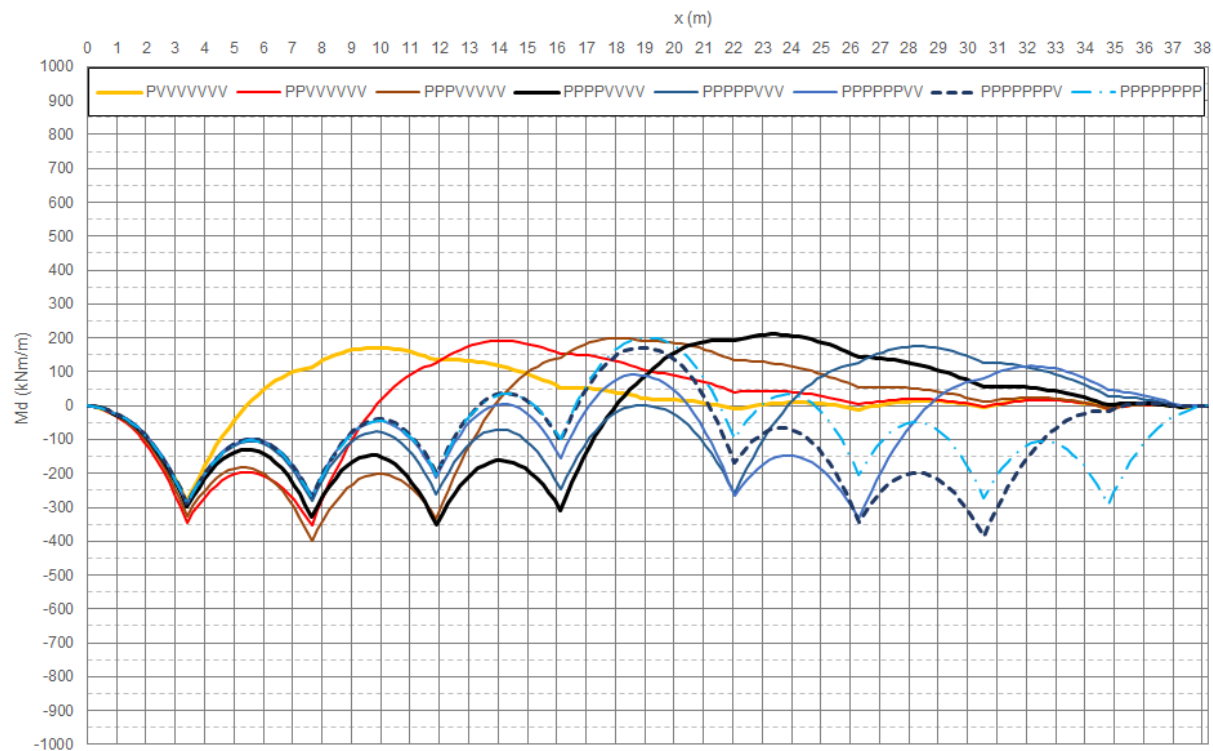


Figura L-9 Momento flettente nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE quasi permanente, dir. L)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	45 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

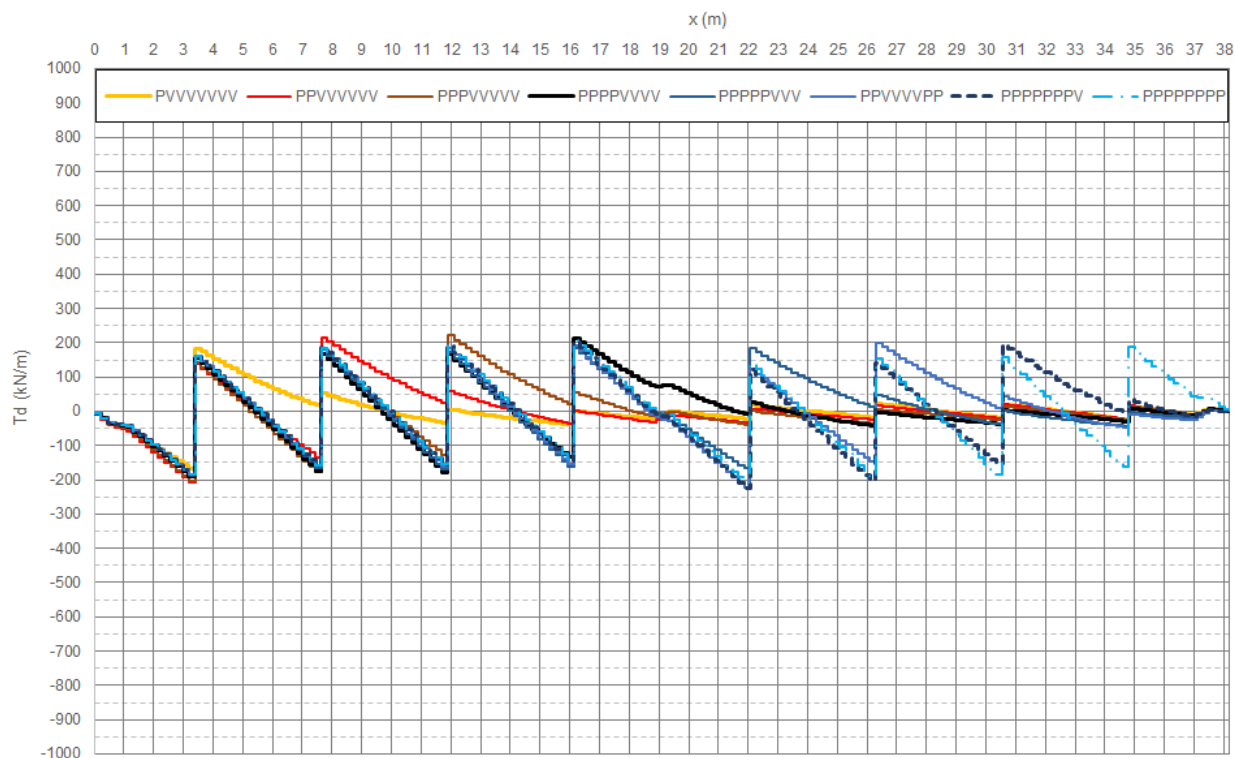


Figura L-10 Taglio nella platea nelle diverse condizioni di carico (SLE quasi permanente, dir. L)

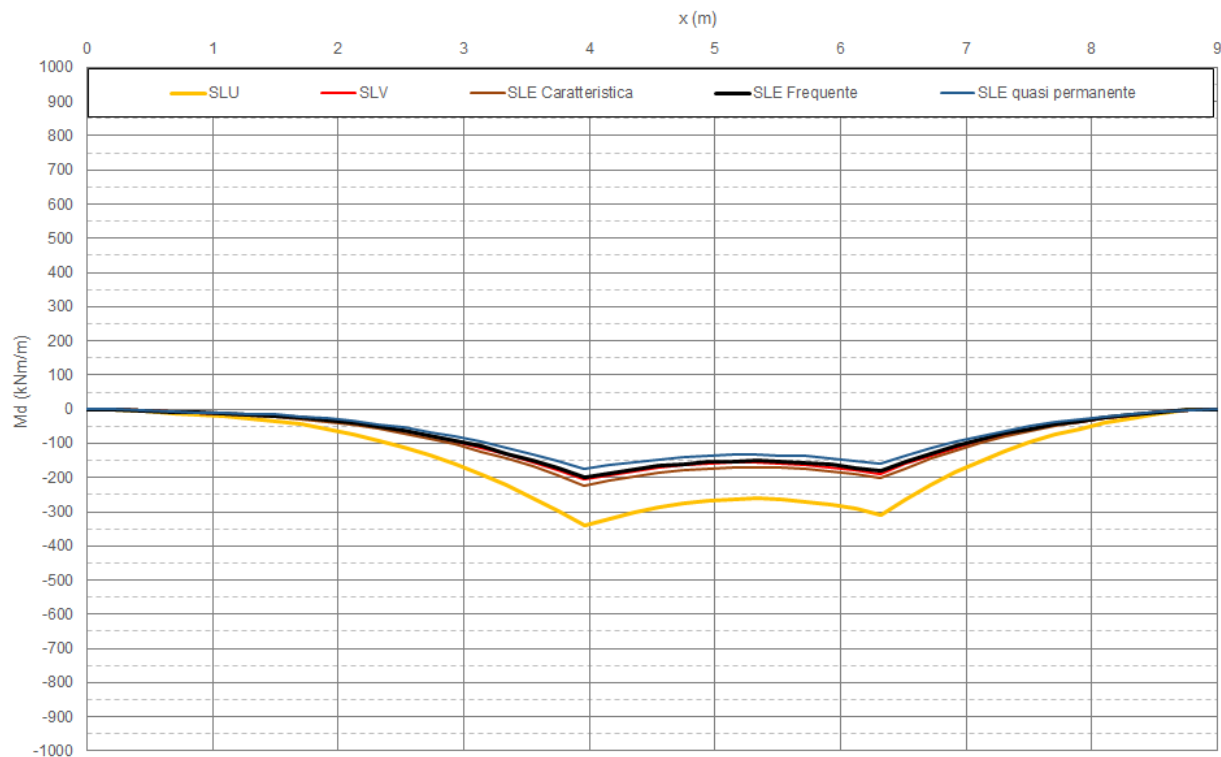


Figura L-11 Momento flettente nella platea nelle diverse combinazioni di carico (dir. B, serbatoio pieno)

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	46 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

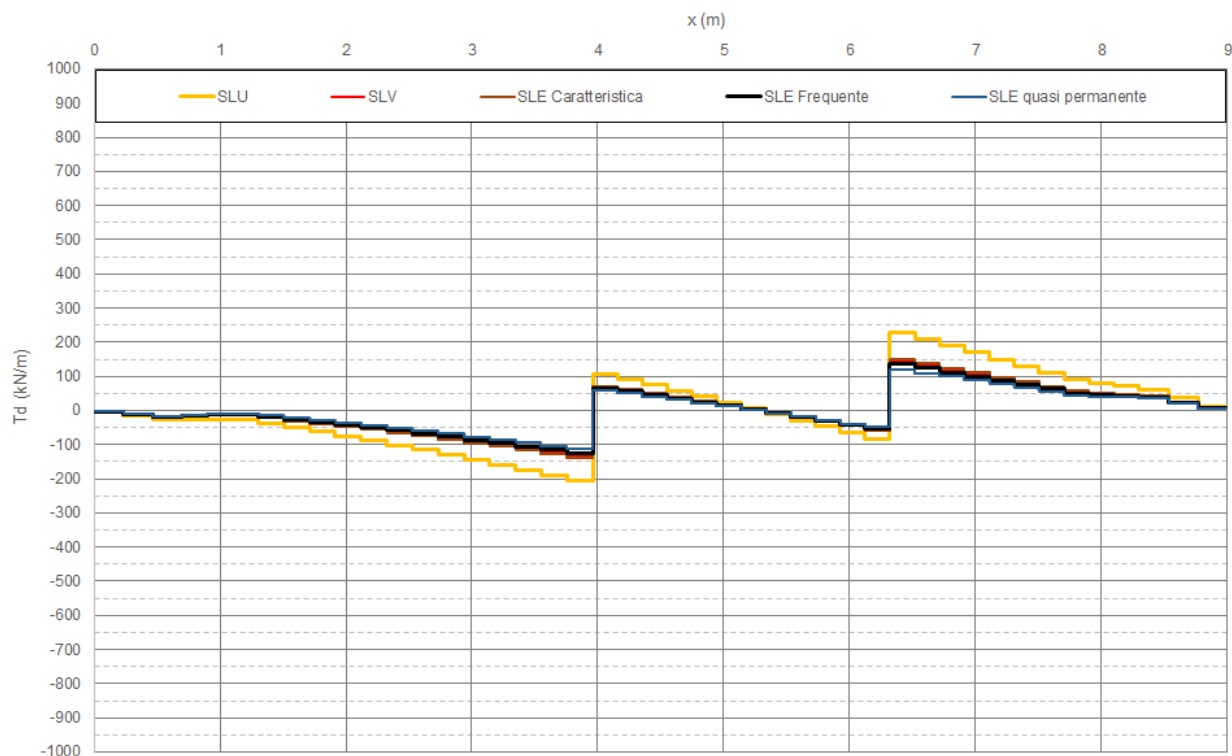


Figura L-12 Taglio nella platea nelle diverse combinazioni di carico (dir. B, serbatoio pieno)

Tabella L.4 Sollecitazioni di progetto sulla platea (dir. L)

Direzione L	SOLLECITAZIONE			
	M_{max} (kNm/m)	T_{max} (kN/m)	M_{min} (kNm/m)	T_{min} (kN/m)
SLU	330,6	345,2	-638,2	-349,9
SLV	208,4	219,1	-395,4	-221,4
SLE1 (Car.)	220,8	229,6	-421,3	-232,3
SLE2 (Freq.)	199,1	208,1	-379,0	-210,4
SLE3 (Quasi perm.)	177,4	186,6	-336,7	-188,5

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	47 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Tabella L.5 Sollecitazioni di progetto sulla platea (dir. B)

Direzione B	SOLLECITAZIONE			
	M_{\max} (kNm/m)	T_{\max} (kN/m)	M_{\min} (kNm/m)	T_{\min} (kN/m)
SLU	0,0	191,9	-287,7	-174,8
SLV	0,0	119,8	-174,4	-111,0
SLE1 (Car.)	0,0	126,7	-187,9	-116,1
SLE2 (Freq.)	0,0	114,3	-168,2	-105,3
SLE3 (Quasi perm.)	0,0	102,0	-148,5	-94,5

In direzione L, la sezione in c.a., di base 100 cm e altezza 70 cm, è armata con n.8 barre diametro 16 mm all'estradosso e con n. 10 barre diametro 20 mm all'intradosso Il copriferro di progetto è 4 cm.

Si ottengono quindi i risultati seguenti:

- per la verifica della sezione in c.a. all'estradosso ($M_d = 330,6$ kNm):

a SLU/SLV

$M_R = 405,5$ kNm/m $>$ $M_d = 330,6$ kNm/m,

pertanto la sezione è verificata a SLU/SLV;

a SLE caratteristica ($M_d = 220,8$ kNm/m)

$\sigma_c = 3,65$ N/mm² $<$ 21 N/mm²

$\sigma_s = 222,24$ N/mm² $<$ 360 N/mm²

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione caratteristica;

a SLE quasi permanente ($M_d = 177,4$ kNm/m)

$\sigma_c = 2,93$ N/mm² $<$ 15,75 N/mm²

$\sigma_s = 178,6$ N/mm² $<$ 360 N/mm²

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione quasi permanente;

$w_k = 0,1634$ mm \leq 0,2 mm

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione quasi permanente;

a SLE frequente ($M_d = 199,1$ kNm/m)

$w_k = 0,1834$ mm \leq 0,2 mm

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione frequente;

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	48 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- per la verifica della sezione in c.a. all'intradosso ($M_d = 638,2 \text{ kNm}$):
 - a SLU/SLV
$$M_R = 776,4 \text{ kNm/m} > M_d = 638,2 \text{ kNm/m},$$

pertanto la sezione è verificata a SLU/SLV;
 - a SLE caratteristica ($M_d = 421,3 \text{ kNm/m}$)
$$\sigma_c = 6,10 \text{ N/mm}^2 < 21 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_s = 223,49 \text{ N/mm}^2 < 360 \text{ N/mm}^2$$

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione caratteristica;
 - a SLE quasi permanente ($M_d = 379,0 \text{ kNm/m}$)
$$\sigma_c = 5,49 \text{ N/mm}^2 < 15,75 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_s = 201,05 \text{ N/mm}^2 < 360 \text{ N/mm}^2$$

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione quasi permanente;
 - $w_k = 0,1864 \text{ mm} \leq 0,2 \text{ mm}$

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione quasi permanente;
 - a SLE frequente ($M_d = 199,1 \text{ kNm/m}$)
$$w_k = 0,1590 \text{ mm} \leq 0,2 \text{ mm}$$

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione frequente;

In direzione B, la sezione in c.a., di base 100 cm e altezza 70 cm, è armata simmetricamente con n.8 barre diametro 16 mm all'estradosso e con n. 8 barre diametro 16 mm all'intradosso Il copriferro di progetto è 4 cm.

Si ottengono quindi i risultati seguenti:

- per la verifica della sezione in c.a. all'intradosso ($M_d = 287,7 \text{ kNm}$):
 - a SLU/SLV
$$M_R = 405,2 \text{ kNm/m} > M_d = 287,7 \text{ kNm/m},$$

pertanto la sezione è verificata a SLU/SLV;
 - a SLE caratteristica ($M_d = 187,9 \text{ kNm/m}$)
$$\sigma_c = 3,47 \text{ N/mm}^2 < 21 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_s = 190,2 \text{ N/mm}^2 < 360 \text{ N/mm}^2$$

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione caratteristica;

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	49 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

a SLE quasi permanente ($M_d = 148,5 \text{ kNm/m}$)

$$\sigma_c = 2,74 \text{ N/mm}^2 < 15,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s = 150,3 \text{ N/mm}^2 < 360 \text{ N/mm}^2$$

pertanto la sezione è verificata alla limitazione delle tensioni nella combinazione quasi permanente;

$$w_k = 0,1376 \text{ mm} \leq 0,2 \text{ mm}$$

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione quasi permanente;

a SLE frequente ($M_d = 199,1 \text{ kNm/m}$)

$$w_k = 0,1558 \text{ mm} \leq 0,2 \text{ mm}$$

pertanto la sezione è verificata alla fessurazione nella combinazione frequente.

Si conclude quindi che le sezioni in c.a. sono verificate con le armature previste in progetto.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	50 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

M AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO AUTOMATICI (PAR. 10.2 NTC2018)

I calcoli sono eseguiti sostanzialmente con formule chiuse, a volte implementate all'interno di fogli di calcolo Excel commerciali o sviluppati dagli scriventi.

I dati di calcolo sono presentati in modo leggibilità e riproducibile, illustrando in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare e/o grafica.

M.1 TIPO DI ANALISI SVOLTA

Le verifiche riguardanti la struttura sono state effettuate con schemi semplificati tipici della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni e sotto ipotesi ragionevolmente cautelative.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta e sono stati calcolati come illustrato nella relazione presente.

M.2 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Titolo: Progetti e calcoli di geotecnica con Excel – Verifiche SLU

Autore/Produttore: Mancina, Nori e Iasiello

Versione: 2007

Licenza d'uso: Il codice di calcolo è fornito con il volume di testo edito da DEI

Titolo: Progetti e calcoli di geotecnica con Excel – trave suolo elastico

Autore/Produttore: Mancina, Nori e Iasiello

Versione: 2007

Licenza d'uso: Il codice di calcolo è fornito con il volume di testo edito da DEI

Titolo: Progetti e calcoli di geotecnica con Excel – fondazioni dirette

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	51 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Autore/Produttore: Mancina, Nori e Iasiello

Versione: 2007

Licenza d'uso: Il codice di calcolo è fornito con il volume di testo edito da DEI

M.3 AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego.

I risultati dell'analisi del codice sono stati confrontati con soluzioni teoriche e risultati ottenuti con programmi simili.

M.4 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole della corretta assunzione dei dati in ingresso.

M.5 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dai sottoscritti utenti del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. In base a quanto sopra, si può affermare che le elaborazioni sono corrette e idonee al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

DS 03 BO SM 00 E1 RS 05.00	Relazione sismica e delle strutture dei manufatti accessori	00	30/04/2025	52 di 52
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	