

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 1: TRATTA FERMI-LINGOTTO
VALUTAZIONE DEI RISCHI PER POLIZZA ASSICURATIVA ALL RISK

Rischio sismico

Secondo la classificazione sismica del territorio italiano introdotta con l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, il territorio comunale della città di Torino è inserito nella zona 4 (sismicità molto bassa, PGA - Peak Ground Acceleration, ovvero picco di accelerazione al suolo - inferiore a 0,05g).

Relativamente a tale zona, l'O.P.C.M. dà facoltà alle Regioni di imporre o meno l'obbligo di progettazione antisismica. La Deliberazione Regionale D.G.R. N. 61 - 11017 del 17/11/2003 "*Deliberazione della Giunta della Regione Piemonte in merito alla riclassificazione a rischio sismico del territorio regionale*", indica "di non introdurre, per la zona 4, l'obbligo della progettazione antisismica, ad esclusione di alcuni tipi di edifici e di costruzioni rientranti tra quelli di interesse strategico di nuova costruzione che verranno individuati con successivo atto deliberativo, come previsto dall'articolo 2, comma 4 dell'O.P.C.M. n. 3274".

Ai sensi della Deliberazione Regionale D.G.R. N.64-11402 del 23/12/2003 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 - "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" - Disposizioni attuative dell'articolo 2), si evince che l'opera non ricade nell'elenco delle tipologie di costruzioni di nuova edificazione ritenute d'interesse strategico per le quali, benché in zona 4, è introdotto il rispetto della progettazione antisismica prevista dall'O.P.C.M. n. 3274 (Allegato B alla deliberazione).

Le considerazioni sopra riportate confermano la bassa probabilità che possa verificarsi un evento sismico nel territorio comunale di Torino.

Ciò nonostante, durante la progettazione esecutiva del prolungamento sud della Linea 1 della Metropolitana (tratta Lingotto-Bengasi), costituita da una galleria circolare, due stazioni, due pozzi di intertratta ed un pozzo terminale (opere tipologicamente analoghe a quelle della tratta in esercizio), è stato richiesto al Progettista Esecutivo di effettuare una verifica, sulla base delle Nuove Norme Tecniche di Costruzione di cui al D.M. 14/01/2008 (che introducono azioni sismiche più severe rispetto a quelle previste dalle normative all'atto della costruzione), sia per le stazioni, sia per la galleria.

Gli esiti di tale verifica, riportati in allegato, hanno confermato che la Linea 1 della Metropolitana è stata progettata in modo tale da non risentire degli effetti prevedibili di un possibile evento sismico.

Rischio incendio

Innanzitutto occorre rilevare che trattandosi di trasporto urbano di massa è limitato al trasporto delle persone quindi non sono mai

presenti i carichi trasportati con contenuto di combustibili. Il progetto ha considerato comunque il carico di incendio fornito dal costruttore del treno che sinteticamente prevede nei

primi 180 secondi una prima crescita lineare sino a 1,8 MW quindi un brusco incremento per arrivare a 6,0 MW dopo 300 sec per ridursi a 1,0 MW a 1000 sec per estinguersi quasi completamente ai 1800 secondi. Per detto carico di incendio il progettista ha dimensionato la resistenza delle strutture al fuoco e ha studiato una gestione dei fumi con ventilazione dai pozzi di intertratta che è stata verificata nelle prove di collaudo tecnico prima della messa in esercizio: Il progetto è stato esaminato dai vigili del fuoco e dai tecnici del ministero dei trasporti che hanno partecipato all'esecuzione delle prove. Dette prove hanno consentito di mettere a punto le strategie da utilizzare in caso di incendio.

Il sistema VAL che è nato a Lille circa 30 anni fa è stato ulteriormente migliorato a Torino con l'introduzione di Sprinkler nelle stazioni per intervenire in caso di incendio nel sottocassa dei treni dove si riscontra il maggior rischio d'incendio. Nelle gallerie i cavi sono protetti da tubi TAZ che impediscono la diffusione dell'incendio nelle gallerie stesse.

Occorre anche rilevare che all'interno delle stazioni della Linea 1 della Metropolitana non è presente alcuna attività commerciale: ciò riduce fortemente la possibilità che possa verificarsi un incendio in stazione.

Inoltre, la progettazione della Linea 1 della Metropolitana è stata condotta in maniera tale da separare la gestione degli incendi in stazione ed in galleria. Infatti, la realizzazione del tunnel di banchina in stazione non consente la propagazione di un incendio dalla galleria alla stazione e viceversa.

Infine, nella progettazione della Linea 1 della Metropolitana si è cercato di ridurre al minimo i carichi di incendio presenti. In particolare, per quel che riguarda le stazioni sono stati messi in opera esclusivamente materiali appartenenti alla vecchia classe 1 di reazione al fuoco e pertanto l'unica possibile fonte di innesco è rappresentata dai cestini per la raccolta dei rifiuti (n. 2 al piano banchina, n. 2/4 al piano atrio).

Oltre a quanto sopra esposto, la Linea 1 della Metropolitana è stata progettata e realizzata con dotazioni impiantistiche all'avanguardia, tra cui si segnalano di seguito le più significative:

- all'interno delle stazioni e della galleria, è presente un sistema di videosorveglianza costituito da telecamere che trasmettono immagini-live al Posto di Comando e Controllo ed alla Sala Security, operative 24 ore al giorno, 365 giorni all'anno.
- all'interno delle stazioni (sia nelle aree aperte al pubblico sia all'interno dei locali tecnici), è presente un impianto di rilevazione incendi che, in seguito alla segnalazione di due rilevatori di fumo consecutivi, genera un segnale di allarme che viene trasmesso al Posto di Comando e Controllo ed attiva automaticamente la procedura di evacuazione della stazione, che prevede altresì l'attivazione dell'impianto di ventilazione
- all'interno della galleria, l'incendio viene rilevato dai sensori di fumo presenti sul treno, che generano un segnale di allarme che viene trasmesso al Posto di Comando e Controllo ed attivano automaticamente la strategia prevista per la gestione delle emergenze in galleria, che prevede tra l'altro l'attivazione dell'impianto di ventilazione. Nei tratti di galleria in corrispondenza delle stazioni (dove staziona il treno, all'interno del tunnel di banchina), è stato installato un ulteriore sistema di rilevazione incendi tramite fibrolaser, la cui segnalazione produce automaticamente l'attivazione di un impianto sprinkler (i cui ugelli sono indirizzati in corrispondenza del sottocassa del treno).

Giova infine ricordare che la progettazione degli impianti sopra descritti, le relative logiche di funzionamento e strategie di gestione sono state discusse ed approvate da una Commissione Nazionale di Sicurezza, alla quale hanno partecipato anche rappresentanti dei Vigili del Fuoco.

Rischio allagamenti

La Metropolitana Automatica non si trova nelle immediate vicinanze di corsi d'acqua e pertanto non è realizzata né all'interno delle relative fasce fluviali né in una zona del territorio comunale con rischio idrogeologico, come confermato anche dai Piani Regolatori Generali dei comuni di Torino e di Collegno, interessati dalla costruzione della stessa.

Poiché l'opera risulta costruita parzialmente sotto falda (che si trova, rispetto al piano campagna, alla profondità di -12 m circa su via Nizza e -20 m circa su Corso Francia e Corso Vittorio Emanuele II), sono stati previsti nella fase di progettazione e realizzati nella fase di costruzione trattamenti di impermeabilizzazione del terreno (mediante iniezioni chimiche), che, unitamente alle impermeabilizzazioni delle strutture (fodere e solette delle stazioni, rivestimento della galleria) hanno eliminato il problema di una possibile risalita della falda.

Giova comunque rilevare che le acque meteoriche vengono raccolte da un sistema di raccolta e convogliate nelle vasche di aggettamento (presente in tutte le stazioni e nei punti più bassi della galleria) e successivamente scaricate (mediante un sistema di pompaggio) nelle fognature comunali.

Inoltre, durante la fase di progettazione costruttiva, sono state studiate attentamente le quote di sbarco al piano strada delle scale (fisse e mobili) e degli ascensori, impostando le stesse 5-10 cm più alte delle quote delle aree circostanti, raccordate alle prime con idonee pendenze.

Ad oggi, l'unica stazione che ha avuto problemi di allagamento, in occasione di eventi meteorici eccezionali, è stata la stazione Bernini, in quanto la sistemazione superficiale della piazza realizzata dalla Città di Torino, successivamente alla costruzione della stazione, è stata studiata in maniera errata. A tal proposito, si evidenzia che si stanno valutando con la Città di Torino e GTT Esercizio le possibili azioni necessarie per la risoluzione del problema.

Rischi connessi all'esercizio della linea

Ulteriori rischi connessi all'esercizio della linea possono essere legati al comportamento degli utenti, che possono rendersi protagonisti di atti di vandalismo / attentati... Per ridurre tali rischi, la Metropolitana Automatica è dotata di sistemi automatici di videosorveglianza e di controllo degli accessi in galleria.

Come già detto, nella Metropolitana Automatica le immagini vengono trasmesse in tempo reale dal sistema di videosorveglianza al Posto di Comando e Controllo ed alla Sala Security, 24 ore al giorno, 365 giorni all'anno. Le suddette immagini vengono raccolte dalle telecamere poste in galleria, a bordo dei treni ed all'interno degli ambienti di stazione aperti al pubblico e consentono di tenere costantemente sotto controllo quanto accade lungo l'intera linea.

Al rilevamento, tramite il sistema di videosorveglianza, di una potenziale situazione di pericolo / emergenza, il Posto di Comando e Controllo può disporre, mediante l'attivazione di segnali / comandi automatici, gli interventi ritenuti necessari per gestire tale situazione, fino all'immediata sospensione dell'esercizio della linea.

Al sistema di videosorveglianza, si aggiunge inoltre la presenza costante di 9 agenti di esercizio ridotti a 7 nelle ore serali, che costituiscono un presidio itinerante in grado di raggiungere ogni luogo della linea entro 10 minuti (statisticamente nel 2011 mediamente in 6 minuti con un massimo di 9 minuti), sia sulle stazioni e sia nelle gallerie.

Nella Metropolitana Automatica, l'accesso in galleria può avvenire, esclusivamente attraverso una specifica procedura di esercizio da parte del personale autorizzato, secondo due differenti modalità:

- dalle stazioni, mediante l'apertura delle porte sulle testate del tunnel di banchina. L'apertura non autorizzata delle suddette porte comporta l'immediata ed automatica toltensione della linea e l'attivazione automatica di un allarme, immediatamente visibile al Posto di Comando e Controllo;
- dai pozzi di intertratta, mediante l'apertura delle botole di accesso al piano strada, la discesa attraverso una scala alla marinara e l'apertura di una porta antincendio per l'accesso in galleria. L'apertura non autorizzata delle botole al piano strada comporta l'attivazione automatica di un allarme, immediatamente visibile al Posto di Comando e Controllo, e l'apertura non autorizzata della porta antincendio per l'accesso in galleria comporta l'attivazione di un ulteriore allarme e l'immediata ed automatica toltensione della linea.

Allegati:

- n. 2 Relazioni del Progettista Esecutivo della tratta Lingotto-Bengasi sul rischio sismico nelle stazioni ed in galleria

Introduzione

La nota seguente è volta a discutere la sicurezza delle strutture progettate nei confronti delle azioni sismiche ragionevolmente attese per la città di Torino.

A tal proposito si ricorda preliminarmente quanto segue:

- Secondo quanto riportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/06/1998 n. 2788 "*Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale*", il comune di Torino risulta come non classificato e dunque non soggetto a particolari vincoli progettuali. La sopraccitata classificazione del territorio completa va a completamento delle Norme Tecniche pubblicate con decreto Ministeriale del 9 gennaio 1996 e delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (D.M. 16 gennaio 1996).

- L'Ordinanza n°3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (del 20/03/2003), nell'introdurre la nuova classificazione sismica del territorio italiano, istituisce la cosiddetta "zona 4", in cui rientrano i comuni precedentemente non classificati, tra cui la città di Torino. Relativamente a tale zona, l'O.P.C.M. da facoltà alle Regioni di imporre o meno l'obbligo di progettazione nei confronti delle azioni sismiche.

- La Deliberazione Regionale D.G.R. N. 61 - 11017 del 17/11/2003 "*Deliberazione della Giunta della Regione Piemonte in merito alla riclassificazione a rischio sismico del territorio regionale*", indica "di non introdurre, per la zona 4, l'obbligo della progettazione antisismica, ad esclusione di alcuni tipi di edifici e di costruzioni rientranti tra quelli di interesse strategico di nuova costruzione che verranno individuati con successivo atto deliberativo, come previsto dall'articolo 2, comma 4 dell'O.P.C.M. n. 3274".

- Ai sensi della Deliberazione Regionale D.G.R. N.64-11402 del 23/12/2003 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 - "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" , Disposizioni attuative dell'articolo 2), si evince che l'opera non ricade nell'elenco delle tipologie di costruzioni di nuova edificazione ritenute d'interesse strategico per le quali, pure in zona 4, è introdotto il rispetto della progettazione antisismica prevista dall'O.P.C.M. n.3274 (Allegato B alla deliberazione).

- La Normativa Tecnica (inclusi i più recenti testi, come il D.M. 14 gennaio 2008 e relative circolari esplicative) non individua invece specifici criteri per la verifica sismica delle opere in sotterraneo, siano esse tunnel o stazioni metropolitane, per le quali ci si deve di fatto riferire alla letteratura scientifica.

Oltre ai punti precedentemente indicati, occorre ricordare che l'approccio definito dalle nuove Norme Tecniche (a partire dal D.M. 2008) nei confronti della definizione dell'input sismico e nei confronti in generale del progetto per le azioni sismiche è concettualmente differente a quello adottato dai precedenti testi di legge, sui quali si basa il progetto definitivo per le opere in esame. Risulta dunque impossibile produrre un calcolo di verifica, ancorché semplificato, che sia perfettamente aderente ad uno specifico riferimento normativo (sia esso il D.M. 1996 od il D.M. 2008).

Tuttavia, in ossequio agli accordi presi con il Committente ed il suo Validatore per il Progetto Esecutivo, si produrrà un esempio di calcolo semplificato volto a dimostrare la sicurezza delle strutture progettate nei confronti delle azioni sismiche; si è naturalmente consapevoli che quanto di seguito riportato rappresenta una "forzatura" volta a rispondere alle perplessità sollevate in fase di istruttoria.

In particolare si prenderà in considerazione la soletta di copertura, adottando i seguenti passi di verifica nei confronti delle inerzie generate dalla componente verticale del sisma:

- 1) Si determinerà un valore di accelerazione verticale di progetto per la struttura, rappresentativa della pericolosità intrinseca al sito per un dato periodo di ritorno e del tipo di suolo. Per quanto detto in precedenza, questo procedimento sarà necessariamente svolto in accordo alle NTC 2008.
- 2) Facendo riferimento ad una combinazione sismica delle azioni (ancora una volta ci si riferirà al D.M. 2008) si ripercorrerà l'analisi dei carichi per la copertura, determinando le sollecitazioni flettenti e taglianti
- 3) Si effettueranno le verifiche allo Stato Limite Ultimo in riferimento alla combinazione appena descritta. Questo calcolo non può essere considerato rigoroso dal punto di vista normativo, in quanto sposare *in toto* l'approccio del D.M. 2008 significherebbe modificare la concezione stessa del progetto. Ci si aspetta tuttavia (anche in virtù degli elevati coefficienti parziali assunti ai sensi del DM 1996 sui carichi permanenti, che sono preponderanti) che si ottengano in riferimento a questo calcolo approssimati coefficienti di sicurezza elevati, tali da fugare ogni dubbio sull'effettiva sicurezza dell'opera nei confronti delle azioni sismiche.

Calcolo dell'azione sismica attesa

Per brevità si è fatto riferimento allo stato limite di collasso, tenendo conto di una vita utile del manufatto superiore ai 100 anni e di un coefficiente di utilizzo pari a 1.5. Il suolo interessato dalla realizzazione della tratta Lingotto-Bengasi della Linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino può essere ascritto alla categoria B (depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec). Lo spettro elastico corrispondente è riportato in Figura 1.

Ipotizzando, molto conservativamente, che la totalità della massa interessata (pesi propri della copertura e carichi portati) si deformi in accordo ad un unico modo di vibrare il cui periodo rientra nella zona di massime accelerazioni spettrali (*plateau* dello spettro), la forza sismica massima ottenibile sarà pari al prodotto tra la massa totale (determinata in accordo ai coefficienti per la combinazione sismica) e la massima accelerazione spettrale, pari a 0.087g.

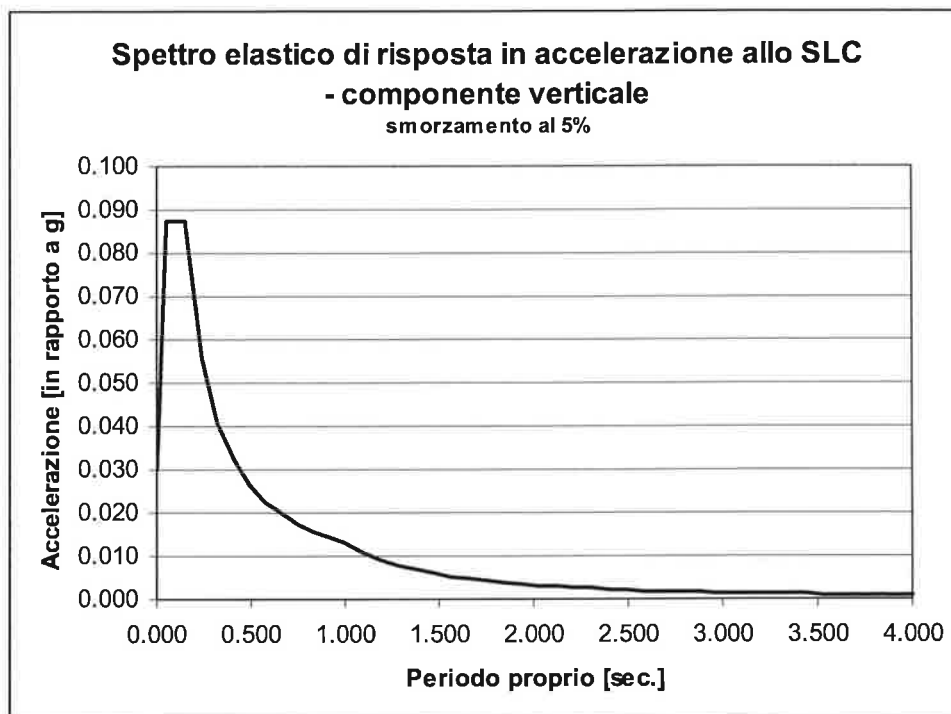


Figura 1 Spettro di progetto per la componente verticale del moto

Analisi dei carichi sulla copertura (da relazione di progetto)

Tutti i carichi si riferiscono alla sezione di verifica di larghezza 1.3m (misura pari all'interasse degli alleggerimenti tubolari disposti in copertura) e sono distribuiti sul metro lineare di lunghezza.

Pesi propri strutturali e sovraccarichi

peso proprio del solettone	32,85 kN/m su 1,3m
peso del ricoprimento	49,4 kN/m su 1,3m
sovraccarico accidentale	26 kN/m su 1,3m

da cui

$$q_{sle} = 108.25 \text{ kN/m su } 1.3 \text{ m}$$

Combinazione SLU statica – utilizzata in P.E.

Si sono moltiplicate le sollecitazioni ottenute allo stato limite di esercizio (ovvero con sollecitazioni unitarie) per il fattore 1.5. Di conseguenza

$$q_{slu} = 162.4 \text{ kN/m su } 1.3 \text{ m}$$

Combinazione SLU sismica

Si sono assunti i seguenti coefficienti (coerentemente al D.M. 2008)

Coefficiente parziali sui carichi permanenti e sui pesi propri: unitario

Coefficiente parziale sui carichi variabili: sarebbe nullo per i ponti di prima categoria. In considerazione dell'eccezionalità della verifica svolta e dell'importanza della struttura si considererà anche qui un coefficiente unitario.

Per il calcolo della massa sismica si considereranno ancora tutti i carichi descritti in precedenza con coefficiente unitario, ottenendo:

$M_s = 108.25\text{kN/m}$ su 1.3m (massa sismica)

Il carico distribuito equivalente dovuto all'azione sismica diviene allora:

$$q_{\text{sism}} = 0.087 \times 108.25\text{kN/m} + 108.25\text{kN/m} = 117.7\text{kN/m}$$
 su 1.3m

Sollecitazioni attese e confronto con le sollecitazioni di progetto

Nelle ipotesi progettuali il momento flettente si fa dipendere linearmente dal carico lineare determinato in precedenza. Dunque è sufficiente osservare che il rapporto tra il carico allo SLU-sismico considerato ed allo stato limite di esercizio, determinato in condizioni altamente conservative, è pari a 1.09 e dunque inferiore al valore 1.5, utilizzato in fase di progetto per determinare le azioni allo stato limite ultimo. Si noti che le azioni determinate, inoltre, non tengono in conto della capacità eventuale della struttura di deformarsi in campo plastico (un tale comportamento non si ritiene comunque desiderabile dal punto di vista progettuale)

Ulteriori commenti riguardo alle sollecitazioni indotte dal sisma sulla struttura

Come asserito in precedenza, la normativa vigente non fornisce allo stato attuale strumenti adeguati all'analisi sismica di strutture interrate, siano esse gallerie a sezione circolare o strutture "scatolari" come quella in esame. E' altresì importante notare come, basandosi sull'osservazione del comportamento di tali strutture in zone fortemente sismiche, appare evidente come i danneggiamenti osservati siano molto meno rilevanti rispetto a quelli sostenuti da edifici e strutture fuori terra. Per una comprensione maggiore delle tematiche coinvolte, il lettore potrebbe riferirsi alla letteratura scientifica, principalmente anglosassone .- ad es. si cita il lavoro di Wang (*Seismic design of tunnels*, Parsons Brinckerhoff New York, 1993).

E' ormai riconosciuto che il livello di danno derivante dal sisma a strutture sotterranee di questo tipo è fortemente dipendente dalla rigidità relativa terreno struttura e dal livello di deformazione a taglio (distorsione) raggiunto dal terreno. Questo ultimo parametro è funzione ovviamente dell'intensità dello scuotimento e del contenuto in frequenza delle onde sismiche, nonché della distanza dalla sorgente. In generale, si è osservato come i danni più evidenti a strutture sotterranee si siano registrati quando:

- l'accelerazione orizzontale di picco al suolo sia stata superiore a 0.5g
- quando la magnitudo-momento dell'evento abbia superato 7.0, ed in genere ad una distanza epicentrale minore di 25km
- quando il terreno circostante presentasse caratteristiche meccaniche particolarmente scadenti

Per quanto riguarda la struttura in esame, si può dunque affermare che il rapporto, assunto pari ad 1.5, tra le sollecitazioni allo SLE e le sollecitazioni ultime sia tale da garantire di per se la sicurezza nei confronti delle azioni sismiche che, come visto anche all'esempio precedentemente trattato, non risultano dimensionanti per gli elementi strutturali.

Dal punto di vista sismico, il territorio comunale della città di Torino non è inserito nell'elenco delle località sismiche di prima e seconda categoria (elenco allegato alla legge 25/11/1962 n. 1684) dunque non è sottoposto a particolari provvedimenti o restrizioni riguardanti la costruzione di opere o manufatti. Secondo quanto riportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/06/1998 n. 2788 "*Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale*", il comune di Torino risulta come non classificato e dunque non soggetto a particolari vincoli progettuali.

La O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 introduce la nuova classificazione sismica del territorio italiano, secondo quanto elaborato dal Consiglio Sismico Nazionale (GdL 23/04/1997, con l'introduzione della zona 4 (ex comuni non classificati). Relativamente a tale zona, l'O.P.C.M. da facoltà alle Regioni di imporre o meno l'obbligo di progettazione antisismica. Il comune di Torino risulta classificato per l'appunto in zona 4.

La Deliberazione Regionale D.G.R. N. 61 - 11017 del 17/11/2003 "*Deliberazione della Giunta della Regione Piemonte in merito alla riclassificazione a rischio sismico del territorio regionale*", indica "di non introdurre, per la zona 4, l'obbligo della progettazione antisismica, ad esclusione di alcuni tipi di edifici e di costruzioni rientranti tra quelli di interesse strategico di nuova costruzione che verranno individuati con successivo atto deliberativo, come previsto dall'articolo 2, comma 4 dell'O.P.C.M. n. 3274".

Ai sensi della Deliberazione Regionale D.G.R. N.64-11402 del 23/12/2003 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 - "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" - Disposizioni attuative dell'articolo 2), si evince che l'opera non ricade nell'elenco delle tipologie di costruzioni di nuova edificazione ritenute d'interesse strategico per le quali, benché in zona 4, è introdotto il rispetto della progettazione antisismica prevista dall'O.P.C.M. n.3274 (Allegato B alla deliberazione), e pertanto l'intervento è svincolato da tale tipo di verifiche.

Inoltre, la Normativa individua i criteri per la progettazione sismica degli edifici, per il progetto sismico dei ponti e per le opere di fondazione e di sostegno dei terreni; non individua invece specifici criteri per la verifica sismica delle opere in sotterraneo, per le quali ci si deve riferire alla letteratura scientifica.

Nonostante quanto sopra esposto, in ottemperanza alle richieste del Validatore, si svolgono nel seguito alcune considerazioni circa gli effetti dell'azione sismica sull'opera in progetto, con riferimento alla zona sismica 4.

Il suolo interessato dalla realizzazione della tratta Lingotto-Bengasi della Linea 1 della Metropolitana Automatica di Torino può essere ascritto alla categoria B (depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec).

In funzione della zona sismica, si definisce il valore di "accelerazione orizzontale massima" (a_g) su suolo di categoria B, con possibilità di superamento del 10% in 50 anni, espressa come frazione della accelerazione di gravità g .

Per l'opera in esame, con riferimento alla zona sismica 4, il valore di a_g risulta pari a:

$$a_g = 0.075 g,$$

essendo pari a 1.25, per la categoria di suolo tipo B in esame, il fattore amplificativo S che compare nella definizione dello spettro di risposta elastico (spettro normalizzato), secondo le formulazioni riportate al punto 3.2.3 della suddetta OPCM e $\gamma_{II} = 1.2$ il fattore d'importanza assunto.

Riferimenti di letteratura riguardo al comportamento di strutture interrato durante i terremoti sono relativamente poco numerosi (Dowding e Rozen (1978), Owen e Scholl (1981), Wang (1985), Sharma e Judd (1991), Power et al. (1998), Kurose (2000); riferimenti di normativa sono rappresentati da:

- Japan Society of Civil Engineers – Earthquake Engineering Committee [1992]: "Earthquake resistant design for civil engineering structures in Japan;
- Raccomandazioni AFTES n.167 [2001] "Earthquake design and protection of underground structures".

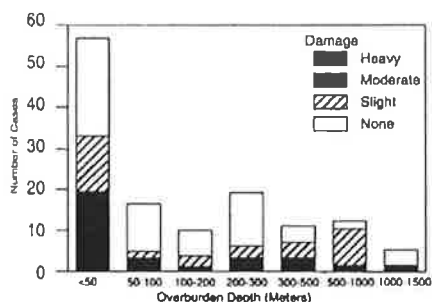
In merito al comportamento delle gallerie in presenza di sisma, in linea di massima (AFTES n.167 e fig.1, Sharma-Judd [1991]) sono riconosciute le seguenti tendenze:

- per accelerazioni di picco minori di 0.2g, i danni sono leggeri;
- per accelerazioni fra 0.2g e 0.6g, danni seri si presentano solo per gallerie non rivestite o gallerie con rivestimenti di vecchio tipo (legno o mattoni);
- per accelerazioni fra 0.6g e 0.9g, danni seri si presentano solo per gallerie con rivestimento non armato.

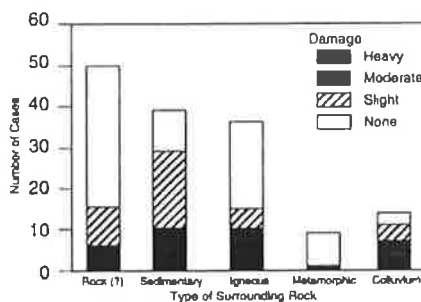
Altre esperienze (Jaw-Nan Wang [1993]) indicano che danni apprezzabili si registrano per sismi caratterizzati da:

- accelerazioni di picco $> 0.5g$;
- magnitudo > 7.0 ;
- distanze da epicentro < 25 km;
- terreni "soffici".

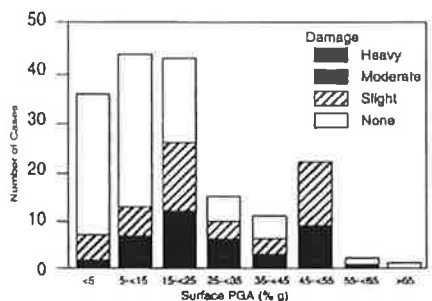
come riportato nelle figure seguenti.



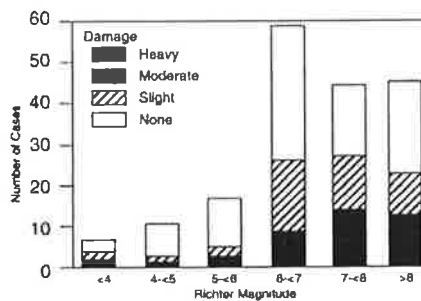
A. Effects of overburden depth on damage



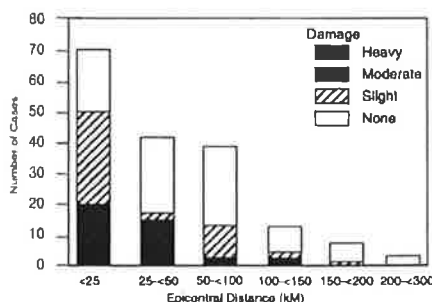
B. Effects of surrounding rock type on damage



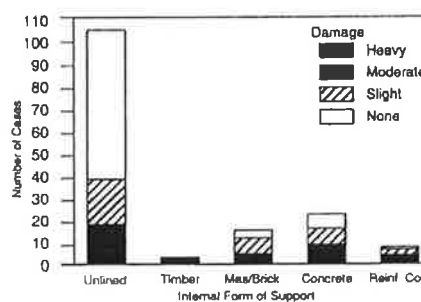
C. Influence of expected surface peak ground acceleration (PGA) values on damage



D. Effects of earthquake magnitude on damage



E. Influence of epicentral distance on damage



F. Effects of type of internal support on damage

Tali indicazioni inducono a ritenere che l'opera in esame, realizzata all'interno di categoria B (depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti) e caratterizzata da valori di $ag < 0.075 g$ (zona 4), si colloca in una fascia in cui l'aspetto "sisma" non risulta critico, avvalorando la prassi progettuale corrente, che non prevede l'analisi in condizioni sismiche nel dimensionamento dei rivestimenti delle gallerie naturali.

Riferimenti bibliografici:

DOWDING C. H., ROZEN A. (1978). Damage to rock tunnels from earthquake shaking. American Society of Civil Engineers, Journal of the Geotechnical Engineering Division. Vol. 104(2 Feb), 175–191.

OWEN G.N., SCHOLL R.E. (1981). Earthquake engineering of large underground structures. Report prepared for the Federal Highway Administration and National Science Foundation, Report n° FHWA/RD-80/195.

WANG J M, (1985). Distribution of earthquake damage to underground facilities during the 1976 Tang-Shan earthquake. Earthquake Spectra. Vol. 1(4): p. 741–757.

SHARMA S., JUD W.R. (1991). Underground opening damage from earthquakes,. Engineering Geology, vol. 30, 263-276.

POWER M. S., ROSIDI D., KANESHIRO J. Y. (1998). Seismic Vulnerability of Tunnels and Underground Structures Revisited. Proc. of North American Tunnelling '98. Newport Beach, CA: Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 243–250.

KUROSE A, 2000. Earthquake-related effects on underground structures. (in French with extended English Summary). PhD Thesis. École Polytechnique.

JAW-NAN WANG (1993), Design of tunnels. Parsons Brinckerhoff, New York