

POLITECNICO DI TORINO
FACOLTA' DI ARCHITETTURA 2
Corso di Laurea in Architettura
Tesi meritevoli di pubblicazione

Problematiche riguardanti gli effetti del cedimento indotto dallo scavo di gallerie metropolitane su fabbricati in muratura. Il caso dell'edificio *Industria* ad Amsterdam

di Monica Gaude ed Emanuela Guglielmi
Relatore: Stefano Invernizzi

Risolvere il problema del traffico superficiale sta oggi diventando una necessità per molte città, sempre più congestionate. Per questo motivo, una delle soluzioni adottate è quella di realizzare linee metropolitane sotterranee.

Diventa essenziale migliorare le tecniche di monitoraggio del terreno e degli edifici coinvolti dai lavori di scavo di tali gallerie, ponendo particolare attenzione al danneggiamento statico ed estetico degli edifici storici in muratura, più sensibili a siffatti movimenti.

Nel caso specifico di Amsterdam, la condizione peculiare del terreno rende obbligatoria un'analisi ancor più severa.

Si è studiato, in particolare, il comportamento strutturale dell'edificio detto *Industria*, costruito nel 1913, prospiciente Piazza Dam, coinvolto dai lavori di scavo per la realizzazione della nuova Linea Metropolitana Noord/Zuid, che attraverserà il "cuore" storico della città.

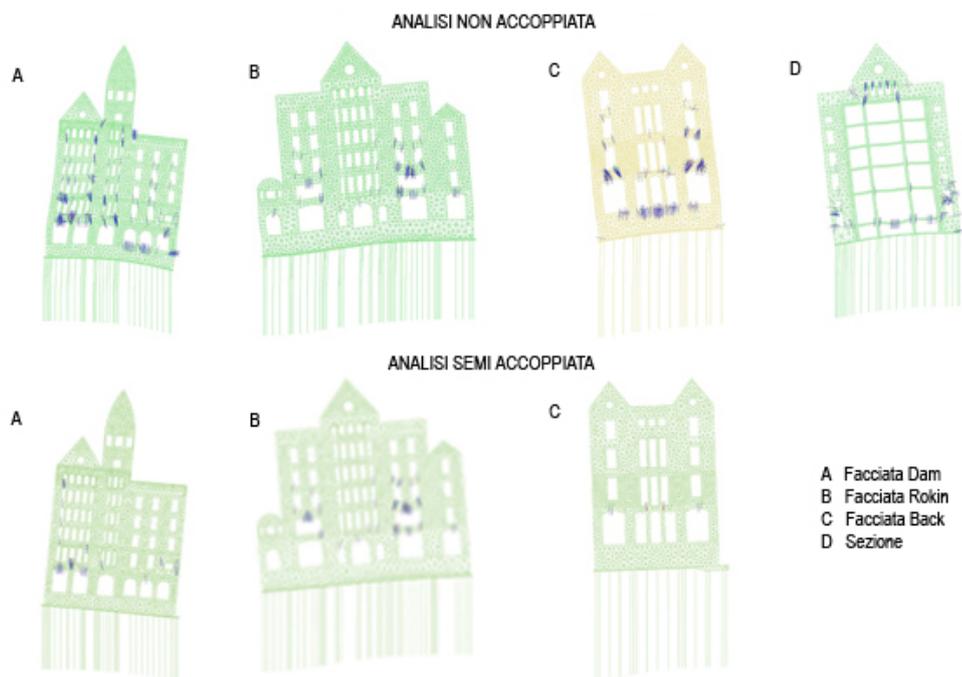


Vista su Via Rokin, lungo la quale verrà realizzata in sotterranea la Noord/Zuidlijn. Sullo sfondo l'edificio *Industria*

A questo scopo, è stata eseguita un'ampia analisi numerica nella forma dei classici modelli non-lineari a frattura diffusa (smeared crack model), avvalendosi dell'apporto strumentale del Codice DIANA e di alcune conoscenze teoriche della Scienza delle Costruzioni.

La struttura dell'edificio è stata analizzata modellando le più importanti sezioni bidimensionali, parallele ed ortogonali alla traccia dei tunnel. Il modello ha incluso una rappresentazione dei pali di fondazione, mentre i cedimenti degli strati profondi del terreno sono stati fissati basandosi sulle prove geotecniche.

Abbiamo ritenuto opportuno trattare prima il caso Non-Accoppiato, in cui non è stata presa in considerazione l'interazione suolo-struttura, e quindi quello Semi-Accoppiato, in cui sono stati inseriti gli elementi molla (springs) capaci di assorbire l'effetto del cedimento dovuto al passaggio delle TBM (Tunnel Boring Machines). Nel caso di Analisi Semi-Accoppiata si è riscontrata un'evidente diminuzione delle fessurazioni visibili per le facciate considerate. In particolar modo si è notato come la presenza degli elementi molla abbia comportato la rotazione rigida dell'intera facciata e quindi del muro di fondazione in calcestruzzo, limitando così l'estensione delle fessurazioni.



Confronto diretto tra il comportamento a frattura delle facciate nel caso di Analisi Non-Accoppiata e Semi-Accoppiata

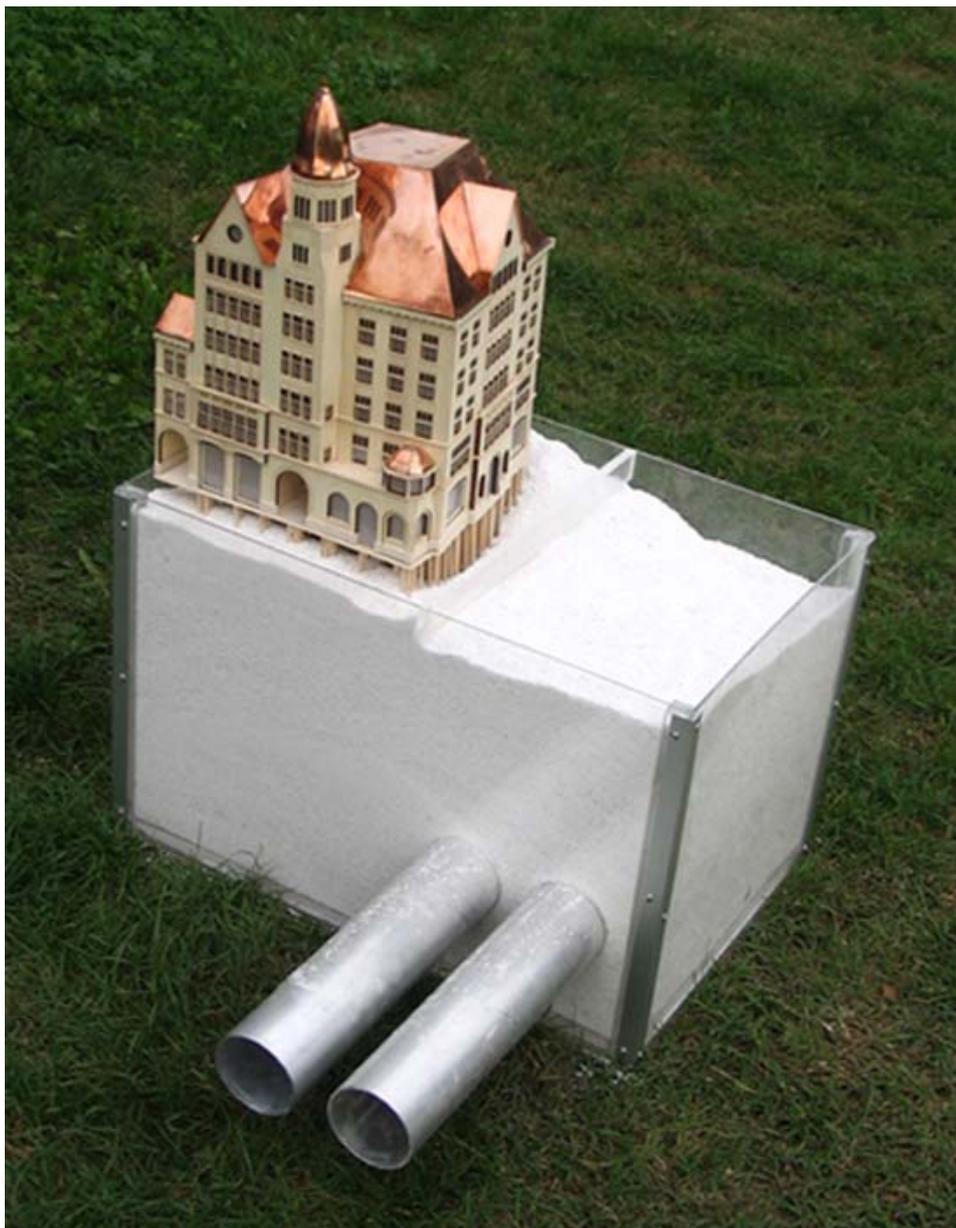
La posizione relativa della facciata rispetto all'asse dei tunnel ha giocato un ruolo centrale per la valutazione del danno; si sono presentate infatti due zone distinte: quella di hogging (più pericolosa) e quella di sagging. Conoscendo la zona entro la quale andrà a ricadere la facciata si sono potuti determinare per via empirico-analitica gli sforzi di trazione. Se la deformazione è dovuta essenzialmente a flessione, la massima deformazione di trazione si avrà in corrispondenza delle fibre estreme della facciata, con comparsa di fessure rette: es. nella facciata DAM.

Nel caso invece si abbia solo deformazione a taglio, le deformazioni di trazione risulteranno inclinate a 45° in prossimità delle estremità, con comparsa di fessure diagonali: es. nelle facciate BACK e SEZIONE. Nella SEZIONE la parete in muratura, interagendo con la struttura interna in cemento armato ha determinato nello schema maggior flessibilità con conseguente diminuzione di sollecitazione della parte in muratura. Nel caso della facciata ROKIN, il profilo del cedimento differisce notevolmente dai casi precedenti, poiché questa corre parallelamente all'asse dei tunnel: la facciata subisce un danneggiamento progressivo. Essendo quindi il cedimento di tipo transitorio essa risulterà interessata da fratture che, con l'avanzare degli scavi, si apriranno e si chiuderanno di conseguenza; per questo motivo tale facciata risulterà meno critica delle altre. Dal confronto tra i due tipi di comportamento si deduce che per valori di snellezza (altezza/lunghezza) inferiori ad 1.5 sarà il comportamento a taglio a determinare i valori di soglia (trave tozza), mentre per snellezze maggiori risulterà più importante il comportamento flessionale (trave snella); il rapporto di snellezza influenzerà quindi in modo determinante la risposta strutturale.

Nel caso studio analizzato, la presenza di un muro di fondazione profondo in calcestruzzo ha influenzato notevolmente anche il comportamento della zona superiore in muratura. Fondamentalmente il muro in calcestruzzo si incurva sotto l'effetto del movimento del terreno, comportandosi come una trave rovescia. I risultati ottenuti dalla simulazione numerica permettono di stabilire la distorsione angolare critica oltre la quale diventano necessarie alcune contromisure di contenimento per impedire la fratturazione della facciata. Tale valore può essere comparato con quello previsto, e con i risultati ottenuti dal monitoraggio in tempo reale durante lo scavo dei tunnel.

Come applicazione del metodo empirico di valutazione del danno, ci si è riferiti alla letteratura inglese; si è proposto il caso studio del Ritz Hotel, posto in prossimità del passaggio della Jubilee Line e confrontabile con l'*Industria*, per: composizione geometrica, materiali da costruzione e posizione relativa rispetto alla traccia del tunnel.

La realizzazione della Linea 1 a Torino, tema d'attualità per la sua inaugurazione a breve termine, ci ha poi portate a considerare anche l'approccio d'analisi adottato nella Nostra città. Le similitudini riscontrate in questo caso hanno riguardano principalmente le tecniche di messa in opera delle stazioni e di costruzione delle gallerie per mezzo delle TBM.



Modello realizzato per simulare la perdita di volume all'avanzare degli scavi e l'interazione con l'edificio sovrastante

Per ulteriori informazioni, e-mail:

Monica Gaude: monica_gaude@yahoo.it

Emanuela Guglielmi: manugugli@hotmail.it

Servizio a cura di:
CISDA - HypArc, e-mail: hyparc@polito.it