

L'impermeabilizzazione delle fondazioni di edifici in zona sismica

Claudio Chesi e
Maria A. Parisi

Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Politecnico di Milano

I risultati di una indagine sperimentale

Relazione presentata a:
International Waterproofing Association - Roofing of Waterproofing Worldwide - VI International Conference Londra 30 aprile - 2 maggio 1986

Introduzione

La moderna tecnologia dell'impermeabilizzazione, attraverso l'uso delle membrane bitume-polimero, ha reso possibili soluzioni semplici e sicure per problemi particolarmente impegnativi, quale, ad esempio, l'isolamento delle fondazioni in un terreno saturo d'acqua. La disponibilità, infatti, di fogli impermeabili di grosso spessore e di elevata resistenza meccanica, garantiscono un alto grado di affidabilità anche nel caso in cui il sistema di impermeabilizzazione, essendo gravato dal peso dell'intero edificio, risulta impegnato da non trascurabili sollecitazioni meccaniche. L'esigenza di impermeabilizzare una fondazione si pone tipicamente quando il livello della falda acquifera nel terreno è (o può diventare) più alto del piano di posa dell'edificio. L'isolamento della struttura dall'acqua può allora venire realizzato interponendo fra la piastra di fondazione ed il terreno sottostante un manto impermeabile, il quale viene poi risvoltato, ai bordi della piastra stessa, in modo da avvolgere i muri di fondazione fino all'altezza necessaria (fig. 1). Un edificio realizzato con la procedura descritta viene quindi a trovarsi appog-

giato su una base piana e liscia, la quale, nel caso che l'edificio debba trasmettere al terreno forze orizzontali, viene a configurarsi automaticamente

Fig. 2
Dissesto di un impalcato da ponte per scorrimento sugli appoggi in neoprene (Friuli, 1976).

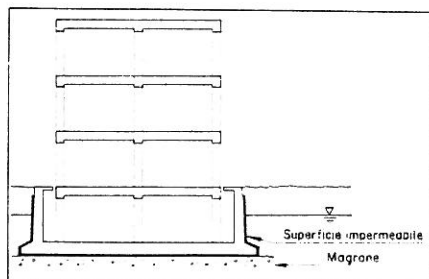
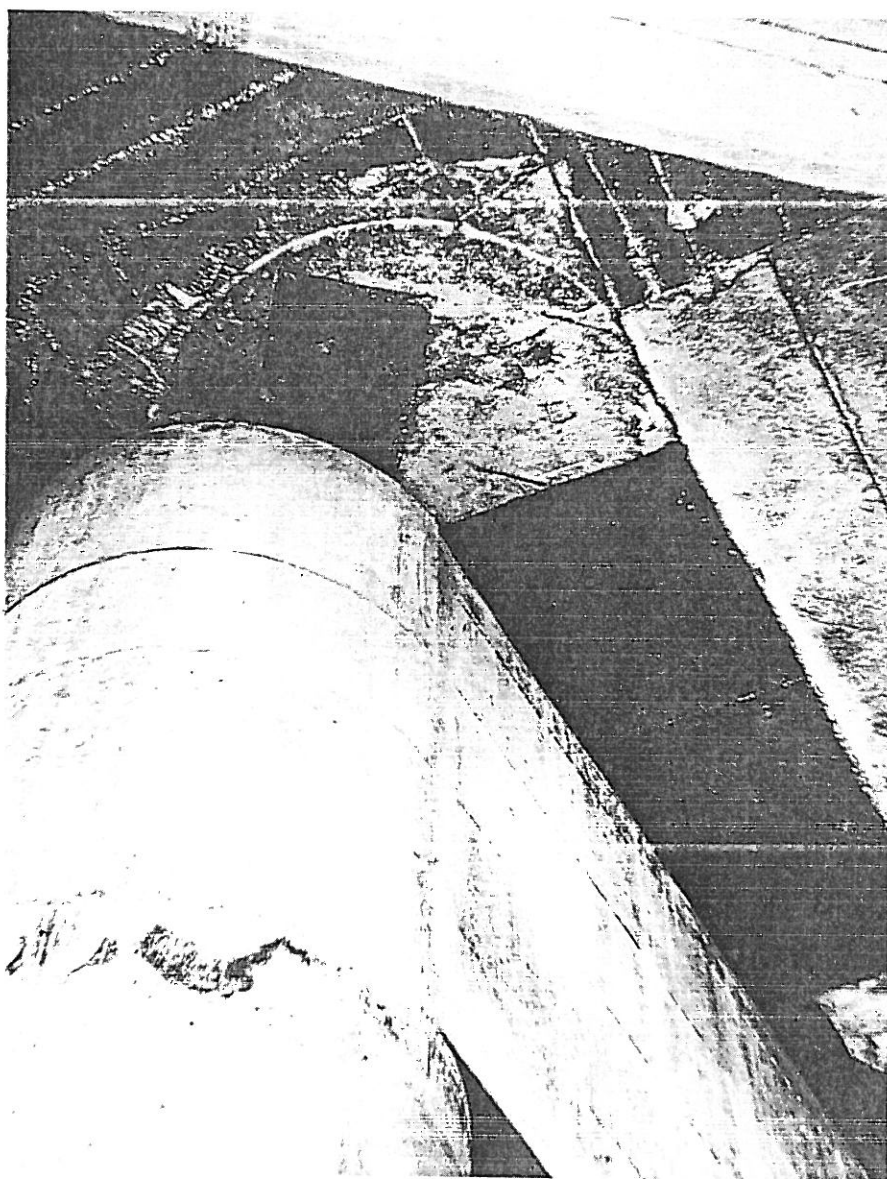


Fig. 1
L'isolamento della fondazione per mezzo di una superficie impermeabilizzante.

come una potenziale superficie di scorrimento. Nelle circostanze, per esempio, di un evento sismico, l'edificio si trova soggetto ad azioni orizzontali, cui oppone debole contrasto il terreno (normalmente di riporto) a lato della fondazione; è allora spontanea la domanda se le forze di inerzia possano essere trasmesse al suolo per attrito, attraverso la superficie impermeabile, o se siano in grado di produrre lo scorrimento dell'edificio su di essa. Questo interrogativo è suggerito dall'osservazione degli inconvenienti, a volte disastrosi, occorsi nei recenti terremoti ad un'altra categoria di strutture poggianti su una superficie di scorrimento: gli impalcati da ponte su appoggi in neoprene. La fig. 2 mostra un esempio degli effetti macroscopici di tale scorrimento.

Allo scopo di far luce su questo problema, sono state svolte indagini sperimentali e teoriche. Eseguita, in primo luogo, una valutazione sperimentale del comportamento ad attrito dei manti impermeabili, è stata poi calcolata numericamente la risposta sismica di un edificio con fondazioni impermeabili. In particolare, è stato possibile:

1) definire le corrette modalità applicative della superficie di impermeabilizzazione qualora si debba prevedere un evento sismico;

2) attestare l'integrità della superficie di

impermeabilizzazione anche a seguito di un eventuale scorrimento;

3) quantizzare i possibili scorrimenti dell'edificio;

4) evidenziare un importante effetto collaterale dello scorrimento, consistente in una attenuazione dell'effetto sismico.

Le modalità applicative dei manti impermeabili in fondazione

Una precedente ricerca (1) aveva mostrato che se la superficie isolante è realizzata inserendo fra la piastra di fondazione ed il sottostante strato di magrone un solo foglio di materiale impermeabile, questo si rompe facilmente al verificarsi di uno scorrimento relativo terreno-fondazione. Infatti le forze di attrito mobilitate durante il moto staccano dalla massa di calcestruzzo particelle di materiale, che danneggiano irrimediabilmente il manto impermeabile.

Sulla base di questa esperienza è stata definita la corretta procedura da seguire nella realizzazione di superfici impermeabili di fondazione. Essa prevede: 1) la posa (per saldatura a fiamma) di un primo foglio di materiale impermeabile sul magrone; 2) la posa di uno strato di materiale impermeabile di elevate proprietà meccaniche, semplicemente ap-

poggiato sul precedente; 3) la posa di un terzo foglio, identico al secondo, e ad esso saldato a fiamma; quest'ultimo foglio risulterà incollato al calcestruzzo della soletta di fondazione, direttamente gettata su di esso. Un eventuale scorrimento si viene quindi a localizzare fra il primo strato ed il secondo, il quale, unitamente al terzo, costituisce la vera e propria superficie isolante. Il primo foglio agisce come uno "strato di sacrificio", con lo scopo di individuare la superficie di scorrimento.

L'indagine sperimentale

L'apparato sperimentale, allestito presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano, è mostrato in fig. 3. Esso consiste di un blocco di calcestruzzo (spigolo di 80 cm) collocato fra due piastre di calcestruzzo armato, impedito a muoversi orizzontalmente, e separato da ciascuna di esse da una superficie impermeabilizzante. Nelle prove svolte, sulla piastra superiore agiva un carico verticale, tale da riprodurre, sui manti impermeabili, una pressione simile a quella esercitata dalla fondazione di un edificio sul terreno; al tempo stesso, il blocco di calcestruzzo era caricato da una forza orizzontale, di intensità crescente nel corso della prova. L'apparato allestito e lo schema di prova intendevano riprodurre, per le superfici impermeabili, una situazione qualitativamente simile a quella presente nel manto sottostante una fondazione a piastra durante una scossa sismica.

Per le superfici impermeabili, realizzate

Fig. 3
L'apparato sperimentale.

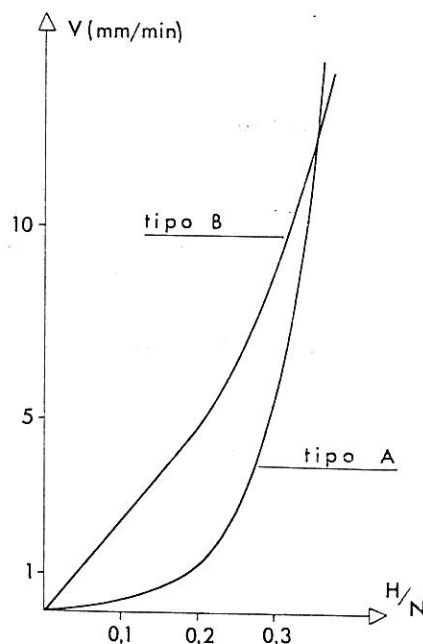
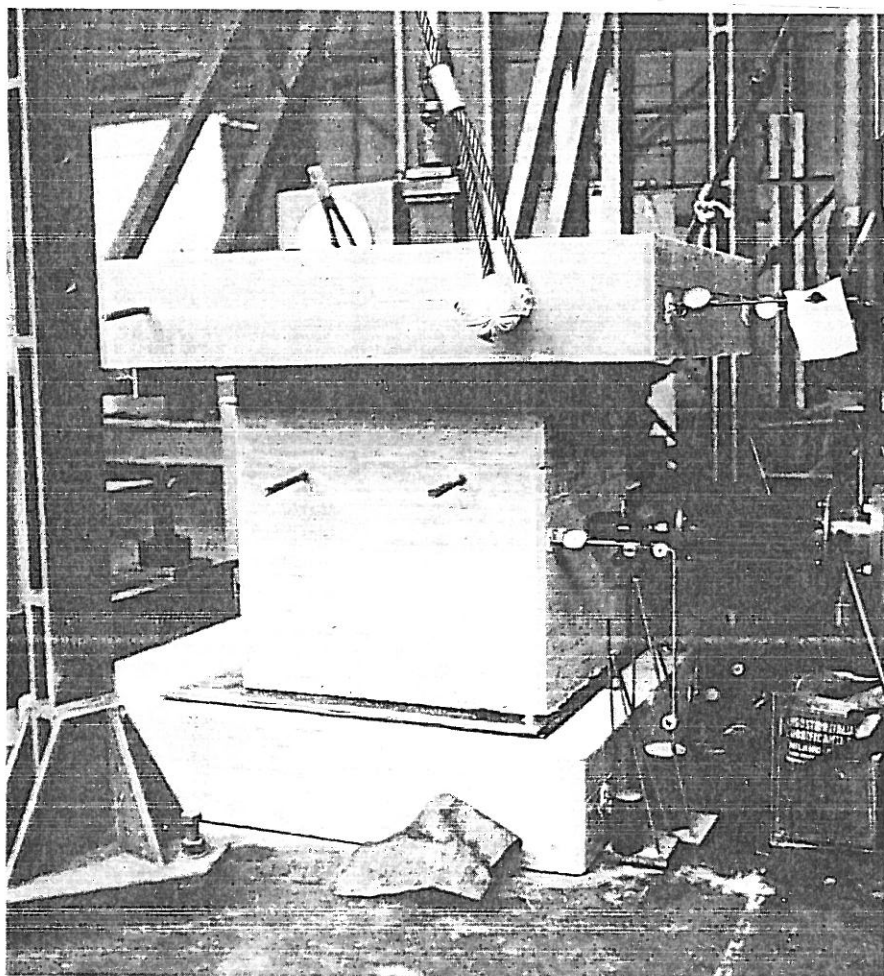


Fig. 4
La velocità di scorrimento (v), misurata in millimetri al minuto primo, in funzione del rapporto fra la forza orizzontale trasmessa sul manto e la forza verticale agente su di esso (H/N).

secondo la procedura sopra descritta, è stato sperimentato l'impiego di due differenti tipi di membrane. Le membrane del primo tipo, nel seguito citate come di "tipo A", sono ottenute da una miscela di bitume e polipropilene atattico; quelle del secondo tipo, nel seguito indicate come "tipo B", da una miscela di bitume e SBS (Stirene-Butadiene-Stirene).

Entrambe sono armate con un non-tessuto di poliestere ed hanno uno spessore di 4 mm.

I risultati salienti forniti dal ciclo di prove effettuate consistono: 1) nella deduzione di una legge che lega l'entità del moto di scorrimento del blocco all'intensità del carico orizzontale; 2) nella verifica dello stato di usura dei manti dopo aver subito uno scorrimento relativo di alcuni centimetri.

Per quanto riguarda il primo punto, i risultati sperimentali hanno mostrato una ben definita relazione fra la velocità di scorrimento ed il carico orizzontale. Interpolando i punti sperimentali nel senso dei minimi quadrati, si sono ottenute, rispettivamente per le membrane dei tipi A e B, le curve della fig. 4, che forniscono la velocità di scorrimento in funzione del rapporto fra carico orizzontale e carico verticale.

Entrambe le curve mostrano una bassissima resistenza allo scorrimento per elevati valori della forza orizzontale ed evidenziano tendenze opposte dei fogli dei due tipi. Mentre, infatti, per bassi valori della forza orizzontale, la resistenza al moto è molto alta per il tipo A e assai modesta per il tipo B, il comportamento dei due materiali si inverte al crescere della forza orizzontale. Si noti inoltre che, mentre gli scorrimenti sui fogli di tipo B sono un fenomeno prevalentemente elastico (lo scorrimento residuo, dopo lo scarico, è dell'ordine del 10% del valore massimo raggiunto durante la prova), quelli sui fogli di tipo A lo sono in misura molto minore.

Per quanto riguarda, invece, lo stato di usura dei manti al termine di una prova di scorrimento di alcuni centimetri, i risultati tipici sono mostrati dalle figg. 5 e 6 che evidenziano le superfici inferiori dei due tipi di fogli provati, le superfici cioè che hanno subito scorrimento sul sottostante "strato di sacrificio". Mentre nel caso delle membrane del tipo A è presente un semplice raggrinzimento superficiale del manto, per quelle di tipo B il danneggiamento è pressoché inesistente.

L'analisi numerica

La conoscenza, ottenuta per via sperimentale, della resistenza dei manti impermeabili al moto di scorrimento (fig. 4) ha consentito di analizzare, per via teorico-numerica, il problema concreto

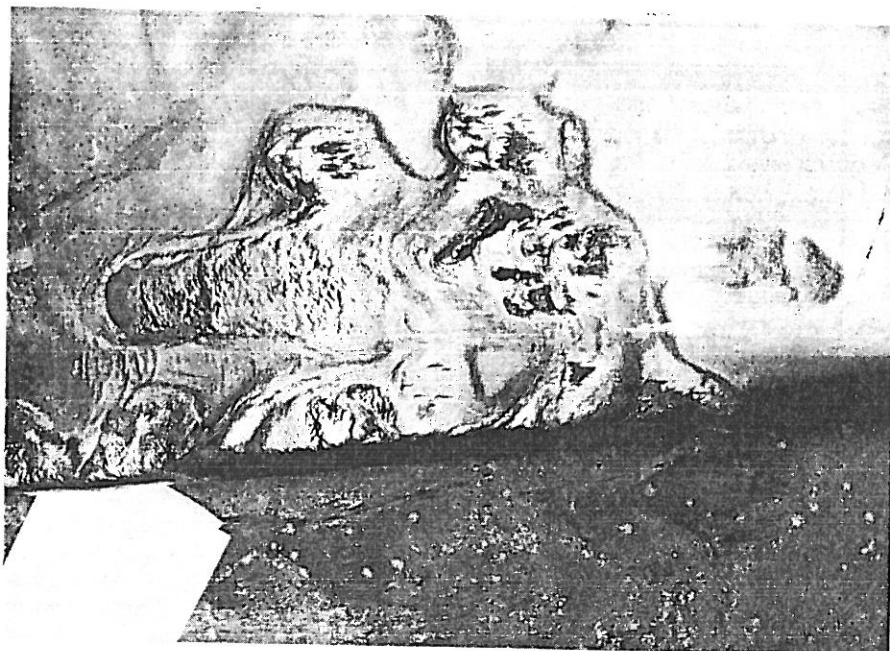
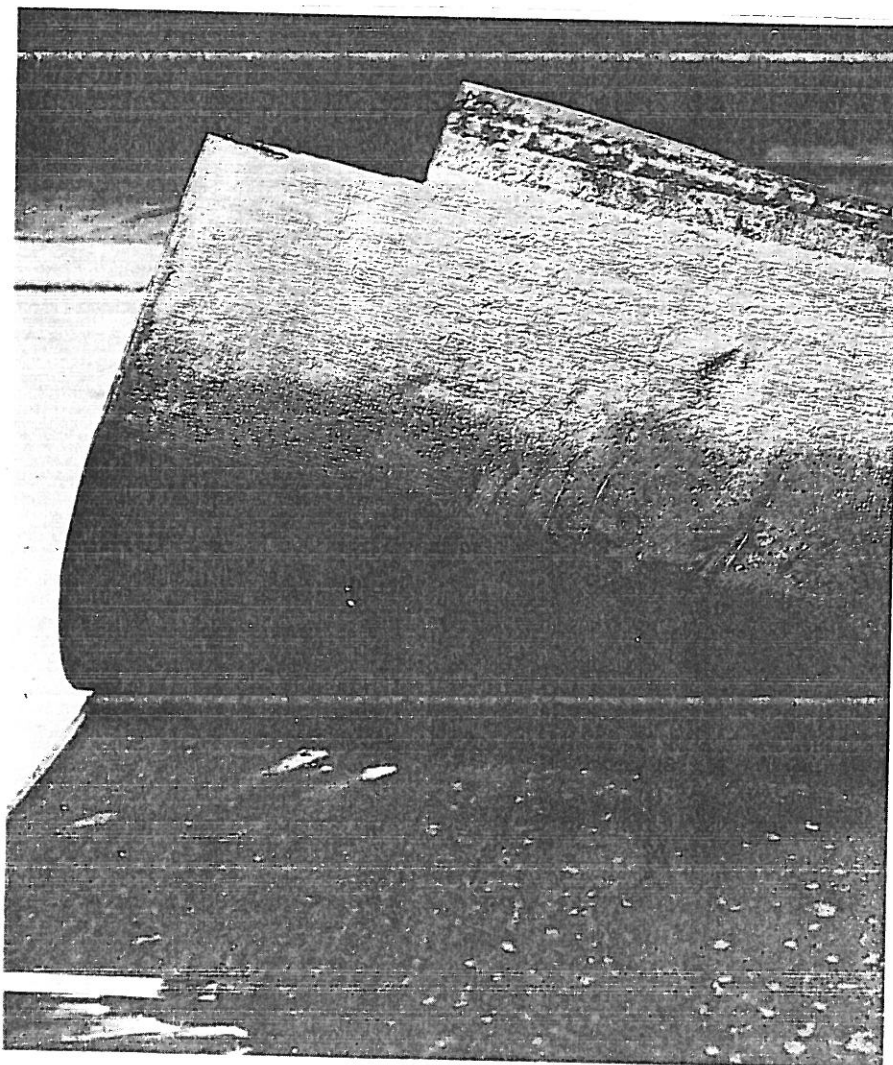


Fig. 5
Stato di un foglio del tipo A (nella figura, il foglio superiore) dopo uno scorrimento di alcuni centimetri.

di un edificio poggiante su un manto impermeabile di fondazione. E' stato considerato un edificio di civile abitazione di quattro piani, schematicamente indicato in fig. 7, e ne è stata calcolata la risposta ad un evento sismico. Si è fatto riferimento al moto del terreno registrato durante un terremoto reale

Fig. 6
Stato di un foglio del tipo B (nella figura, il foglio superiore) dopo uno scorrimento di alcuni centimetri.



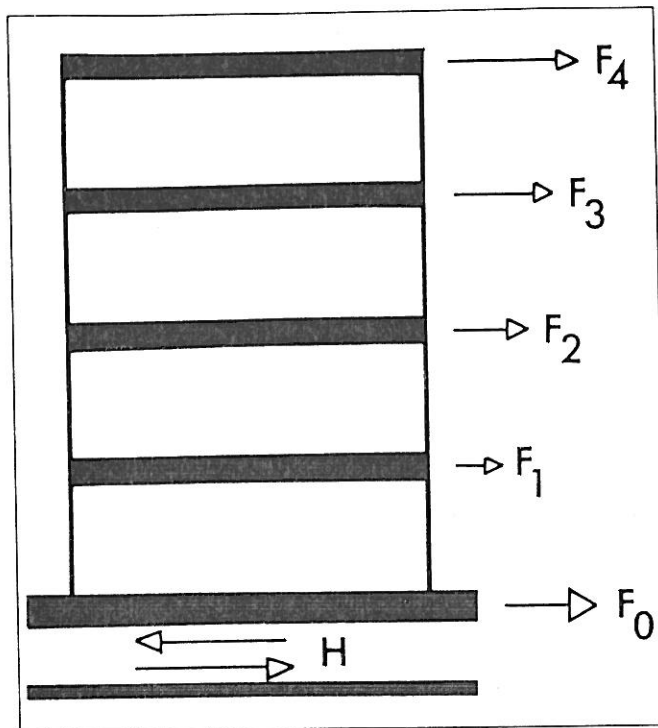
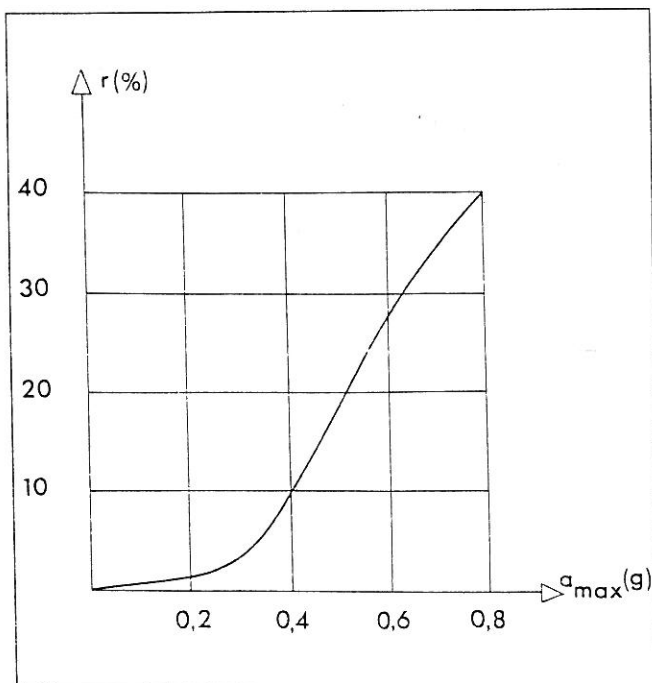


Fig. 7
Schema dell'edificio impiegato per l'analisi numerica.

(Taft, Kern County, California, 1952). La risoluzione di questo problema (discussa in 2) trova una complicazione nella mancanza di proporzionalità fra la velocità di scorrimento e la forza d'attrito sviluppata dal manto impermeabile. Il problema è pertanto di tipo non-lineare, e richiede, ad ogni passo di integrazione delle equazioni differenziali del moto, di risolvere la seguente equazione, che eguaglia la forza di inerzia

Fig. 8
Massimo scorrimento dell'edificio (s) in funzione della massima accelerazione del terreno (a max).



globale dell'edificio (H) alla forza d'attrito sviluppata dalla superficie impermeabile

$$H = N (a + b \ln|v|) v/|v|$$

dove: N = peso totale dell'edificio

v = velocità di scorrimento dell'edificio sulla superficie impermeabile

a, b = costanti.

Il risultato principale di questa analisi riguarda l'entità del massimo spostamento subito dall'edificio durante il terremoto per effetto dello scorrimento sul manto impermeabile. Il diagramma della fig. 8 è stato ottenuto ripetendo l'analisi per diverse intensità del terremoto; esso mostra che lo scorrimento è praticamente inesistente finché la mas-

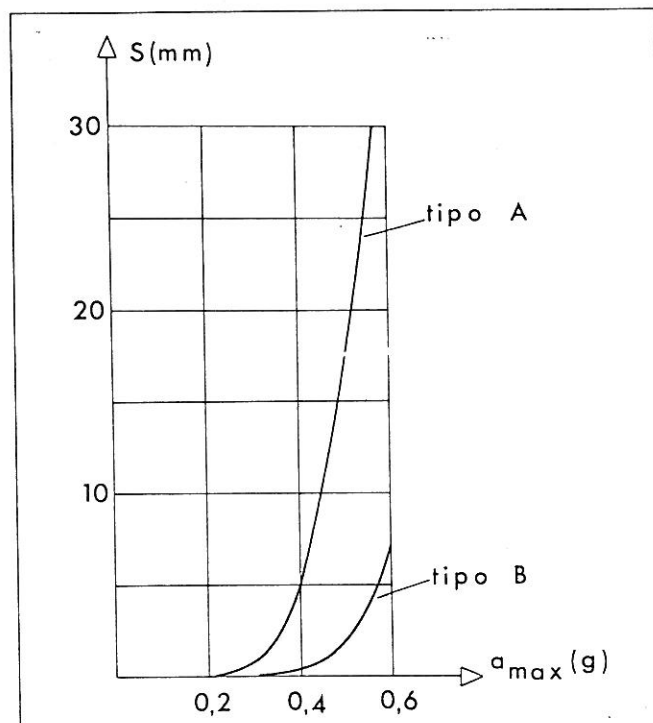
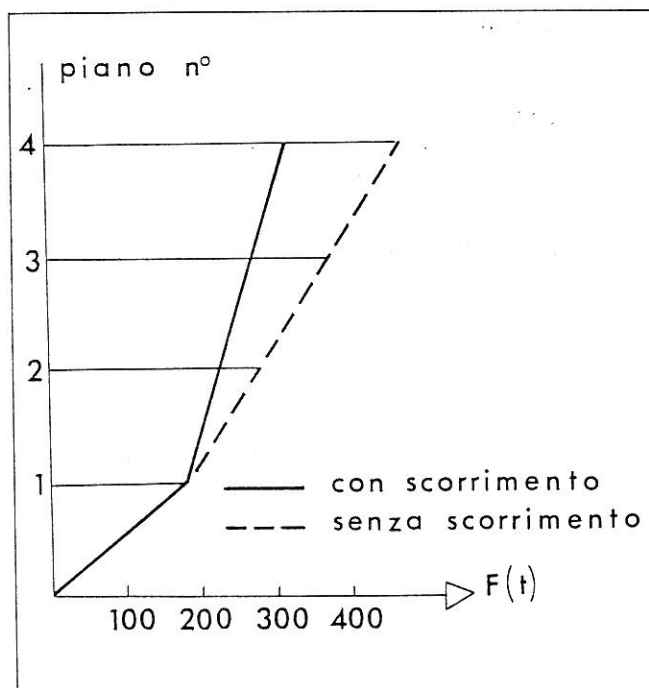


Fig. 9
Percentuale di riduzione (r) della risultante delle forze di inerzia al piede dell'edificio in funzione della massima accelerazione del terreno (a max) per fogli del tipo A.

sima accelerazione del terreno non supera il valore di 0,2 unità g (corrispondenti al 20% dell'accelerazione di gravità).

Crescendo ulteriormente l'intensità del terremoto, si verificano scorrimenti non trascurabili, il cui valore, del resto, è soltanto di pochi centimetri in occasione di terremoti di grande intensità. Co-

Fig. 10
Profilo delle massime forze di inerzia ai piani (la massima accelerazione del terreno vale 0,8 g).



me previsto, gli scorrimenti sui fogli del tipo B sono minori di quelli sui fogli di tipo A.

L'analisi numerica ha anche fornito un inatteso risultato, connesso ad un benefico effetto della superficie impermeabile: come mostra la fig. 9, la possibilità di scorrere sulla base di appoggio si accompagna ad una riduzione delle forze sismiche agenti sull'edificio. La percentuale di riduzione è mostrata, in fig. 9, per una superficie impermeabile del tipo A; l'attenuazione dell'effetto sismico ha luogo in maniera apprezzabile per le scosse di grande intensità e, come appare dalla fig. 10, tende a rendere uniforme la distribuzione delle forze sismiche ai vari piani dell'edificio. Si noti infine che le superfici impermeabili di fondazione considerate mostrano una analogia di comportamento con i sistemi di isolamento di base (3). Questi sono dispositivi che, realizzando una connessione terreno-struttura a bassissima rigidità orizzontale, consentono una forte riduzione delle forze sismiche, al prezzo di grandi spostamenti della struttura.

Il principio dell'isolamento di base ha trovato, in tempi recenti, anche applicazioni di basso costo. In India, per esempio, nell'ambito di un piano di protezione antisismica di piccoli edifici

in muratura, è stato proposto l'inserimento di una superficie di scorrimento fra la fondazione e la muratura di mattoni (si veda, al riguardo, (4)).

Conclusioni

Le indagini svolte hanno mostrato come, seguendo una corretta procedura costruttiva, un manto impermeabilizzante in fondazione può resistere senza danno ad un terremoto, anche se di grande intensità.

Nel caso che si impieghino guaine a base di un elastomero termoplastico (tipo B), i massimi spostamenti dell'edificio dalla posizione originaria sono molto modesti e sono prevalentemente elastici; un eventuale scorrimento, inoltre, non produce alcun danno ai fogli impermeabili.

Impiegando fogli a base di bitume polimerico (tipo A), si va invece incontro a spostamenti più sensibili (dell'ordine di qualche centimetro), ai quali si associa peraltro il vantaggio di una riduzione dell'effetto sismico nel caso di terremoti eccezionalmente violenti.

Il danneggiamento subito dai fogli impermeabili a causa dello scorrimento è assai modesto e tale da non compromettere minimamente la funzione impermeabilizzante.

Ringraziamenti

La ricerca sperimentale, svolta presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano, è stata finanziata dalla Ditta Index S.p.A. - Tecnologie Impermeabili di Castel d'Azzano (VR), che ha anche fornito i materiali per le prove.

Bibliografia

1. C. Chesi, E. Mitsopoulou, "Effect of waterproof linings on the seismic response of a building", Eng. Struc., Vol. 3, pp. 203-209, Ottobre 1981.
2. C. Chesi, M. A. Parisi, E. Mitsopoulou, "La risposta sismica di edifici con fondazioni impermeabilizzate", L'industria Italiana del Cemento, N. 3, pp. 188-194, Marzo 1985.
3. J. M. Kelly, "Aseismic base isolation: a review", Atti, Second United States National Conference on Earthquake Engineering, Stanford California, 1979.
4. M. Qamaruddin, A. S. Arya, B. Chandra, "Seismic response of brick buildings with sliding substructure", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 112, No. 3, Marzo 1986.