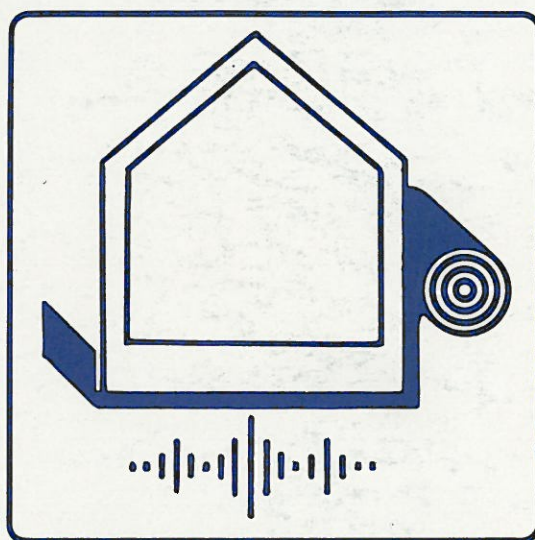


LA RISPOSTA SISMICA DI EDIFICI CON FONDAZIONI IMPERMEABILIZZATE

di C. Chesi, M.A. Parisi e E. Mitsopoulou



index»[®]

LA RISPOSTA SISMICA DI EDIFICI CON FONDAZIONI

IMPERMEABILIZZATE

di C. Chesi(*), M.A. Parisi(*) e E. Mitsopoulou(**)

1. INTRODUZIONE

L'esperienza dei recenti terremoti ha mostrato un sistematico ripetersi di dissesti di ponti stradali ed ha messo in luce che il ponte è una struttura sismicamente vulnerabile se l'impalcato, sorretto da appoggi in neoprene, non trova contrasto ad eventuali spostamenti orizzontali. Le fig. 1 e 2 mostrano gli effetti di un tale scorrimento e documentano la portata del fenomeno: lo spostamento residuo rispetto alla posizione originaria, al termine del terremoto, è dell'ordine delle decine di centimetri. Questo comportamento ha origine nel bassissimo valore del coefficiente d'attrito del neoprene (poche unità per cento) e può pertanto essere attivato anche da terremoti di debole intensità.

Il problema degli impalcati da ponte pone l'accento su quello, più generale, dello scorrimento di una struttura sopra la propria base d'appoggio e conduce a scoprire che questo fenomeno è teoricamente possibile, sebbene raro, anche per gli edifici. Condizioni favorevoli ad un eventuale scorrimento si verificano infatti in situazioni del tipo di quella schematicamente indicata in fig. 3, in cui potendo la falda acquifera raggiungere una quota più alta di quella della fondazione, questa viene isolata dal terreno circostante tramite una superficie impermeabilizzante. L'edificio viene quindi a trovarsi appoggiato su una base piana e liscia, la quale, nell'eventualità di una scossa sismica, deve trasmettere al suolo per attrito le forze di inerzia dell'edificio stesso. Si osservi del resto che nella condizione di non scorrimento

$$m \ddot{y}_h < c (P - S - m \ddot{y}_v)$$

la forza di attrito è proporzionale solo ad una quota del peso dell'edificio (m indica la massa, $\ddot{y}_h$ l'accelerazione orizzontale, c il coefficiente d'attrito, P il peso, S la spinta idrostatica e $\ddot{y}_v$ l'accelerazione verticale); segue pertanto che, se il coefficiente d'attrito ha valori prossimi a 0.15 (si veda [1]), la condizione di non scorrimento può non essere rispettata per terremoti con accelerazioni orizzontali dell'ordine di 0,10 g.

Sebbene teoricamente possibile, è tuttavia raro riscontrare casi di scorrimento negli edifici. Diverse ragioni giustificano questo fatto. Si noti innanzitutto che il fenomeno dello scorrimento si presenta in alternativa a quello, ben noto, del distacco fondazione-terreno per inizio di ribaltamento dell'edificio. Questo tipo di comportamento, del quale si sono riscontrati alcuni esempi, interessa edifici che siano alti relativamente alle dimensioni della base e limita quindi l'eventualità dello scorrimento ad edifici bassi rispetto alle dimensioni in pianta. Si osservi inoltre che il coefficiente d'attrito sui manti impermeabilizzanti è circa tre volte superiore a quello del neoprene, sicché lo scorrimento di un edificio con fondazione impermeabilizzata è necessariamente meno frequente dello scorrimento degli impalcati da ponte. Infine, si deve considerare che lo scorrimento di un edificio, essendo localizzato nella fondazione,

(*) Politecnico di Milano

(**) Università di Salonicco

e' un fenomeno per sua natura nascosto, non facile da evidenziare. Casi reali di scorrimento di edifici sono stati riscontrati a seguito del terremoto del Friuli del 1976; in aggiunta a quanto documentato da Bogunovic [2], si veda, ad esempio, il caso della fig. 4, in cui e' evidente un sensibile spostamento relativo fra due parti di muro separate da un manto impermeabile.

Allo scopo di quantizzare il fenomeno dello scorrimento su una superficie impermeabilizzante e di chiarirne le modalita', e' stata sviluppata una ricerca sperimentale e numerica. La parte sperimentale si e' avvalsa dell'esperienza acquisita con le prove svolte in [1], che hanno suggerito di studiare la correlazione fra la forza trasmessa per attrito dal manto impermeabile e la velocita' di scorrimento; e' stato possibile evidenziare, per quest'ultima, una dipendenza esponenziale dalla forza d'attrito. Questo risultato ha reso possibile l'analisi numerica di un problema reale, portando alle seguenti principali conclusioni:

- 1) lo scorrimento si manifesta con spostamenti apprezzabili (dell'ordine di alcuni centimetri) solo in occasione di terremoti di grande intensita' (accelerazione massima del terreno di 0,4-0,5 g);
- 2) il verificarsi dello scorrimento comporta l'effetto, benefico per la struttura, di ridurre le forze di inerzia agenti su di essa, creando una sorta di isolamento nei confronti delle scosse piu' violente.

2. LA RICERCA SPERIMENTALE

L'indagine svolta si proponeva il duplice scopo di : a) verificare se una superficie impermeabile opportunamente realizzata resta in grado di svolgere la funzione isolante dopo aver subito uno scorrimento di alcuni centimetri sulla base d'appoggio; b) caratterizzare numericamente il moto per scorrimento su un manto impermeabile, esprimendo la forza d'attrito in funzione della velocita' del moto.

2.1. La preparazione delle superfici impermeabili

L'esperienza riportata in [1] mostra che una superficie isolante correttamente realizzata deve essere ottenuta per sovrapposizione di piu' fogli di materiale impermeabile. Nel caso di una superficie monostrato, infatti, un eventuale scorrimento avrebbe luogo necessariamente fra questa stessa ed una delle superfici di calcestruzzo ad essa adiacenti (della piastra di fondazione o del magrone) con la conseguenza che le particelle distaccate per attrito dalla superficie di calcestruzzo danneggerebbero irrimediabilmente il manto impermeabile. Per evitare tale inconveniente, si deve quindi far si' che lo scorrimento si verifichi fra due fogli impermeabili adiacenti.

Le superfici isolanti provate sono state realizzate secondo la seguente procedura: a) posa di un primo foglio impermeabile, saldato a fiamma sul magrone di fondazione; b) posa di un secondo foglio, semplicemente appoggiato al precedente; c) saldatura a fiamma di un terzo foglio sul secondo; l'insieme dei due viene a costituire la vera e propria superficie isolante, che aderira' saldamente alla piastra di fondazione, gettata direttamente su di essa, e potra' invece scorrere sul primo strato impermeabile. Quest'ultimo, dunque, costituisce un semplice strato di sacrificio, con la sola funzione di localizzare lo scorrimento, come voluto, fra due fogli impermeabili.

di
li
m-
vo

m-
ca
za
a-
di
za
si

Sono state provate quattro superfici isolanti diversamente realizzate, impiegando fogli impermeabili in bitume elastomero, dello spessore di 4 millimetri. Per il secondo e terzo strato, costituiti da fogli uguali, si sono provati due differenti tipi di fogli impermeabili, di seguito indicati come "tipo A" e "tipo B". I fogli del tipo A sono realizzati con una miscela di bitume ed elastomeri, cui un'armatura in fibra poliestere conferisce elevata resistenza meccanica; i fogli di tipo B, realizzati con un elastomero termoplastico armato con fibra di vetro, sono caratterizzati da spiccate caratteristiche di deformabilità: l'allungamento a rottura è superiore al 1000%.

2.2. L'apparato sperimentale e la procedura di prova.

l-
c-

c-
di

L'apparato sperimentale è volto a riprodurre una situazione simile a quella cui una superficie impermeabile è sottoposta in fondazione. A tale scopo (si veda lo schema della fig. 5) un blocco di calcestruzzo (80x80x80 cm) è stato inserito fra due piastre di calcestruzzo armato e da esse separato con due superfici impermeabili. Tramite un martinetto idraulico viene esercitata, sulla piastra superiore, una forza verticale, tale da produrre sulle superfici impermeabili la stessa pressione che una piastra di fondazione eserciterebbe sul terreno; nelle analisi svolte sono state realizzate pressioni di 1, 1,5 e 2 kg/cm². Un secondo martinetto, disposto orizzontalmente, agisce sul blocco di calcestruzzo provocandone lo scorrimento relativo rispetto alle piastre, le quali, tramite opportuni contrasti, sono impediti a muoversi orizzontalmente.

ia
a
a
un
il

La procedura di prova consta di due fasi: a) l'applicazione di una forza verticale di valore prefissato, tenuta costante per l'intera durata della prova; b) l'applicazione, per incrementi successivi, della forza orizzontale sul blocco di calcestruzzo. Ad ogni successivo aumento del carico vengono letti, ad intervalli di tempo regolari, gli spostamenti del blocco rispetto alle piastre; la prova termina quando lo scorrimento totale raggiunge il valore di 5 cm. Per ciascuna delle quattro superfici impermeabili provate sono state eseguite due prove di scorrimento, corrispondenti a due diversi valori del carico verticale. La fig. 6 mostra l'allestimento sperimentale.

2.3. I risultati

e
e

-
i
a
-
e
a

e
e
l
i
-
-
e
-

Un primo risultato riguarda l'entità del danno prodotto da uno scorrimento di alcuni centimetri ad una superficie impermeabile. Le fig. 7 e 8 mostrano, rispettivamente, fogli tipo A e tipo B al termine delle prove; la superficie mostrata è quella inferiore, che ha subito scorrimento sullo "strato di sacrificio". Mentre per i fogli tipo A si nota un semplice corrugamento, puramente superficiale, del materiale, per quelli tipo B il danneggiamento è pressoché inesistente. Anche per i fogli "di sacrificio" l'effetto dello scorrimento è assai modesto; ciò vale principalmente per un tipo dei fogli impiegati, che traggono vantaggio da un rivestimento superficiale di sabbia.

Il secondo risultato riguarda la caratterizzazione numerica del moto per scorrimento. Le prove hanno condotto direttamente a stabilire la correlazione fra la forza trasmessa per attrito dalla superficie impermeabile e la velocità di scorrimento. Risultati tipici sono mostrati dalla fig. 9, dalla quale appare evidente che la velocità dipende unicamente dal rapporto fra le forze orizzontale e verticale agenti sul manto (nel seguito indicato come "rapporto H/N") e non dal valore assoluto del carico verticale. La dipendenza velocità-rapporto H/N è bene interpretata da una legge di tipo esponenziale, come suggerisce, nel

diagramma della fig. 10, il buon allineamento dei punti sperimentali secondo una retta. Il comportamento sperimentale può quindi essere ben idealizzato con una curva esponenziale raccordata all'origine con una retta. Per la curva 1 della fig. 11 che corrisponde alla n. 2 di fig. 9, e che può essere ritenuta rappresentativa del comportamento di superfici impermeabili realizzate con fogli del tipo A, valgono le espressioni:

$$\dot{s} = c H/N \quad \text{per } |H/N| \leq (H/N)^* \quad (1)$$

$$\dot{s} = \exp(aH/N+b) \quad \text{per } |H/N| > (H/N)^* \quad (2)$$

con $a = 14,70$ (con $\dot{s}$ in m/sec)

$$b = -13,697$$

$$c = 1/22229$$

$$(H/N)^* = 0,068$$

Risultati simili si trovano per superfici impermeabili realizzate con fogli tipo B; una curva tipica è la n. 2 di fig. 11, per la quale valgono ancora espressioni del tipo delle (1) e (2), dove si assuma:

$$a = 6 \text{ (con } \dot{s} \text{ in m/sec)}$$

$$b = -10,616$$

$$c = 1/2500$$

$$(H/N)^* = 0,167$$

Si noti che nella ricerca della curva interpolante sono stati esclusi alcuni punti sperimentali, corrispondenti all'instaurarsi temporaneo di meccanismi di resistenza attivi soltanto per bassi valori del carico orizzontale. Si osservi inoltre che gli scorrimenti su fogli tipo B sono in realtà in buona percentuale spostamenti elastici, recuperabili quindi alla rimozione del carico laterale.

Dal confronto delle curve della fig. 11 appare evidente la differenza di comportamento di superfici impermeabili realizzate con fogli tipo A o tipo B. Mentre nel primo caso la resistenza opposta al moto, elevatissima all'inizio, tende ad annullarsi per valori del rapporto H/N dell'ordine di 0,4, la tendenza è opposta con fogli tipo B: resistenza molto bassa all'inizio e relativamente alta per elevati valori di H/N . L'analisi numerica di seguito descritta evidenzia chiaramente la sostanziale differenza fra i due tipi di comportamento.

3. L'ANALISI NUMERICA

Le leggi di comportamento dedotte dalle prove sperimentali e idealizzate nelle curve della fig. 11 suggeriscono di studiare numericamente gli effetti dello scorrimento in un problema reale. A tale scopo si è definito il modello numerico per l'analisi dinamica di un edificio multipiano, del quale si è calcolata la risposta ad un terremoto.

5.1. Il modello di calcolo.

Si consideri il problema schematicamente indicato nella fig. 12: l'edificio e' rappresentato con un modello mono-dimensionale a masse concentrate, in cui si suppone che fra la piastra di fondazione ed il terreno possa aver luogo lo scorrimento. Si supponga di scrivere, per il sistema in oggetto, le equazioni di equilibrio dinamico nella consueta forma:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [B]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -m\{\ddot{y}_h\} \quad (3)$$

con $[M]$ matrice delle masse

$[B]$ matrice dello smorzamento

$[K]$ matrice di rigidezza

$\{m\}$ vettore delle masse ai piani

$\ddot{y}_h$ accelerazione del terreno

$\{x\} = \{s \ x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n\}$ vettore degli spostamenti ai piani
(includente lo scorrimento s della fondazione)

n numero dei piani

Per il sistema (3) e' possibile un atto di moto rigido, corrispondente allo scorrimento dell'intero edificio rispetto al terreno. Il sistema assume la forma corretta se si aggiunge, nell'equazione di equilibrio della fondazione, il termine corrispondente alla forza d'attrito dovuta allo scorrimento. L'equazione in questione puo' essere riscritta nella forma:

$$H = - \sum_{i=1}^n m_i (\ddot{x}_i + \ddot{y}_h) - m_0 (\ddot{s} + \ddot{y}_h) \quad (4)$$

dove m_0 rappresenta la massa della fondazione e H , la forza d'attrito, ha l'espressione:

$$H = (N/c) \dot{s} \quad \text{per } |H/N| \leq (H/N)^* \quad (5)$$

$$H = (\ln|\dot{s}| - b) N/a \operatorname{signum} \dot{s} \quad \text{per } |H/N| > (H/N)^* \quad (6)$$

dove i coefficienti a , b , c hanno il significato definito nelle (1) e (2). La (4) esprime l'equilibrio di tutte le forze orizzontali agenti sull'edificio. Il sistema delle (3) con la correzione indicata dalla (4) costituisce, a causa della (6), un problema non lineare. La soluzione puo' essere ottenuta, per esempio, con un metodo di Runge-Kutta, assumendo come incognite le quantita' $\{x\}$ e $\{\dot{x}\}$.

Si noti che la forza verticale agente sulla superficie di scorrimento ha l'espressione:

$$N = M (g - \ddot{z}) - S \quad (7)$$

con S spinta idrostatica

$\ddot{z}$ accelerazione verticale della struttura

M massa totale della struttura.

Nel modello monodimensionale adottato il moto verticale della struttura $\ddot{z}$ e' disaccoppiato dal moto orizzontale; se si suppone che esso sia determinato principalmente dalla rigidezza K_z del terreno in direzione verticale, lo si puo' ricavare con l'equazione:

$$M \ddot{z} + B_z \dot{z} + K_z z = - M \ddot{y}_v \quad (8)$$

dove $\ddot{y}_v$ rappresenta le accelerazioni verticali del terreno e B_z lo smorzamento associato a tale moto.

3.2. I principali risultati

Il modello numerico descritto e' stato applicato allo studio di un edificio di civile abitazione a quattro piani; il periodo fondamentale della struttura, ipotizzata su base fissa (cioe' con scorrimento impedito), e' di 0,3 sec. L'evento sismico impiegato per il calcolo della risposta e' quello di Taft (California, 1952); sono state svolte diverse analisi, facendo variare la massima accelerazione del terreno fra i valori 0,1 g e 0,8 g. Si e' sempre considerata anche la componente verticale dell'accelerazione del terreno.

Un primo risultato riguarda l'entita' degli scorrimenti della struttura sulla superficie impermeabile. Il diagramma della fig. 13 riporta il valore del massimo scorrimento durante l'eccitazione sismica, al variare della massima accelerazione del terreno. Si noti che i massimi scorrimenti, di alcuni centimetri, sono dello stesso ordine di grandezza di quelli realizzati nelle prove sperimentali, sopportati senza danno dalle superfici impermeabili. Secondo le previsioni, gli scorrimenti su fogli del tipo A sono molto maggiori di quelli su fogli del tipo B; si noti il sensibile effetto di una spinta idrostatica corrispondente ad un battente d'acqua di un metro. La fig. 14 mostra la variazione dello scorrimento nel tempo per due diversi valori della massima accelerazione del terreno. Si noti che lo scorrimento residuo, al termine del terremoto, costituisce una elevata percentuale del massimo valore raggiunto durante la scossa.

A lato dell'entita' degli scorrimenti, ha interesse osservare altri risultati dell'analisi, che mostrano come la possibilita' di scorrere rispetto al terreno alteri il comportamento dinamico dell'edificio. La fig. 15 mostra una sensibile variazione nello spettro di risposta del terremoto in esame, a seconda che lo scorrimento sia impedito o lasciato libero: la possibilita' di scorrere attenua l'effetto del terremoto in tutta la fascia di periodi in cui ha luogo l'amplificazione della risposta. La stessa figura evidenzia lo stretto abbinamento fra scorrimento e riduzione delle azioni sismiche. Gli stessi risultati continuano a valere anche per altri moti del terreno; lo spettro di risposta della fig. 16, per esempio, relativo alla registrazione di S.Rocco (Friuli, Settembre 1976), mostra una massima riduzione della risposta dell'ordine del 50%. In fig. 17 si puo' vedere l'evoluzione nel tempo degli scorrimenti associati.

La riduzione dell'effetto sismico si accompagna ad una variazione del modo di deformarsi della struttura. Per l'edificio multipiano in esame in presenza di fogli tipo A la fig. 18-a mostra l'evoluzione degli spostamenti ai piani al crescere dell'intensita' del terremoto e, conseguentemente, dell'effetto dello scorrimento: la deformata evolve progressivamente verso la situazione di una traslazione rigida dell'edificio. Parallelamente (fig. 18-b), il profilo delle massime forze di inerzia ai piani, per effetto dello scorrimento, si raddrizza, tendendo ad una distribuzione uniforme.

e' La fig. 19, infine, mostra, per l'edificio considerato e per il terremoto di Taft, la variazione del massimo taglio al piede al crescere della massima accelerazione orizzontale del terreno; con fogli tipo A il beneficio dello scorrimento e' sensibile per terremoti di grande intensita' ed aumenta ulteriormente in presenza di una spinta idrostatica.

4. GLI ISOLATORI DI BASE.

L'attitudine dei manti impermeabili di fondazione a ridurre la risposta sismica di una struttura li rende in qualche modo affini agli isolatori di base, a quei dispositivi cioe' che realizzano un collegamento terreno-struttura a bassa rigidezza orizzontale, e consentono, al prezzo di ampi spostamenti della struttura, una sensibile riduzione delle forze sismiche.

L'idea di un "primo piano flessibile", per sottrarre la struttura all'effetto del terremoto, risale all'inizio del secolo, ma solo in tempi recenti sono maturate proposte concrete di attuazione. Come documentato da Kelly [3] in uno stato dell'arte, l'interesse per sistemi di isolamento di base e' attualmente molto diffuso e, a seguito di diverse ricerche teoriche e sperimentali, ha avuto inizio l'installazione pratica di un certo numero di dispositivi per la protezione di edifici di notevole importanza. I metodi proposti consistono nel disporre sotto la struttura da isolare appoggi con bassissima rigidezza in direzione orizzontale, realizzati prevalentemente in gomma naturale rinforzata con piastre in acciaio. Insieme a tali appoggi vengono installati dispositivi che producono una elevata dissipazione di energia e speciali vincoli che consentano al dispositivo di isolamento di entrare in gioco solo per carichi orizzontali sufficientemente elevati.

Il concetto peraltro di proteggere la struttura dal terremoto consentendone lo scorrimento si e' ormai largamente diffuso e ha dato luogo anche a proposte di semplice realizzazione, applicabili su ampia scala. Arya [4], per esempio, ha studiato, per la protezione delle case in muratura ad un piano in India, l'insediamento di una superficie di scorrimento fra la fondazione e la muratura.

I manti impermeabili di fondazione si possono collocare, nell'ambito dei sistemi di isolamento di base, come dispositivi con buone possibilita' di protezione nei confronti di terremoti di eccezionale intensita'; al loro impiego sarebbe associato il vantaggio di scorrimenti contenuti entro limiti piuttosto ristretti ed inoltre non attivati per terremoti di bassa intensita'.

RINGRAZIAMENTI

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

SOMMARIO

L'isolamento di una fondazione dall'acqua viene spesso realizzato con una superficie di materiale impermeabile disposta al di sotto della piastra di fondazione. Con una tale soluzione la struttura sovrastante viene ad essere appoggiata su una base piana e liscia, che si configura, nell'eventualita' di una scossa sismica, come una potenziale superficie di scorrimento. Allo scopo di indagare se un tale scorrimento possa effettivamente verificarsi, e' stata svolta una ricerca sperimentale e numerica. La parte sperimentale ha consentito di evidenziare le caratteristiche del moto per attrito su manti impermeabili in bitume polimero, rendendo possibile l'indagine numerica del comportamento sismico di un edificio con fondazioni impermeabilizzate. I risultati delle analisi svolte evidenziano che un terremoto di forte intensita' puo' produrre scorrimenti di alcuni centimetri sui fogli impermeabili provati; lo scorrimento produce danni estremamente ridotti alla superficie impermeabile e comporta il vantaggio di una riduzione delle forze di inerzia prodotte dal terremoto.

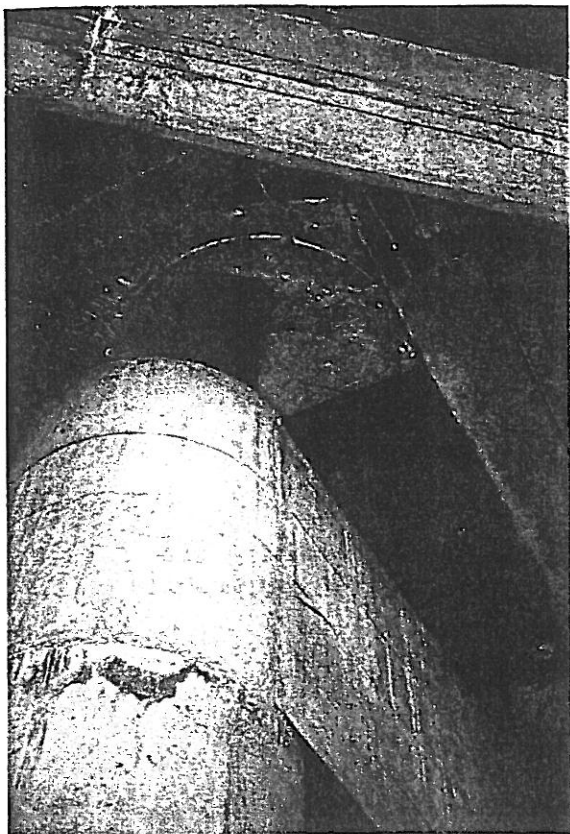


Fig. 1

Scorrimento di un impalcato da ponte sulla pila (Friuli, 1976).

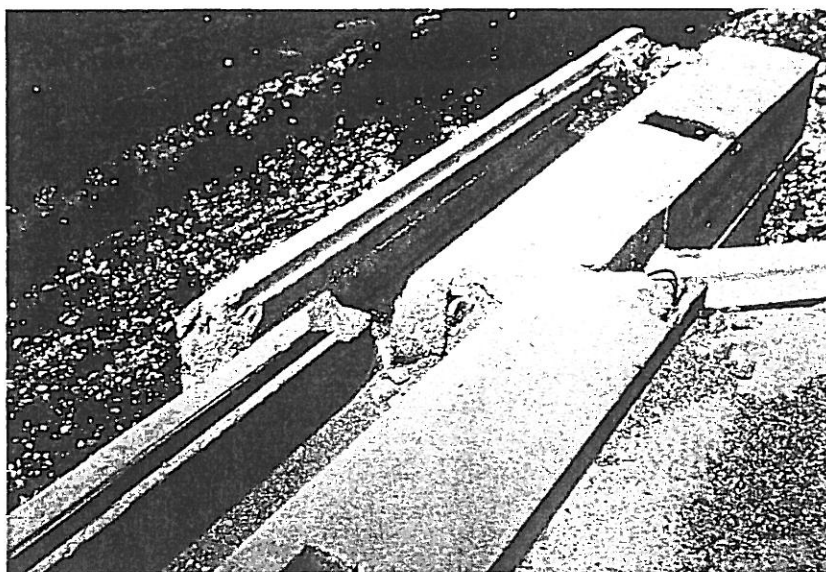


Fig. 2 Scorrimento di un impalcato da ponte rispetto alla spalla (Friuli, 1976).

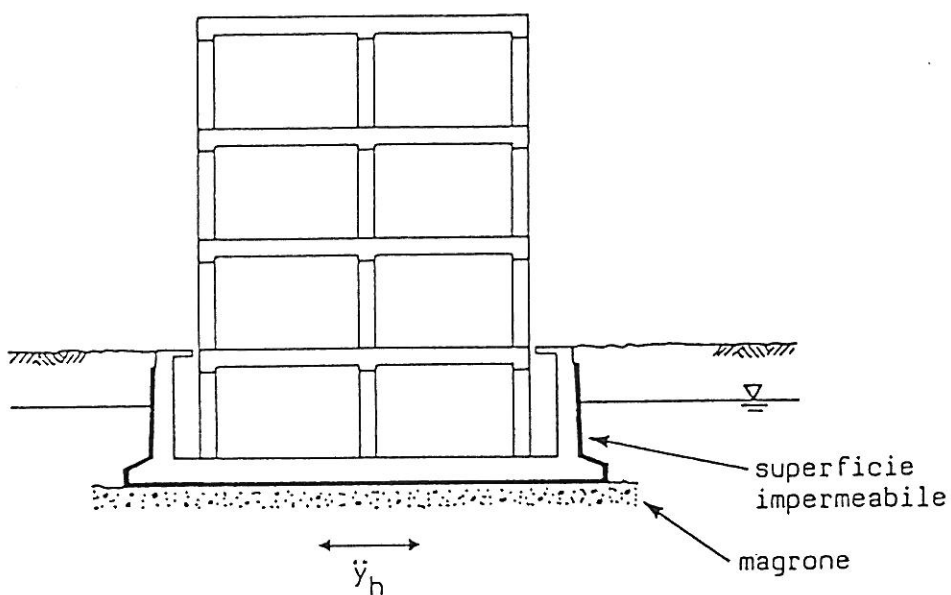
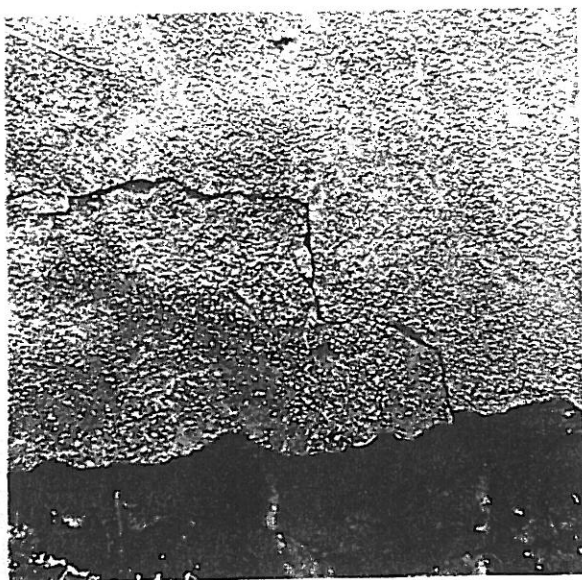


Fig. 3 Condizioni di possibile scorrimento per un edificio.

Fig. 4

Scorrimento relativo di due parti di muro separate da uno strato impermeabile (Friuli, 1976).



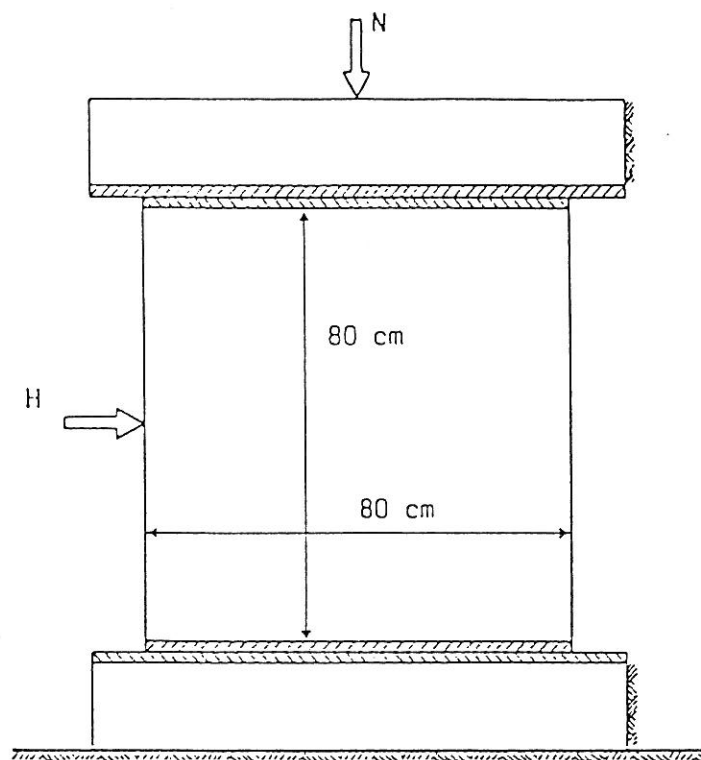


Fig. 5 Schema dell'apparato di prova.

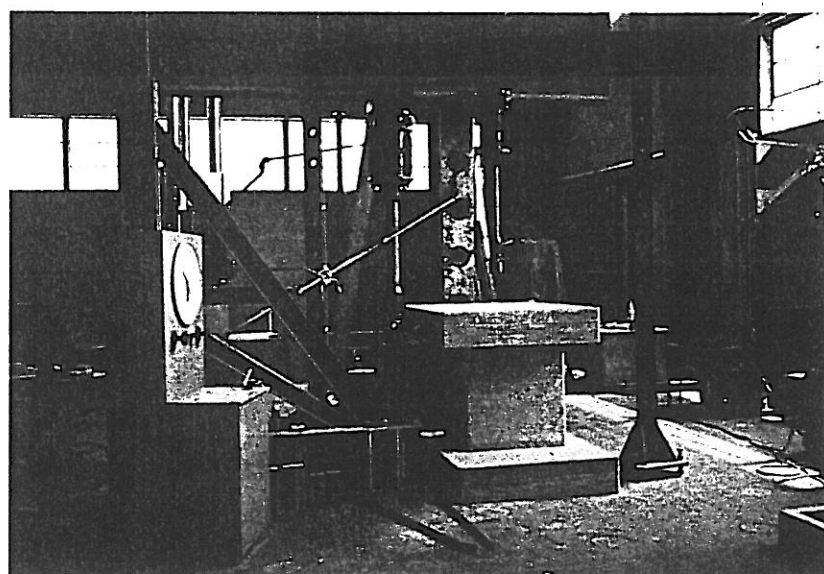


Fig. 6 Vista dell'apparato sperimentale.

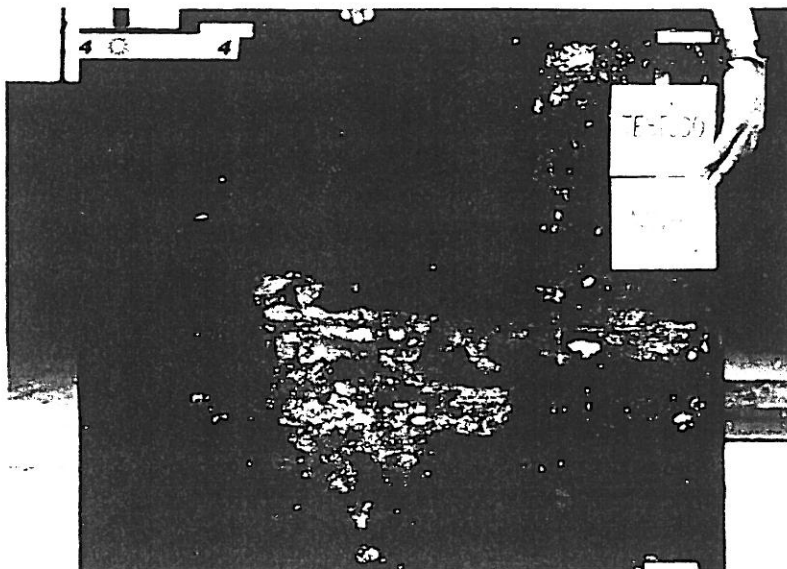


Fig. 7 Fogli tipo A a seguito delle prove.

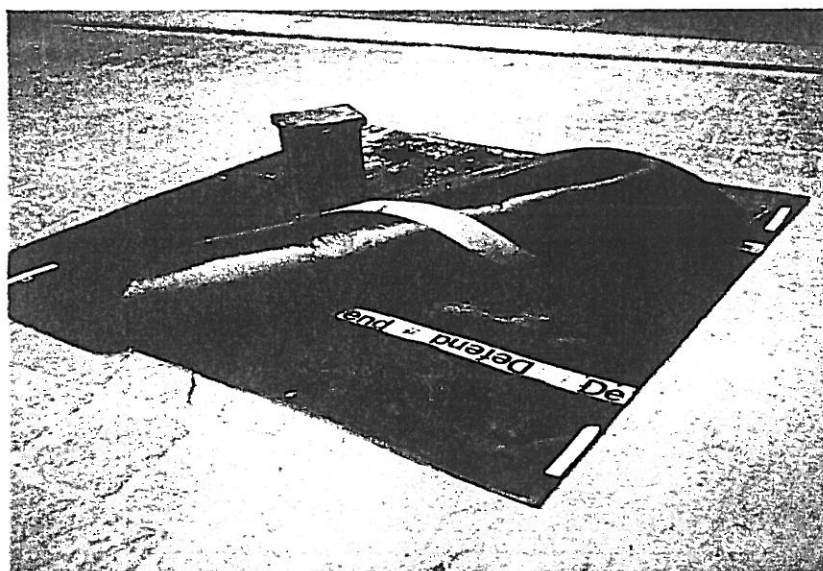


Fig. 8 Fogli tipo B a seguito delle prove.

Fi

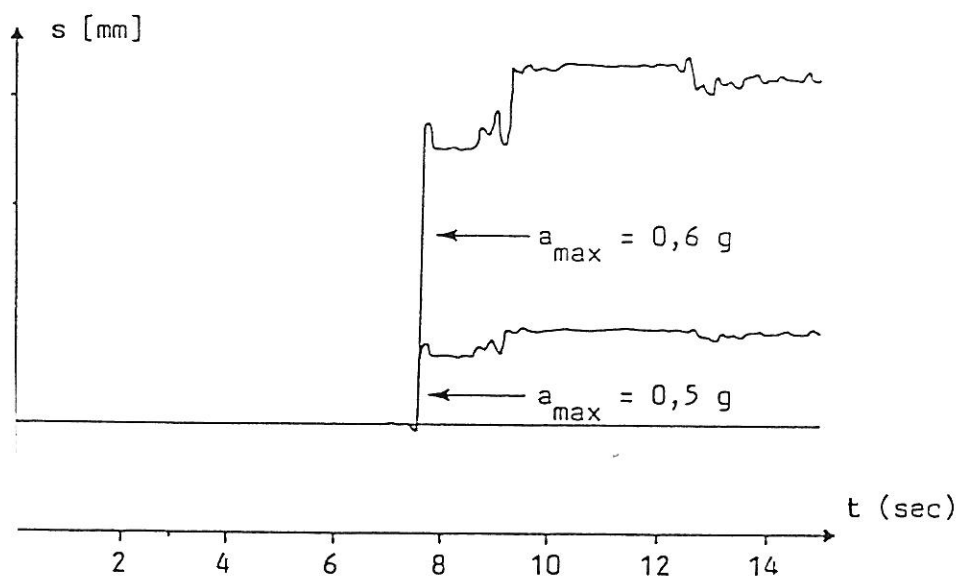
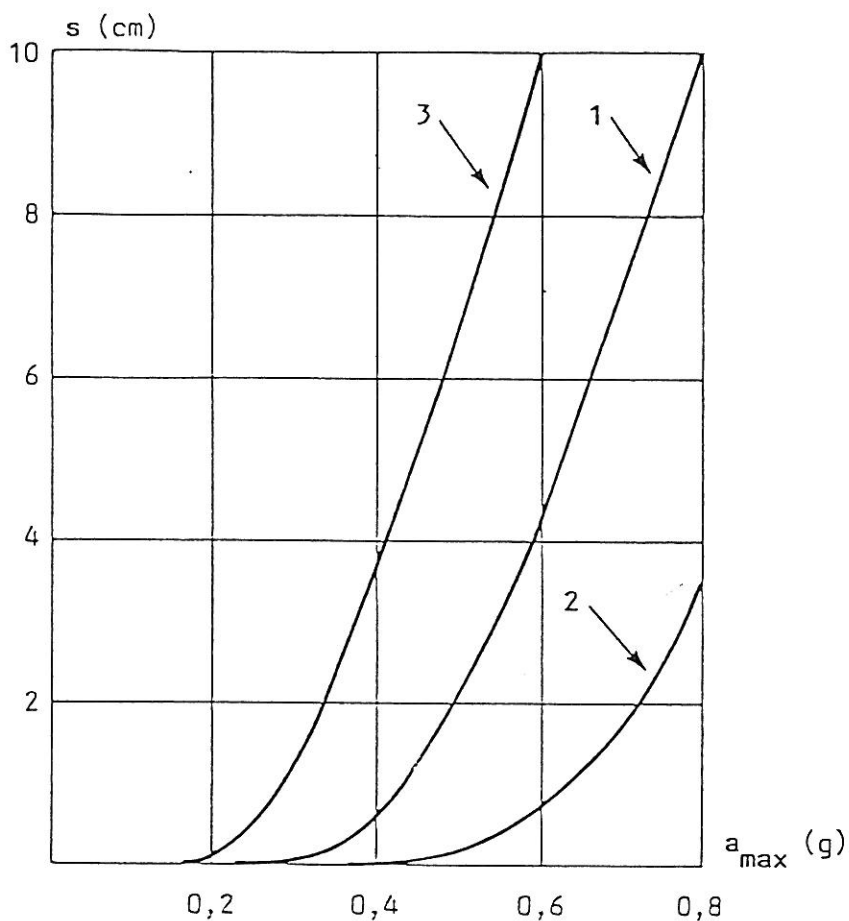
Il scorrimento della
st s) in funzione dell'
la accelerazione del
te), in unita' g,
(t x di Taft, Cali-
fo

Cu

Cu

Cu

li tipo A
li tipo B
li tipo A in pre-
za di spinta idro-
tica.



- 4 Variazione dello scorrimento (s) nel tempo (t) per due diversi valori della massima accelerazione del terreno (a_{max}).
Terremoto di Taft.

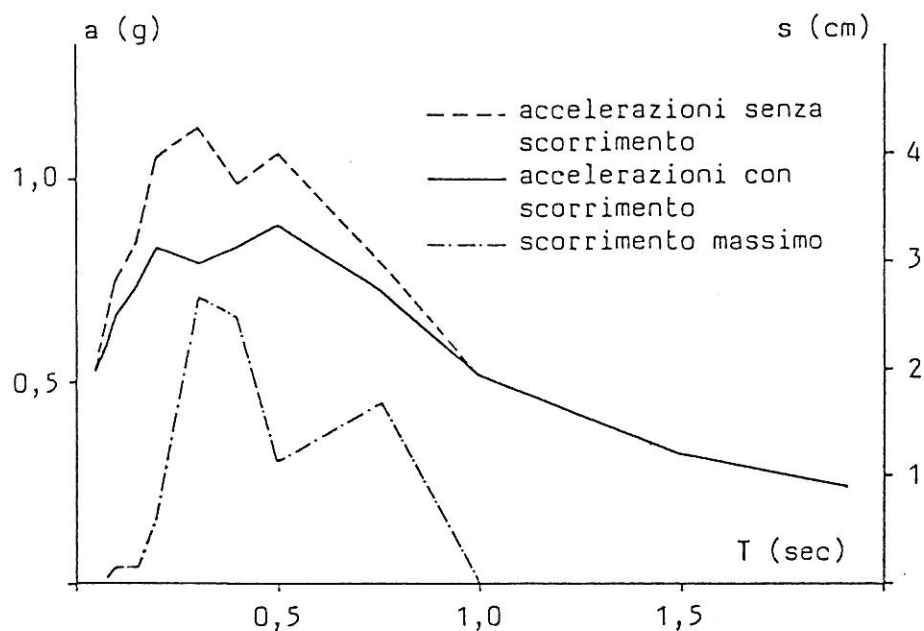


Fig. 15 Spettro di risposta delle accelerazioni (a , unita' g) e scorrimenti (s) per il terremoto di Taft, con massima accelerazione del terreno scalata a 0,5 g.

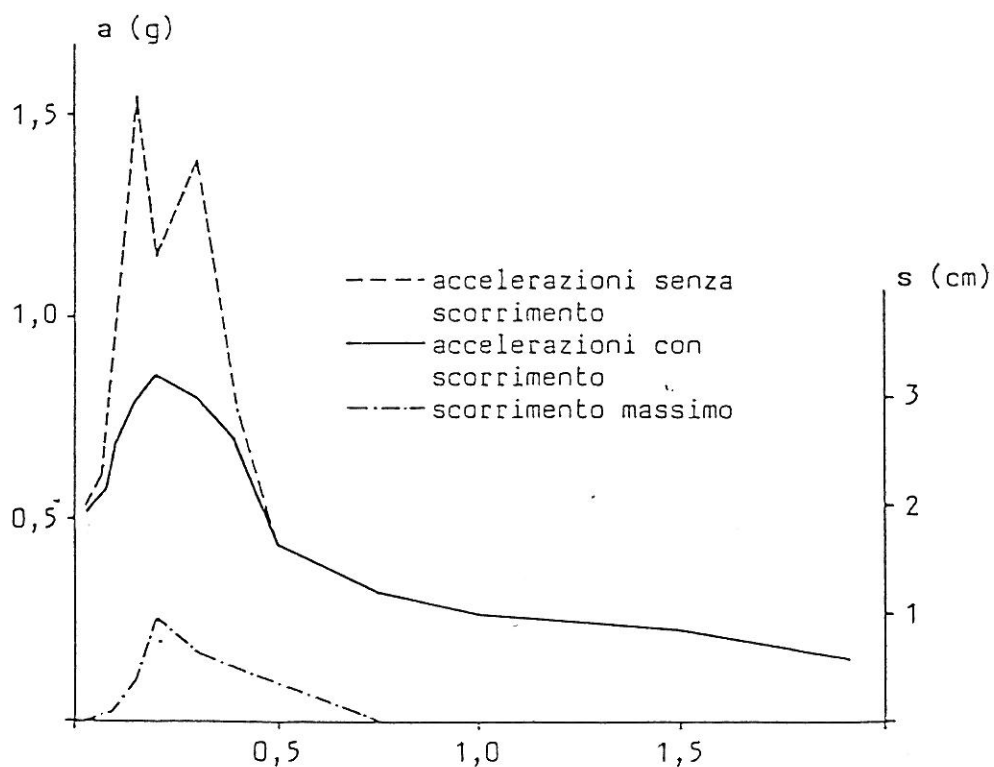


Fig. 16 Spettro di risposta delle accelerazioni (a , unita' g) e scorrimenti massimi (s) per il terremoto di S.Rocco, con massima accelerazione del terreno scalata a 0,5 g.

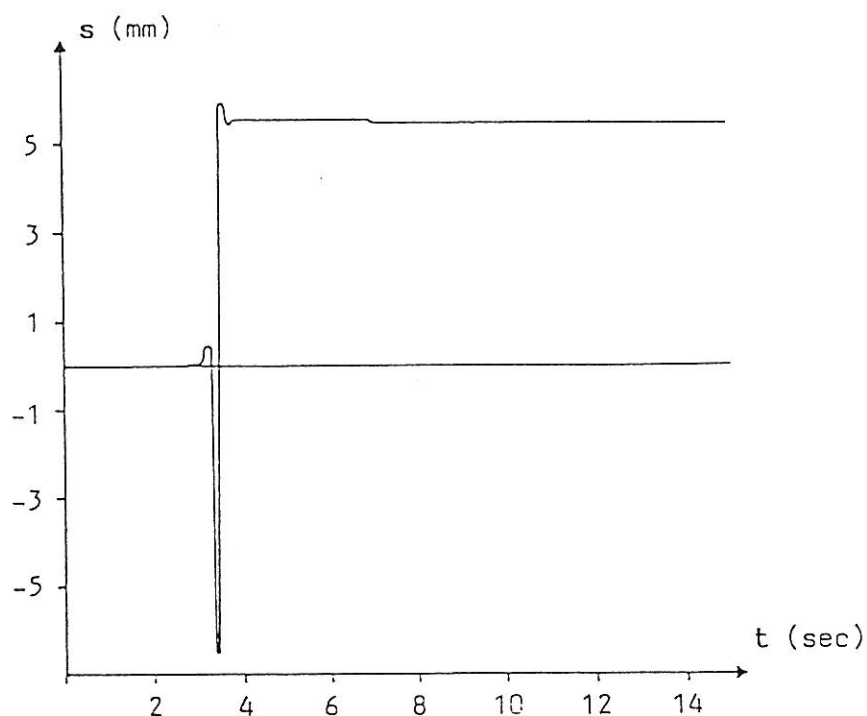


Fig. 17 Variazione dello scorrimento (s) nel tempo per il terremoto di S.Rocco, Friuli, con massima accelerazione del terreno scalata a 0,5 g.

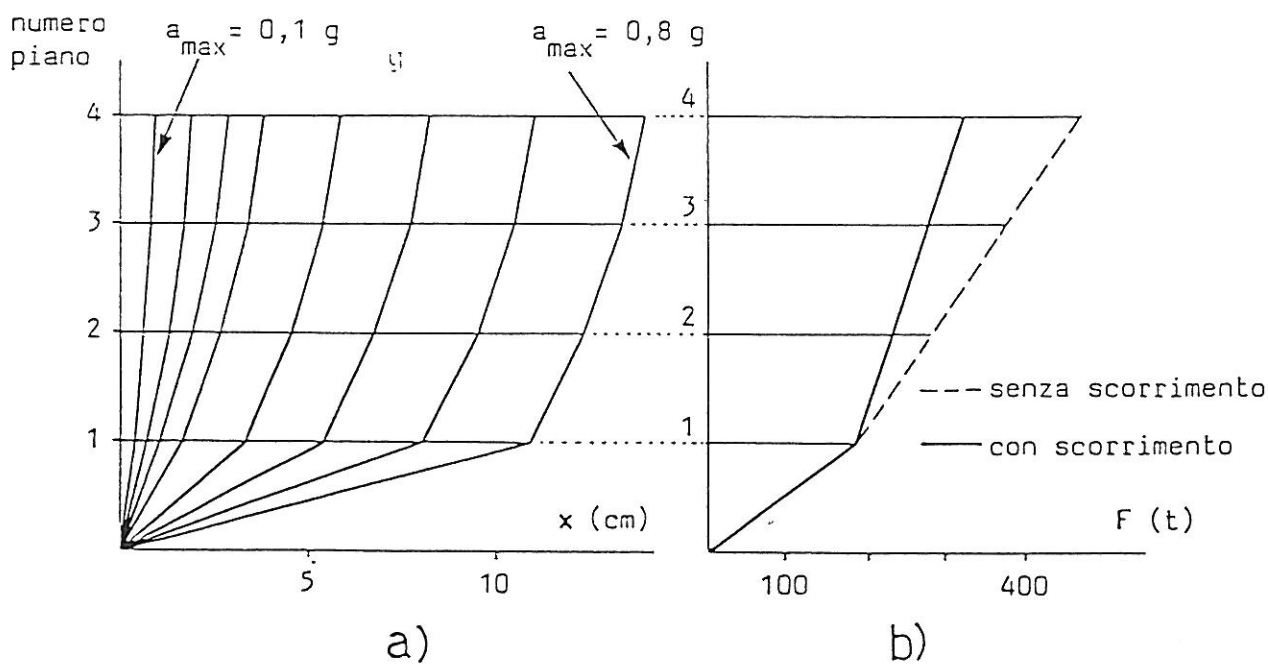


Fig. 18 a) Profili degli spostamenti totali dei piani (x), con scorrimento della fondazione consentito, per accelerazioni massime del terreno variabili da 0,1 g a 0,8 g (Terremoto di Taft).

b) Profilo delle massime forze di inerzia ai piani (F) con e senza scorrimento (Terremoto di Taft; massima accelerazione = 0,8 g).

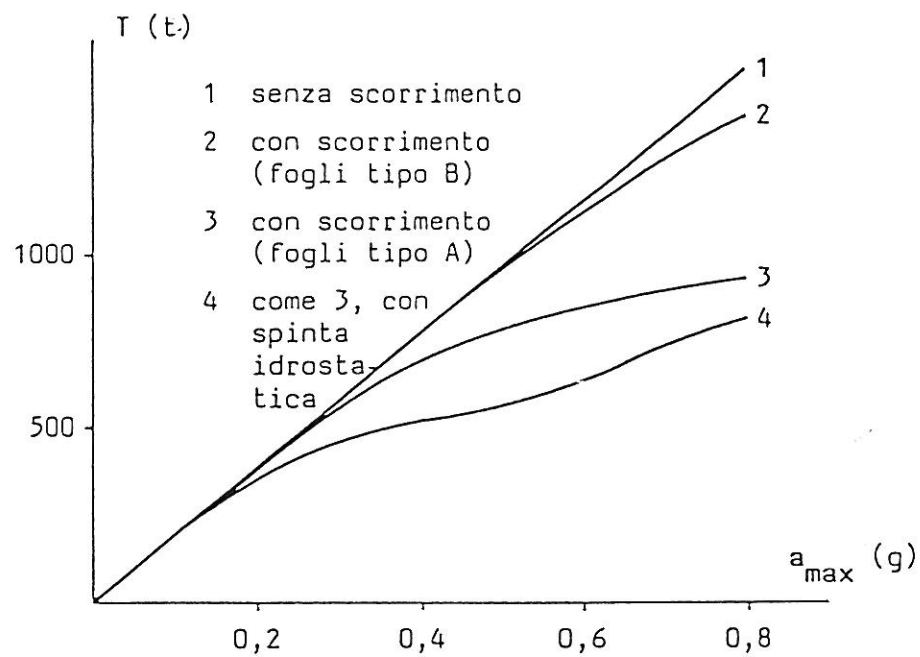


Fig. 19 Variazione della massima forza di taglio al piede dell'edificio (T) in funzione della massima accelerazione del terreno (a_{max}) - Terremoto di Taft.