

## Capitolo 5

### 5.1 Esempi applicativi per edifici

#### 5.1.1 Le disposizioni base tipiche per edifici

L'inserimento tra suolo e sovrastruttura degli isolatori cinematici con tre gradi di libertà e forza di richiamo gravitazionale debole ottenuta con idonea curvatura delle superfici di rotolamento, può essere eseguito sostanzialmente secondo due configurazioni ciascuna delle quali ha pregi e difetti.

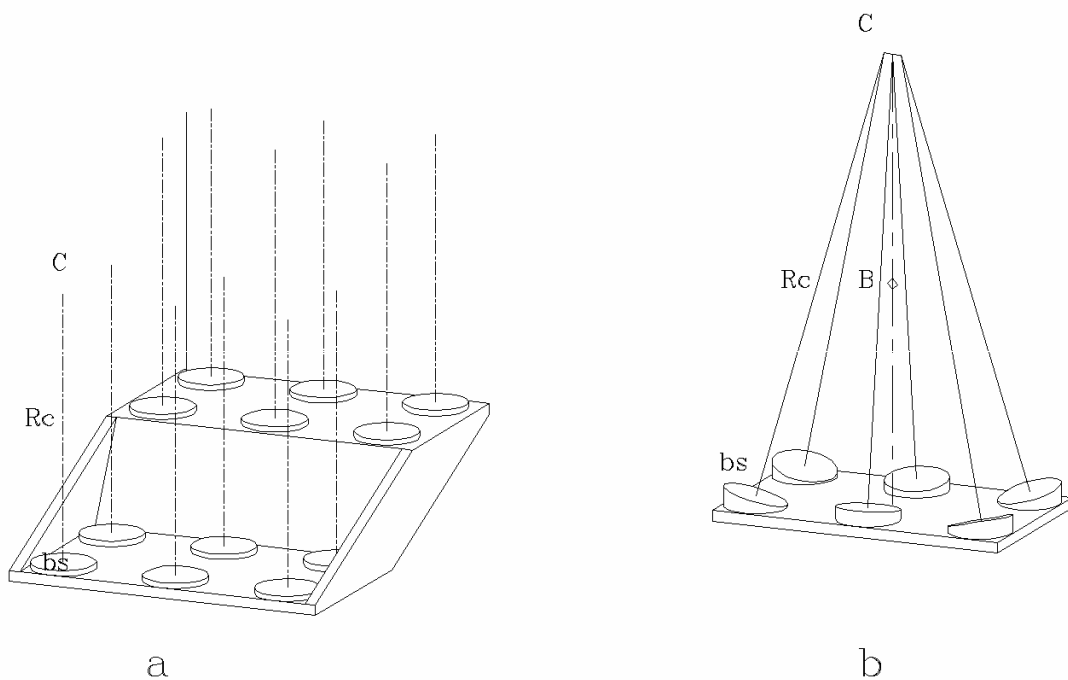


Fig1

La configurazione *planare* consiste in una disposizione delle superfici di rotolamento ad asse verticale e della stessa curvatura anche se su piani paralleli diversi come Fig 1.a. Con questa configurazione l'assetto della sovrastruttura non risente delle variazioni di distribuzione dei carichi ma risente integralmente, oltre che delle accelerazioni verticali, anche dei due momenti ad asse orizzontale prodotti dalla componente verticale delle onde  $r$  e conseguenti accelerazioni indotte nelle parti alte delle strutture sviluppate in altezza. Pertanto questa configurazione è più adatta a strutture sviluppate orizzontalmente. Se i raggi di curvatura delle basi di scorrimento sono uguali durante il movimento non si avranno effetti distorsivi sulla sovrastruttura dovuti al dislivello tra il centro e la periferia delle basi stesse. Le rotazioni relative ad asse verticale dovute alle onde  $l$  possono in via di principio produrre queste distorsioni su edifici marcatamente rettangolari ma le variazioni d'angolo sono di ampiezza tale da produrre effetti trascurabili come dalla trattazione che segue, estensibile *mutatis mutandis* alle onde  $l$ .

Supponiamo che un treno d'onde  $r$  di profilo spaziale verticale  $f(\xi)$  si propaghi nella direzione  $x$  con velocità  $u_p$ . Si ha allora, per lo spostamento angolare  $\alpha$  e per l'accelerazione angolare :

$$1) \quad \alpha(t) = \frac{df(\xi)}{d\xi} = -\frac{1}{u_p} \cdot \frac{\partial f(x - u_p \cdot t)}{\partial t} = \frac{1}{u_p} \cdot u_s(t) \quad \dot{\omega}(t) = \frac{1}{u} \cdot \frac{\partial a_s(t)}{\partial t}$$

dove  $a_s(t)$  e  $u_s(t)$  sono l'accelerazione e la velocità nella direzione verticale. In Fig 3 sono riportati

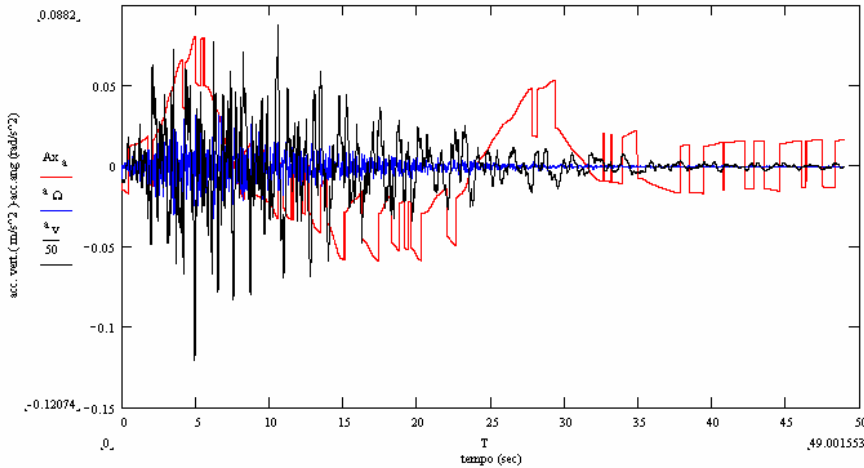


Fig 3

i diagrammi della accelerazione orizzontale  $A_x$  e della accelerazione angolare  $a_\Omega$  trasmesse dagli isolatori per un'onda  $r$  con componente di accelerazione verticale  $a_v$  e velocità di propagazione  $u = 3500\text{m/s}$  nella direzione  $x$ , nella ipotesi che la componente verticale e la componente orizzontale siano uguali. E' evidente che già all'altezza del primo piano (3m) l'accelerazione angolare induce accelerazioni dello

ordine di quella orizzontale ( $A_{x_a}$ ).

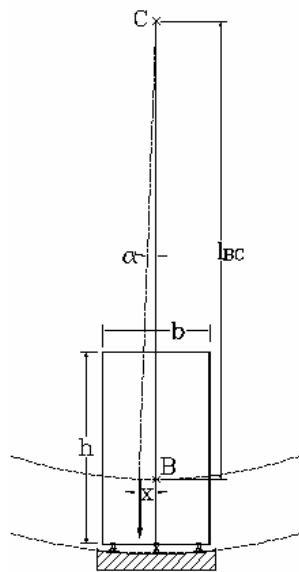


Fig 1 c

La seconda configurazione consiste in una disposizione delle superfici di rotolamento con centri di curvatura quasi coincidenti Fig 1.b . Un leggero distanziamento nei centri serve a dare stabilità rispetto a rotazioni ad asse verticale. Questo metodo consente 5 gradi di libertà isolando anche dai suddetti momenti ma, durante il sisma, l'assetto è sensibile alle variazioni di distribuzione dei carichi perché il baricentro della sovrastruttura tenderà a posizionarsi sulla verticale del centro di spinta C. Come illustrato in Fig 1c, una rotazione di  $\alpha$  intorno al punto C comporta uno spostamento  $x \approx \alpha \cdot l_{BC}$  ed un momento di richiamo rispetto a C  $xMg$ , per cui:

$$M_c = -x \cdot M \cdot g = I \cdot \ddot{\alpha} = (I_b + M \cdot l_{BC}^2) \cdot \ddot{\alpha} = (I_b + M \cdot l_{BC}^2) \cdot \frac{\ddot{x}}{l_{BC}}$$

dove  $l_{BC}$  è la distanza tra il centro di spinta C, B il baricentro della sovrastruttura,  $I_B$  il momento d'inerzia baricentrico secondo l'asse orizzontale ortogonale alla detta direzione. Se  $l_{eq}$  è la lunghezza equivalente del pendolo composto ( $I_B = l_{eq}^2 M$ ) il periodo di risonanza (dipendente in generale dalla direzione relativa tra piano di oscillazione e sovrastruttura) sarà allora:

$$2) \quad T_r = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l_{BC}}{g} \cdot \left(1 + \frac{I_B}{M \cdot l_{BC}^2}\right)} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l_{BC}}{g} \cdot \left(1 + \frac{l_{eq}^2}{l_{BC}^2}\right)}$$

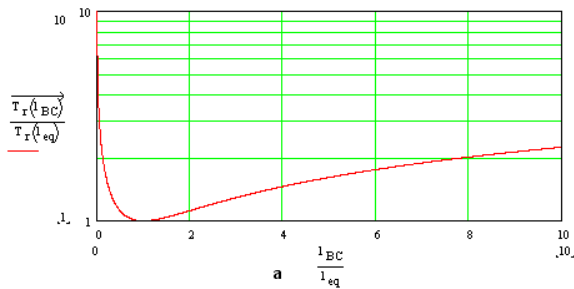
Dalla 2) si vede come  $T_r$  ha un minimo

$$T_{r_{\min}} = 2\pi \sqrt{2 \cdot \frac{l_{eq}}{g}} \quad \text{per } l_{eq} = l_{BC}$$

Per un edificio a forma di parallelepipedo omogeneo di altezza  $h=100m$  e larghezza di base  $b=20m$  parallela all'asse di rotazione si trova

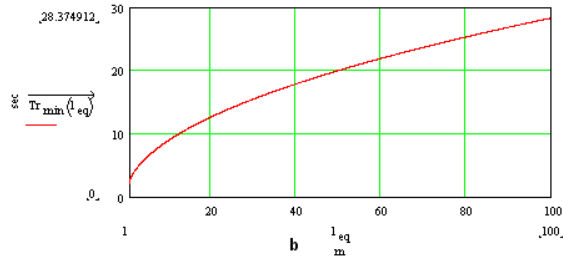
$$3) \quad l_{eq} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \sqrt{h^2 + b^2} = 30m \quad T_{r_{\min}} \approx 15.5s \quad Rc = h/2 + l_{BC} \approx 80m.$$

Il diagramma di Fig4a illustra la dipendenza generale tra il rapporto  $T_r/T_{r_{\min}}$  ed il rapporto  $l_{BC}/l_{eq}$ .



Quello di Fig 4b mostra la dipendenza di  $T_{r_{\min}}$  dalla lunghezza equivalente  $l_{eq}$  a sua volta dipendente dalla forma e dalla distribuzione delle masse della sovrastruttura. In ogni caso i tempi di risonanza si possono rendere sufficientemente grandi da evitare la risonanza sismica.

Questa configurazione appare come la più adatta per le strutture sviluppate verticalmente. Il movimento ondulatorio viene in parte convertito in movimento sussultorio.



In entrambi i casi l'integrità della sovrastruttura dipende dalla rigidità delle fondamenta che deve garantire l'assetto relativo stabile delle basi di rullaggio. In pratica la realizzazione di questa piattaforma assorbe la maggior parte dei costi dell'isolamento a commutazione di attrito che però è ampiamente compensata, più che dalla riduzione dei costi della sovrastruttura, dalla integrità garantita per

Fig 4

le persone e per le cose mobili.

### 5.1.2 Gli allacciamenti esterni.

Per quanto ampie siano le escursioni relative tra suolo e sovrastruttura, gli allacciamenti all'esterno non costituiscono alcun problema. Una delle soluzioni più semplici ed immediate è quella di adottare allacciamenti alla rete idrica, elettrica, telefonica, gas, ecc flessibili e disposti a spirale, mentre quelli delle acque di scarico possono essere ad imbuto, con diametro superiore o pari a quello delle basi di rullaggio (se si vuole mantenere la funzionalità anche durante il sisma!) e copertura ermetica, in materiale facilmente lacerabile in caso di sisma e successivamente ripristinabile.

### 5.1.3 Il raccordo con il terreno circostante.

Il raccordo con il terreno deve consentire il rullaggio senza ostacoli e garantire la sicurezza. La fig 5a illustra in sezione verticale un modo ovvio di risolvere il problema per la configurazione piana. Basta estendere il primo solaio 5 con mensola 8 di larghezza sufficiente in modo da coprire completamente lo spazio 4 di alloggio degli isolatori 7 per tutta l'escursione possibile ( $\approx 1m$ ) sulle rispettive basi di rullaggio 3. La camera 4 è l'interno di una vasca di cemento armato infossata nel terreno 9 che deve essere in grado di mantenersi intatta. Il solaio 5 è rinforzato tramite le travi 1

opportunamente dimensionate da reggere alle scosse sussultorie.

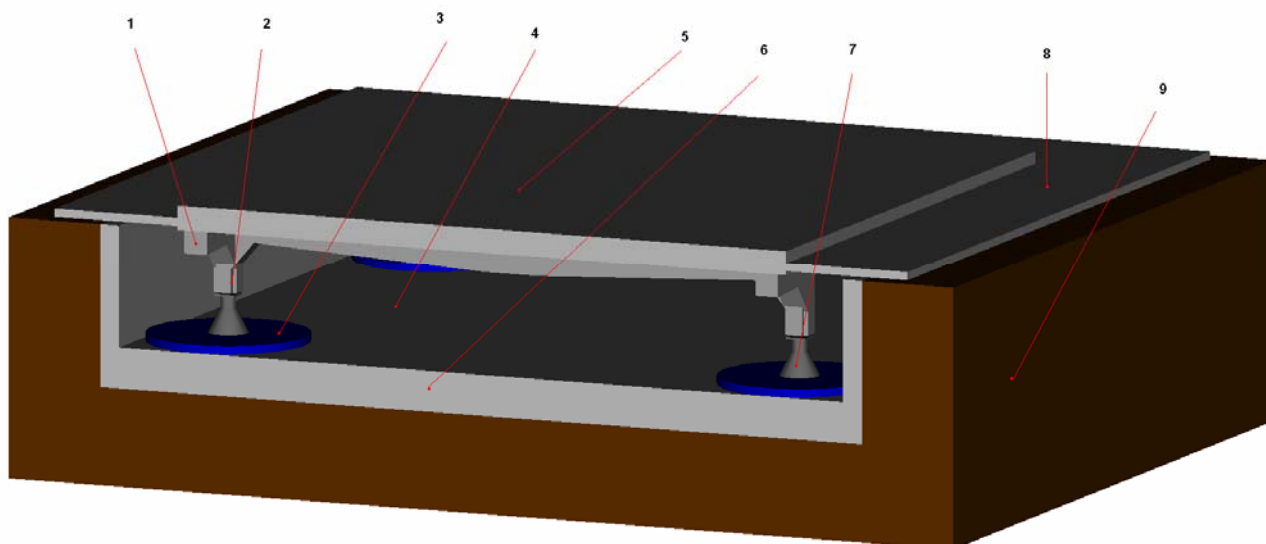


Fig.5a

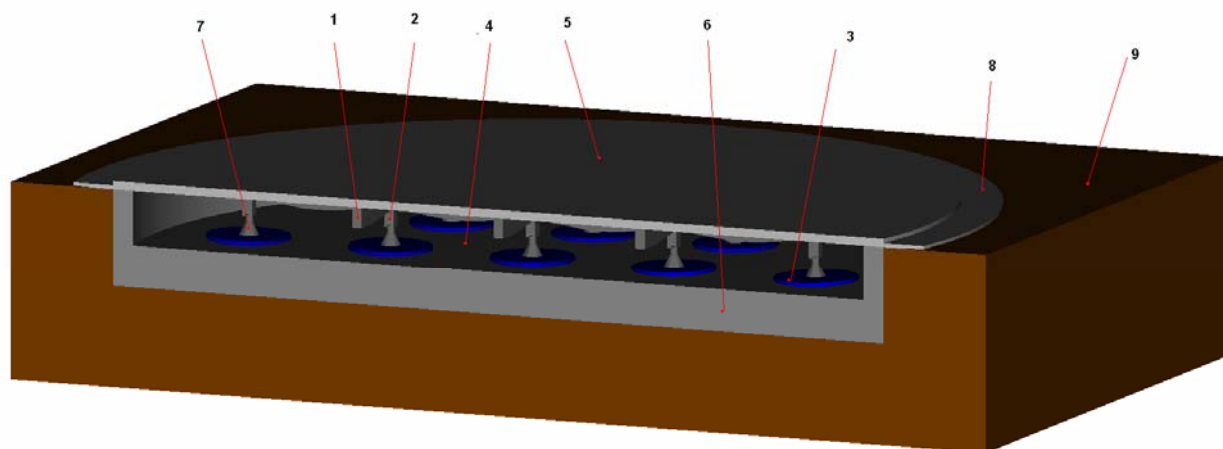


Fig.5b

Nella configurazione sferica, il raccordo deve consentire la rotazione con centro C. Conviene adottare una forma circolare come in fig 5b sagomata ai bordi con curvatura idonea in modo da consentire la rotazione senza ostacoli intorno al centro virtuale C, fuori figura. Come detto precedentemente le basi di rullaggio 3 sono orientate in modo che i centri di curvatura rientrano in una regione ristretta attorno al punto C.

L'inconveniente principale di questa configurazione è la necessità che la posizione del baricentro della sovrastruttura, a causa di variazioni di distribuzione delle masse mobili di carico, durante il sisma, non si trovi spostato orizzontalmente, rispetto al primo solaio di più della metà del raggio delle basi di rullaggio.

Per quanto riguarda la struttura, una condizione sufficiente per garantire la posizione corretta del baricentro è quella di una geometria con due piani di simmetria assiali verticali.

#### 5.1.4 L'apparato di attivazione antisismica.

L'intervento tempestivo della attivazione del sistema di isolatori è di fondamentale importanza in quanto un ritardo eccessivo nella attivazione potrebbe produrre un trascinarsi iniziale dell'edificio con velocità di deriva tale da portare inerzialmente l'edificio ai limiti di escursione con conseguenti rimbalzi deleteri. In generale, da simulazioni di calcolo effettuate per sismi abbastanza realistici, un ritardo sul sisma dell'ordine 1s non creerebbe problemi. Considerato che i tempi di commutazione meccanica sono dell'ordine  $10^{-2}$  s, e quelli dell'apparato elettrovalvolare dell'ordine di  $10^{-3}$  s, in definitiva il tempo di ritardo è determinato essenzialmente dai sensori sismici che devono avere il tempo per distinguere un sisma da eventuali vibrazioni del suolo dovute ad altra causa.

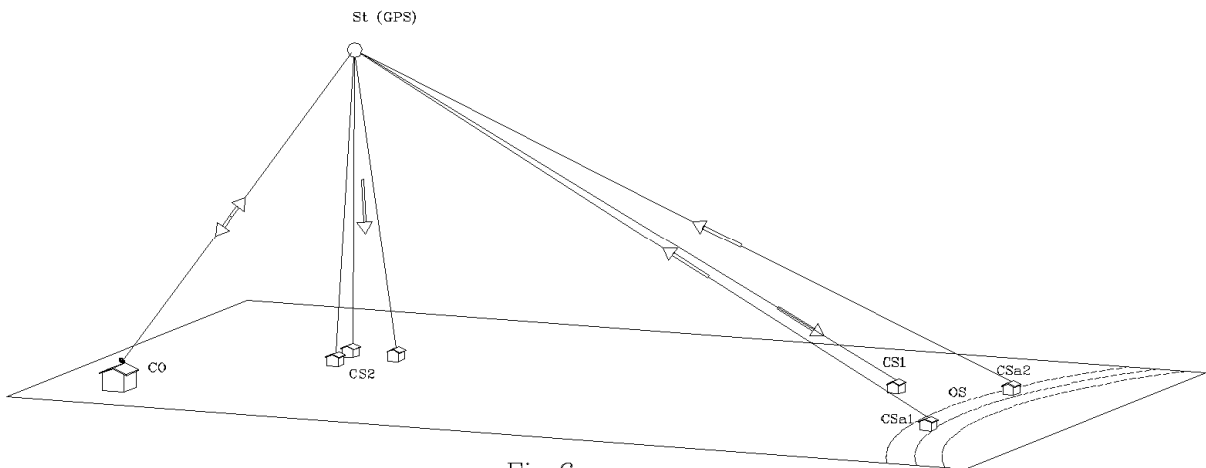


Fig.6

Come illustrato schematicamente in Fig 6 l'attivazione è avviata da sensori accelerometrici situati all'interno o in prossimità di edifici collegati in rete CPS con una centrale operativa CO . Questa, su rivelazione di onde sismiche in arrivo dai sensori Csa, primi interessati dal fronte d'onda OS, attiva tempestivamente gli isolatori della zona di territorio a rischio CS2 e Cs1 a valle dell'epicentro del sisma.

#### 5.1.5 I dispositivi di riposizionamento

E' possibile che dopo il sisma l'edificio possa rimanere spostato di qualche centimetro dalla posizione corretta iniziale per cui è opportuno disporre di dispositivi di riposizionamento idraulico mobili che possono essere installati in numero e con disposizione idonea sui quattro lati. Con isolatori attivati la forza richiesta è dell'ordine del millesimo del peso complessivo dell'edificio.

#### 5.1.6 La protezione delle basi di rullaggio.

Le superfici di rullaggio devono essere protette adeguatamente da polvere e detriti sin dalla prima messa in opera, in sede di costruzione dell'edificio. Ultimata la costruzione, la copertura delle superfici di rullaggio vanno sostituite con coperture facilmente lacerabili in caso di sisma e sostituibili.

### **5.1.7 La manutenzione ordinaria.**

La manutenzione ordinaria di un sistema antisismico basato su isolatori a commutazione di attrito ad attivazione pneumatica riguarda essenzialmente il controllo periodico della quantità di CO<sub>2</sub> nella bombola collegata alla valvola di attivazione di ciascun isolatore. Il contenuto della bombola dovrebbe garantire autonomia per un minimo di 20-30 commutazioni. In generale la tecnologia odierna consente di automatizzare i controlli limitando l'intervento umano solo a quando strettamente necessario. Il testaggio periodico, è eseguito automaticamente da un apparato di controllo attivando un isolatore alla volta, e verificando con idonei sensori la corretta commutazione del carico dalla campana di appoggio al cuscinetto omnidirezionale. Quest'ultimo non necessita di particolare manutenzione perché normalmente non è caricato e non esistono pericoli di saldatura a freddo. Si noti che l'olio all'interno del piatto di rotolamento è sotto pressione solo in attivazione e quindi non è soggetto a perdite. In generale conviene sostituire periodicamente l'intero apparato valvolare comprensivo di bombola e circuitaria di supporto, facilmente separabile dal corpo dell'isolatore, al fine di garantire la tenuta ermetica contro perdite di gas che comprometterebbero l'autonomia.

### **5.1.8 La manutenzione straordinaria.**

La sostituzione del corpo di un isolatore, necessità per altro abbastanza rara considerato che la sua attività antisismica totale è destinata a durare non più di mezzora complessivamente (una ventina di terremoti), non è molto più difficoltosa di quella degli attenuatori sismici attuali anche se richiede tempi più lunghi e maggior cura.