

BASE ISOLATION: DALLE ORIGINI AI GIORNI NOSTRI

Fausto GIOVANNARDI *, Adriana GUIASOLA **



* *Ingegnere Civile Strutture, contitolare dello “Studio Giovannardi e Rontini” che dal 1982 svolge attività di progettazione architettonica, tecnica ed esecutiva di edilizia civile e industriale, con incarichi di direzione e contabilità lavori, sia nell’ambito pubblico che privato; Consulente strutturale per Tribunali, Soprintendenze ed Enti; dal 2010 Direttore Responsabile della rivista “Ingegneria Sismica” (Patron Editore); Socio ANIDIS, AICAP, ANIT, GLIS e del Collegio degli Ingegneri della Toscana fausto@giovannardierontini.it www.giovannardierontini.it*



** *Architect, Assistant Professor of “Structures” at the Faculty of Architecture, Urban planning and Design (FAUD) - University of Mendoza (Argentina); specialist in Prevention, Planning and Management of Disaster Prone Areas and specialist in seismic design, with a special interest in Seismic Architectural Design with new technologies of seismic protection; President of the “Fundación Arquitectura Sismica” (FAS); President of “Arquitectura Sísmica S.A.” info@arquitecturasismica.com www.arquitecturasismica.com*

PREMESSA

L'isolamento sismico è una tecnica di protezione che riduce gli effetti del sisma sulle strutture colpite, dimostrando, rispetto ad altre soluzioni costruttive antisismiche, maggiore efficacia e convenienza economica, non solo nelle applicazioni ad edifici e ponti, ma anche nella difesa del patrimonio storico/culturale.

L'obiettivo di questa tecnica consiste nel ridurre gli effetti della componente orizzontale dell'accelerazione del terreno sulla struttura in elevazione, disaccoppiando il moto della sovrastruttura stessa da quello della fondazione che la sorregge: questo lo si ottiene interponendo tra esse elementi strutturali a bassa rigidità orizzontale che, consentendo movimenti relativi, assorbono, deformandosi, l'energia dell'azione sismica. Se la sovrastruttura è sufficientemente rigida, predomina il primo modo di vibrare: gli spostamenti e le deformazioni sono concentrate al solo sistema di isolamento, mentre i modi superiori, in quanto ortogonali al primo ed al movimento del terreno, non partecipano se non inducendo effetti nella sovrastruttura estremamente limitati. Pertanto, se il sisma possiede un elevato contenuto energetico alle alte frequenze, questa energia non viene trasmessa alla struttura sovrastante.

Questo innovativa tecnica di protezione sismica, introdotta da poco nella moderna Ingegneria Sismica, ha però origini molto antiche.

UNA STORIA CHE HA ORIGINI NELL'ANTICHITÀ

Le ricerche storiche e le campagne archeologiche, hanno evidenziato che le antiche civiltà avevano ben presente la necessità di costruire edifici in grado di resistere al terremoto. Migliaia di anni di tragedie avevano fatto scuola e gli antichi costruttori conoscevano i concetti di isolamento e duttilità.

Gli edifici di molte antiche civiltà, soprattutto quelli più importanti dal punto di vista sociale, sono sopravvissuti a diversi terremoti, anche di non lieve entità, perché i loro costruttori avevano intuito l'importanza di inserire “elementi” che avessero la funzione di attutire l'effetto prodotto dal sisma.

Nell'antica Creta (2000÷1200 a.C.) troviamo edifici simmetrici composti da nuclei monocellulari. La muratura è in blocchi lapidei collegati da elementi lignei, che oltre a garantire il collegamento tra i blocchi forniscono “plasticità” all'insieme strutturale e compensano la “fragilità” della pietra.



Gli edifici sono appoggiati su uno strato di sabbia e ghiaia sciolta, che oltre a servire per il livellamento delle irregolarità del terreno, esercitano un'azione filtrante nei confronti delle vibrazioni del suolo durante il terremoto.

Collegamenti simili in legno tra muratura e fondazione sono stati trovati anche a Panticapaeum, nelle antiche costruzioni (400 a.C.)

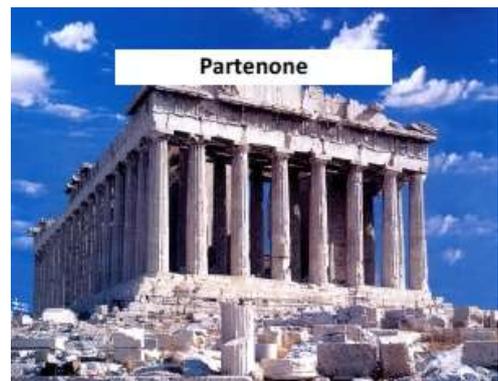
Secondo il grande archeologo statunitense Carl Blegen, nella costruzione delle grandi Mura di Troia (1500 a.C.), sotto le fondazioni del grande muro fu deliberatamente lasciato uno strato di terra compatta (hard-packed) tra il piano di fondazione e la roccia di base (1). Evidenziando la somiglianza con la tecnica utilizzata, oltre mille anni più tardi (III sec. a.C.), nel tempio di Atena, a Ilion le cui fondazioni poggiano su di uno spesso strato di sabbia, come pure i templi dorici di Paestum (273 a.C.).

Nell'antica Grecia e nella Persia era diffusa la tecnica di interporre tra il terreno e le fondazioni dei templi, alcuni strati di materiale atto a far "traslare" la costruzione rispetto al terreno in caso di terremoto. In alcuni casi al di sotto delle colonne, vi era uno strato di piombo. Anche lo stesso basamento in pietre squadrate e non murate contribuisce all'isolamento dal terremoto.

In alcuni casi costruivano i muri su robuste fondamenta alla base delle quali mettevano strati di ceramica ed argilla. La ceramica proteggeva lo strato d'argilla dall'umidità e dalla disidratazione, mantenendone nel tempo le proprietà plastiche. L'elevata plasticità dell'argilla smorzava la vibrazione del terreno durante il terremoto.

Un altro esempio di isolamento sismico è rappresentato dalla tecnica costruttiva che prevedeva di realizzare tra la fondazione e la muratura un giunto orizzontale a base di malta magra di limo, con sabbia. Quando l'azione sismica supera certi valori, la malta magra viene distrutta e la costruzione scivola. Buoni risultati si riscontrano anche quando la fondazione è composta da diversi strati di pietra levigata, senza alcuna malta o materiale legante, come nella tomba di Ciro il Grande a Pasargadae, sud est dell'Iran, costruita nel 550 a.C.

Analoghe considerazioni possono farsi per il Partenone, a cui vanno aggiunte considerazioni sui collegamenti metallici tra gli elementi costitutivi delle alte colonne.



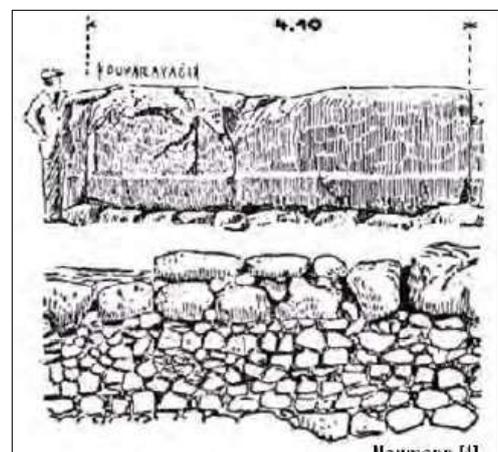
IL TEMPIO DI ARTEMIDE AD EFESO (VI SEC. AC) UNA DELLE SETTE MERAVIGLIE DEL MONDO

"Graecae magnificentiae vera admiratio exstat templum Ephesiae Dianae CXX annis factum a tota Asia. In solo id palustri fecere, ne terrae motus sentiret aut hiatus timeret, rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonicus, dein velleribus lanae." (n.h., 36,95)

"Una realizzazione della grandiosità greca degna di autentica meraviglia è il tempio di Diana che ancora esiste a Efeso, la cui costruzione impegnò tutta l'Asia per 120 anni. Lo eressero in una zona palustre, perché non dovesse subire terremoti o temere spaccature del suolo; d'altra parte, poiché non si voleva che le fondamenta di un edificio tanto imponente poggiassero su un suolo tanto sdruciolevole ed instabile, si pose sotto di esse uno strato di frammenti di carbone ed un altro di velli di lana."

Plinio il Vecchio, *Naturalis Historia*, Libro XXXVI

Recenti studi archeologici hanno evidenziato una tecnica molto diffusa nelle zone soggette a terremoti dell'antica Persia e denominata **Orthostat stone layer**. Lo strato del terreno sotto gli edifici era preparato in questo modo: un primo strato di pietre piatte di piccole dimensioni, poi alcuni strati con pietre di più grandi dimensioni che diventano la fondazione.

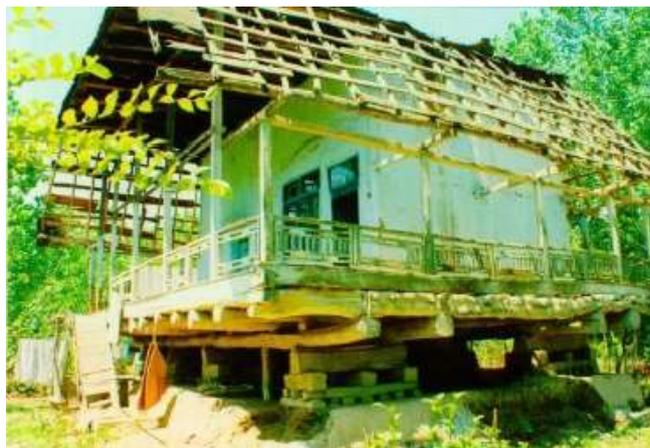
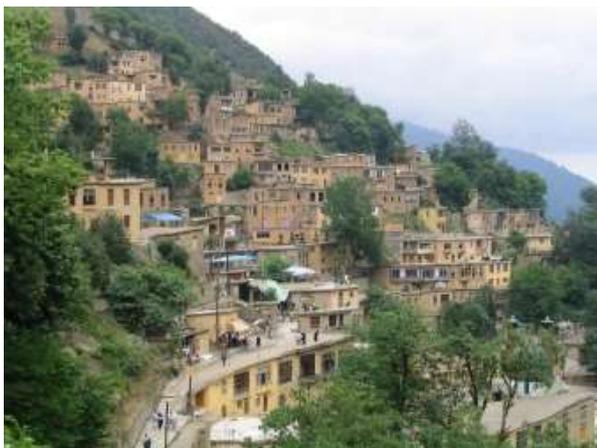


(1) vedi anche Le Mura di Poseidone, Bruno Carpani GlisNews 1-2005

Le pietre sono accostate a secco, senza alcuna malta o materiale legante, il meccanismo è tale che in realtà non si verifica scorrimento; o più esattamente vi è un piccolo scorrimento ed il ritorno alla loro posizione originale, dopo il terremoto. Infatti gli studi hanno evidenziato che le strutture ancora in piedi dopo tanti secoli, sono nella stessa posizione iniziale e questo non sarebbe possibile se vi fosse stato scorrimento, perché anche se si fossero mosse di 1 cm ogni forte terremoto, ora dovrebbero essere traslate di qualche decina di centimetri. Una delle ragioni di questo ottimo comportamento, potrebbe essere legata alla componente verticale del sisma, che non viene mai presa in seria considerazione.

Nel palazzo di Toprak-Kala in Uzbekistan (300 a.C.) è tutta la parte bassa delle murature ad essere più duttile, per la presenza di malta con argilla mista al cemento. Anche per il coevo Colosso di Rodi, la leggenda narra che poggiasse su strati di pelli di capra, evidentemente insufficienti a preservarlo dal crollo per un terremoto. Nel Colosseo a Roma (70 d.C.) lo strato fondale poggia su un livello di piccole pietre sovrapposto ad uno di pietre di dimensioni medie e poi lo strato d'argilla. Questa tecnica è stata seguita anche in epoca più recente. Si hanno riferimenti certi di un'applicazione a Kyoto, per il Sanjusangen-do (1160 d.C.), un tempio buddista contenente un famoso edificio costruito per ospitare mille statue. Nella civiltà Inca era nota l'importanza della regolarità geometrica e c'è chi sostiene che le mura in enormi blocchi di pietra con giunti molto precisi, poggiavano su uno strato isolante di sabbia e sassi, che permetteva alla struttura di assestarsi senza subire danni.

Nella parte nord dell'attuale Iran, a partire dal 4000 a.C., è sviluppata una buona pratica di costruzioni antisismiche. Nell'antica città di **Masoleeh**, composta da edifici di due o tre piani in muratura di adobe e fango, dove per la notevole pendenza del terreno, la copertura degli edifici costituisce la strada di quelli sovrastanti; le strutture sono intelaiate in legno controventate agli angoli e tamponate con adobe leggero. A **Lahijan** le fondazioni sono composte da un doppio strato incrociato di tronchi di legno che rotolano uno sull'altro.

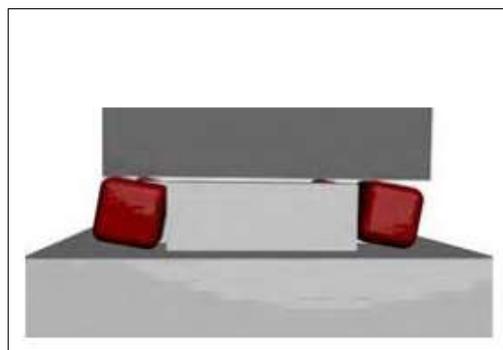


Importanti esempi di isolamento si trovano nel basamento della Kaaba al centro della Mecca, nelle colonne della casbha ad Algeri e nel grande Buddha a Kamadura (Giappone).



UN OBELISCO PARTICOLARE

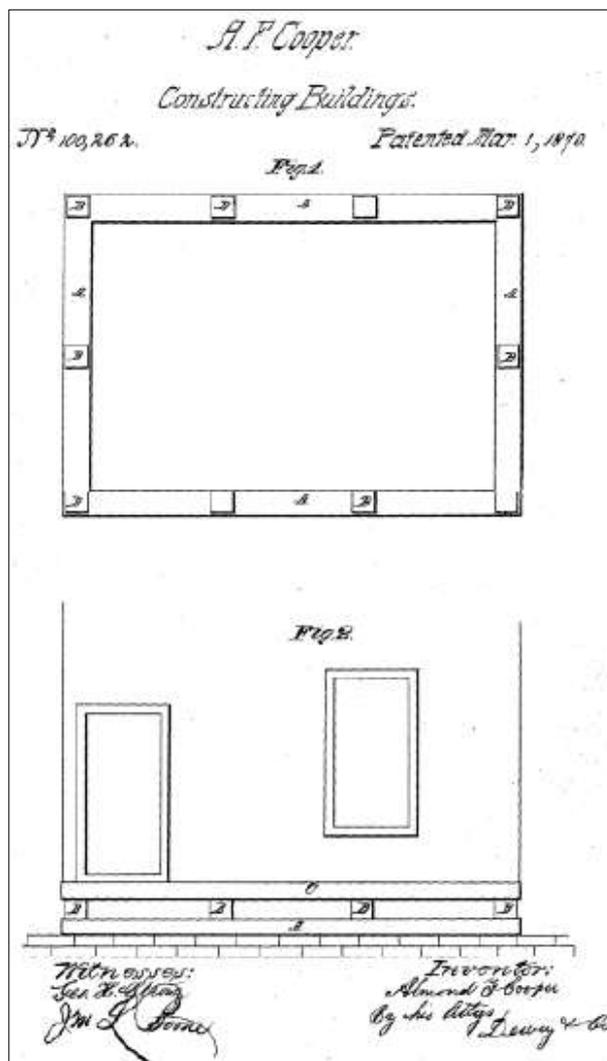
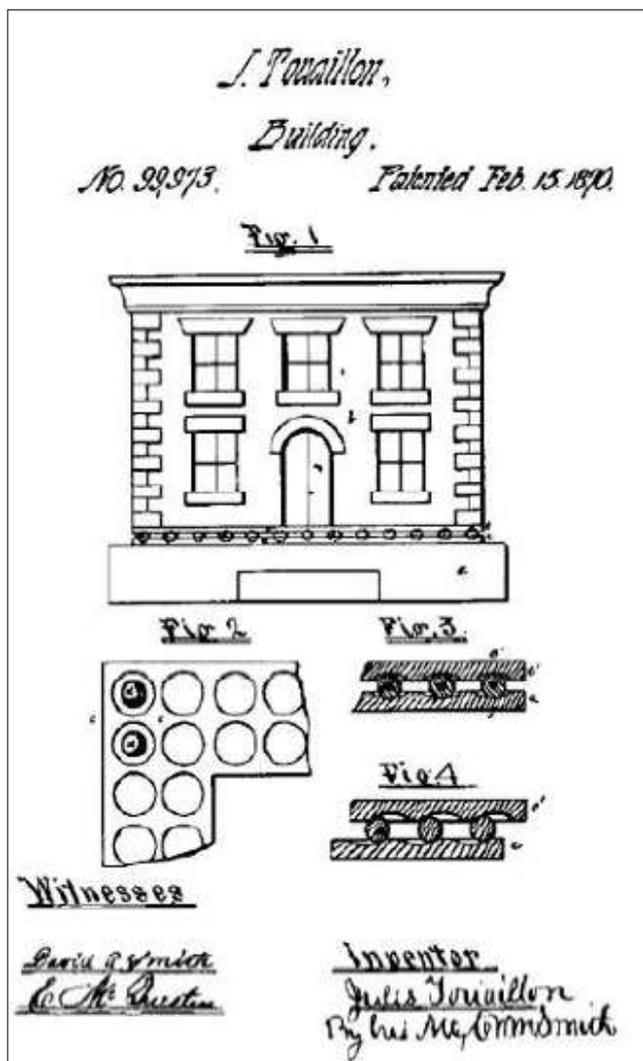
L'obelisco è in genere un'isolata, alta colonna di pietra, sottile con una piramide in sommità. All'ippodromo di Istanbul, in Turchia, l'obelisco **Dikilitash** presenta caratteristiche particolari: un blocco di pietra di 18,69 m di altezza, scolpito in Egitto nel 1450 a.C., portato ad Istanbul ed eretto nel 379-395 d.C. Realizzato su un orthostat in marmo, poggia su una base di marmo di 3x3x3 m attraverso 4 cubi (50x50 cm) di bronzo posti negli spigoli. È stato calcolato che può crollare per un terremoto con $M > 7.6$ e 5 km di distanza epicentrale.



DAL SECOLO SCORSO AI GIORNI NOSTRI

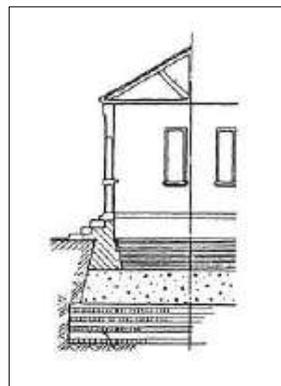
Il primo documento che certifica l'idea di progettare un edificio con un sistema che disaccoppia il moto della struttura dal suolo, risale al 15 febbraio 1870, ad opera del francese **Jules Touaillon**. Il suo sistema prevedeva l'uso di sfere portanti poste tra la base della sovrastruttura e la fondazione. US Patent in San Francisco nr. 338240, 1870.

Negli Stati Uniti, pochi giorni dopo, il 1° marzo 1870, **Almond F. Cooper** ha il brevetto US100262 per "Improved foundation for buildings" in cui prevede sotto alle murature dell'edificio e sopra il cordolo di fondazione, degli isolatori in gomma (India-rubber buffers).



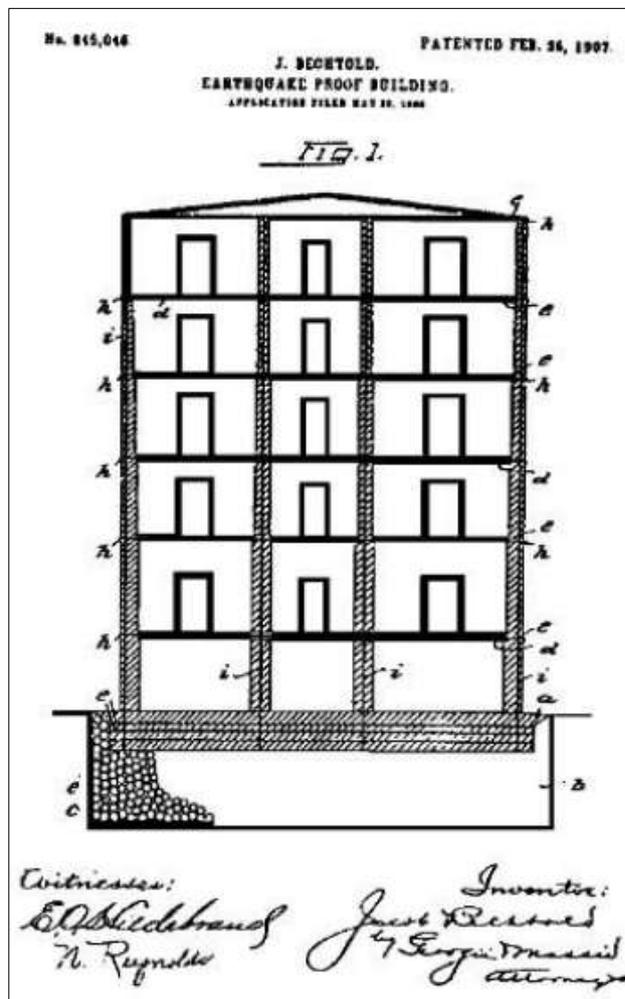
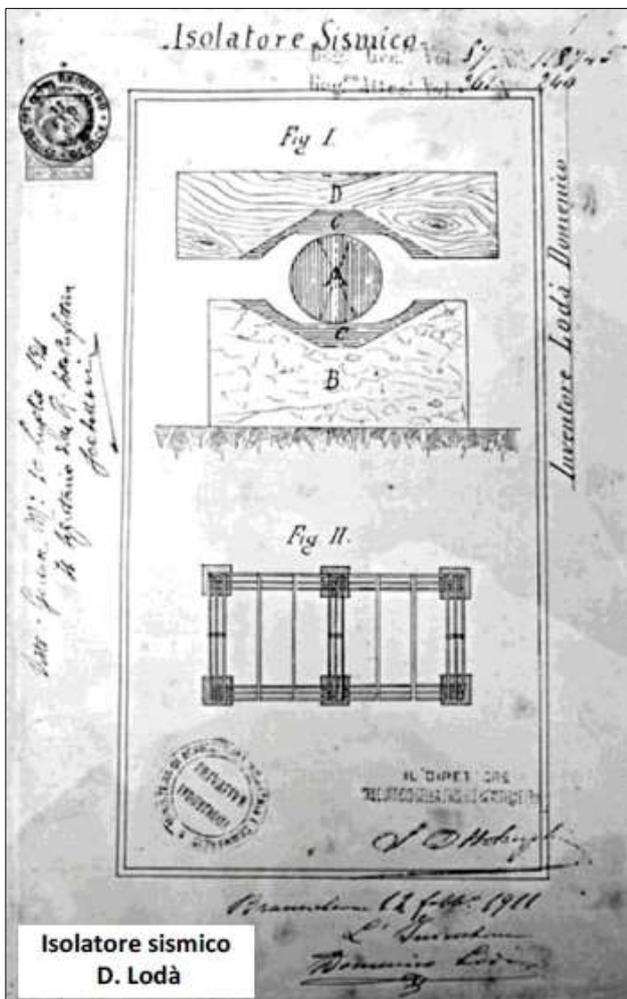
Pochi anni dopo, nel 1885, **John Milne**, uno scienziato britannico tra gli inventori della sismografia, che era professore di Ingegneria Mineraria presso l'Imperial College of Engineering a Tokyo dal 1875 al 1895, costruisce la sua casa in legno isolata alla base, fondata su pali sulle cui teste ha inserito delle piastre in ghisa con bordi, piene di palline metalliche.

Nel dicembre 1891, sul n. 60 del *Journal of Architecture and Building Science*, esce un contributo di **Kouzou Kawai** che illustra il principio dell'isolamento sismico. L'idea era simile a quelle poste in essere nell'antichità e consisteva nell'inserimento di strati alternati di calcestruzzo e tronchi di legno al di sotto della struttura (foto a lato).



Del 16 febbraio 1906, è il brevetto di **Jakob Bechtold**, che propone di realizzare una scatola piena di **sferette metalliche**, che facesse da "cuscino isolante" per la struttura.

Del 10 gennaio 1909 è il brevetto n. 100.443 per un sistema di Fondazioni asismiche, dell'Ing. Mario Viscardini della Ferrobeton di Genova presentato al concorso di Messina, molto simile a quello che brevetta nel 1911, lo studioso Domenico Lodà. Entrambi prevedono un sistema di appoggio per edifici che impediva la trasmissione dei movimenti sismici e che anticipa le soluzioni moderne degli isolatori a pendolo inverso (2)



Qualcosa di più dettagliato, con tanto di particolari costruttivi ed in cui vengono descritti anche i sistemi di collegamento tra struttura e reti, ingegnose connessioni per le reti di gas e fognatura, in modo da evitare danneggiamenti dovuti ai grandi spostamenti, si trova in un dispositivo di isolamento sismico che è stato depositato nel 1909 da **J.A. Calantarients**, un medico di Scarborough, nel nord dell'Inghilterra.

La sua proposta prevede il disaccoppiamento tra terreno ed edificio, attraverso l'uso di uno strato di sabbia fine, mica o talco che permette all'edificio di scivolare durante i terremoti trasmettendo alla costruzione forze ridotte.

(2) È solo nel 2001, infatti, che Hyakuda et Alii sperimentarono il sistema, noto come Doppio Pendolo Concavo ad Attrito (Double Concave Friction Pendulum – DCFP).

JOHANNES AVETICIAN CALANTARIENTS SPIEGA IL FUNZIONAMENTO DELLA SUA INVENZIONE

Sistema di costruzione di edifici e pertinenze per resistere all'azione dei terremoti

Dal momento che il sistema che propongo può sembrare una novità piuttosto sorprendente, in mancanza di un esperimento al vero, su di un edificio dotato di questo sistema e quindi in grado di provarne l'efficienza, voglio suggerire un piccolo esperimento che ne illustra il modus operandi, e che può essere eseguito comodamente senza lasciare il tavolo della colazione.

Prendete due piatti piani e due tazze da uovo. Spalmate un poco di una sostanza appiccicosa, come del miele o della marmellata, sul fondo di una delle sue tazze e poi posatela fermamente nel mezzo di uno dei due piatti. La marmellata rappresenta la malta che lega la tazza – la superstruttura - al piatto – la fondazione del fabbricato, tipica del modo odierno di costruire. Ora prendete il piatti con entrambe le mani e scossatelo il più rapidamente possibile, da lato a lato, di qualche pollice, come sotto l'azione di un terremoto. Vedrete la tazza – il fabbricato – rovesciarsi subito. Ora mettete l'altra tazza nel mezzo dell'altro piatto, dove avete messo un poco di sale cosparso sopra, a rappresentare il mio sistema di costruzione con un giunto libero, senza alcun materiale di collegamento. Scassatelo come nel caso precedente, e vedrete la tazza – il fabbricato che prima crollava, ora semplicemente scivola da lato a lato, o almeno così sembra, perché in realtà è il piatto – la fondazione, che scorre da lato a lato, mentre la tazza – il fabbricato, rimane praticamente dov'era.

Il giunto libero significa che la terra non è in contatto con il fabbricato, che per resistere alla scossa non ha quindi bisogno di essere rinforzato, il che significa più costoso, più del necessario a sopportare la propria inerzia.

Il grado di severità di un terremoto perde il suo significato in un contesto come questo, perché più rapide sono le vibrazioni e meno probabile è che vengano trasmesse alla superstruttura. Questo può essere spiegato bene con un esperimento con un bicchiere di vino posato su di un foglio posato sul piano, reso scivoloso, di un tavolo. Più rapidamente si tira via il foglio e meno il vino nel bicchiere si muove.

Relativamente al costo del materiale per la zona di scorrimento, io ho potuto calcolarlo dal prezzario del vicino spaccio, ed è molto poco, tanto più se comparato al costo dell'edificio.

Se il piano è ottenuto con una corda di asbesto (a sezione tonda o quadrata di un pollice) lungo ogni lato del muro e lo spazio interno riempito con gesso di Francia o polvere di caolino, per un fabbricato di 50 piedi per 50 piedi (232 mq), avente 300 piedi di superficie dei muri, larghi un piede (30,48 cm), il costo è circa 16£ e 20£ se lo spessore è due piedi.

Oppure se la zona di scorrimento è formata da una lastra d'amianto, dello spessore di ¼", posta sotto l'intera larghezza del muro, spolverato con la polvere su entrambi i suoi lati, il costo per lo stesso fabbricato è di circa 12£.

O se si desidera avere un giunto libero senza strato di lubrificante, si può prevedere di fare la base della sovrastruttura di un tipo di pietra capace di essere polverizzato per attrito, così che nel corso del tempo possa fornire la polvere proprio come lubrificante, quando la polvere messa lì durante la costruzione si esaurisce con lo spostamento.

E così ne descrive i vantaggi degli edifici costruiti o protetti dal suo sistema

Tra i molti vantaggi rivendicati per questo sistema, se ne indicano i seguenti:

- 1) il costo della struttura progettata e realizzata in conformità con questo sistema è sensibilmente inferiore a quello di un edificio costruito per resistere all'azione di terremoti;*
- 2) dopo un sisma ci saranno meno richieste di riparazione o manutenzione delle strutture costruite su questo sistema;*
- 3) il sistema ha una durabilità equivalente a quella della costruzione, che non viene accorciata da un terremoto, perché il sistema offre la necessaria protezione;*
- 4) oltre all'edificio sono protetti anche i vetri, stoviglie, statue, ed altri beni mobili, o opere d'arte presenti al suo interno;*
- 5) ci sarà un notevole risparmio nei pagamenti annuali per l'assicurazione, in quanto essendovi meno rischi, le compagnie assicureranno ad un minor costo. le strutture progettate e costruite con questo sistema;*
- 6) ci sarà una maggiore sensazione di sicurezza personale da parte degli occupanti degli edifici costruiti o su cui sarà installato questo sistema, rispetto a quanto avviene per le costruzioni esistenti non in grado di resistere al terremoto;*
- 7) in caso di terremoto, ci sarà una sicurezza personale contro il rischio di essere sepolti nelle rovine dal collasso improvviso dell'edificio, o di essere bruciati a morte dal successivo incendio;*
- 8) nessun rischio di incendio, o di interruzione della fornitura di gas o di acqua conseguenti ai terremoti, ed in generale una maggiore sensazione di sicurezza in relazione a tutto quando accade negli edifici, a seguito dei di terremoti.*

JOHANNES AVETICIAN CALANTARIENTS

J. A. Canaltarients nasce nel 1838 in Armenia. Dopo gli studi primari ad Istanbul, si trasferisce in Inghilterra, dove studia prima al Collegio Teologico St. Aidan a Birkenhead e poi presso l'University College di Londra ed a Edimburgo, dove si laurea in Medicina.

Personaggio eclettico, svolse l'attività di medico presso l'Hospital and Dispensary di Scarborough (proprio il luogo della canzone Scarborough Fair, resa famosa da Simon & Garfunkel) e d'inventore. Del 1869 è l'invenzione di un barometro portatile, certificato da prove presso l'osservatorio astronomico di Kew. Mercoledì 29 luglio 1880, *The Argus*, giornale di Melbourne, riporta la seguente notizia :

Una nuova superficie per il pattinaggio chiamato "crystal-ice" è stata inventata dal dr. Calantarients, di Scarborough. Considerando che dopo tutto ghiaccio è semplicemente una sostanza cristallina, e che non vi è una mancanza di sostanza che sono cristalline a temperature ordinarie, il dr. Calantarients ha sperimentato con una varietà di sali, e dopo un poco di tempo è riuscito a fare una miscela, costituita prevalentemente di carbonato e solfato di sodio, che una volta stabilito un piano per il pavimento può farlo diventare utilizzabile con i normali pattini da ghiaccio, la resistenza della superficie è proprio uguale a quella del ghiaccio, e sembra come il ghiaccio, e, anzi dopo averci pattinato un poco l'inganno è abbastanza sorprendente. La superficie può in qualsiasi momento essere levigata nuovamente al vapore con un apparato idoneo allo scopo, ed il pavimento stesso una volta risistemato durerà per molti anni. La miscela di sali utilizzati contiene circa il 60 per cento di acqua di cristallizzazione, e quindi, dopo tutto, il pavimento è costituito essenzialmente di acqua solidificata.

Nel 1895 è Vicepresidente dell'Anglo-Armenian Association con sede a Londra. Il 10 ottobre 1903 The Lancet, pubblica un suo articolo sulla prevenzione del letame dei cavalli dalle strade (3)

Nel 1908 scrive su The British Medical Journal un articolo in relazione alla diffusa contrarietà alla vaccinazione. Segnala e pone all'attenzione dei medici un fenomeno, che ritiene si stia ripresentando di nuovo e da lui riscontrato quand'era in servizio all'Ospedale di Scarborough nel 1871 quando scoppiò una epidemia di vaiolo. Dei numerosi casi da lui esaminati molti riguardavano bambini vaccinati. Meravigliandosi di questo prese ad intervistare le madri, le quali confermavano l'avvenuta vaccinazione. Volle vedere il braccio dei bambini e si accorse che la vaccinazione non aveva attaccato. Le mamme infatti, contrarie alla vaccinazione obbligatoria, una volta eseguita correvano a casa subito e lavavano la ferita della vaccinazione, rendendola inefficace.

Nel 1909 l'invenzione del sistema di isolamento alla base per le costruzioni. (Brevetto italiano n.101.901 del 26 aprile 1909). Una lettera che scrive il 27 agosto 1909 al conte Fernand de Montessus de Ballore, direttore del Servizio Sismologico de Chile, per annunciargli la sua invenzione dell'isolamento sismico alla base, già sottoposta all'esame del Prof. Georg. Gerland, Direttore dell'ufficio centrale di Strasburgo della International Association of Sismology, ci fa pensare che J. A. Calantarients non fosse un fantasioso inventore improvvisato.

27th Aug. 1909.
P. Mina Square,
Scarbro
England

J.A. Calantarients, M.D.

Dear Sir

Under separate cover I send you the description, with 2 sheets of illustrations drawings, & some explanatory notes, on a system I have devised for building constructions resistant to the destructive action of earthquakes.

I have been induced to apply to you by the advice of Prof. G. Gerland, Director of the Central Bureau of the International Sismological Association of Strasbourg.

As a great authority on the subject of earthquakes, I beg you to allow the favour of examining my system & giving your opinion on it.

As you will see my main idea is that if the superstructure is separated from the foundation by a firm & lubricated joint, the vibrating earth will have no solid rigid connexion with which to shake the superstructure, which, therefore, ^{will} only slide upon it.

As to any objection on the score of slide, since the amplitude of vibrations is very limited, ample room may be provided for it on the surface of the foundation.

I believe, therefore, every substantial building can be put up in earthquake countries on this principle, with perfect safety, since the degree of security of an earthquake loses its significance through the existence of the lubricated free joint.

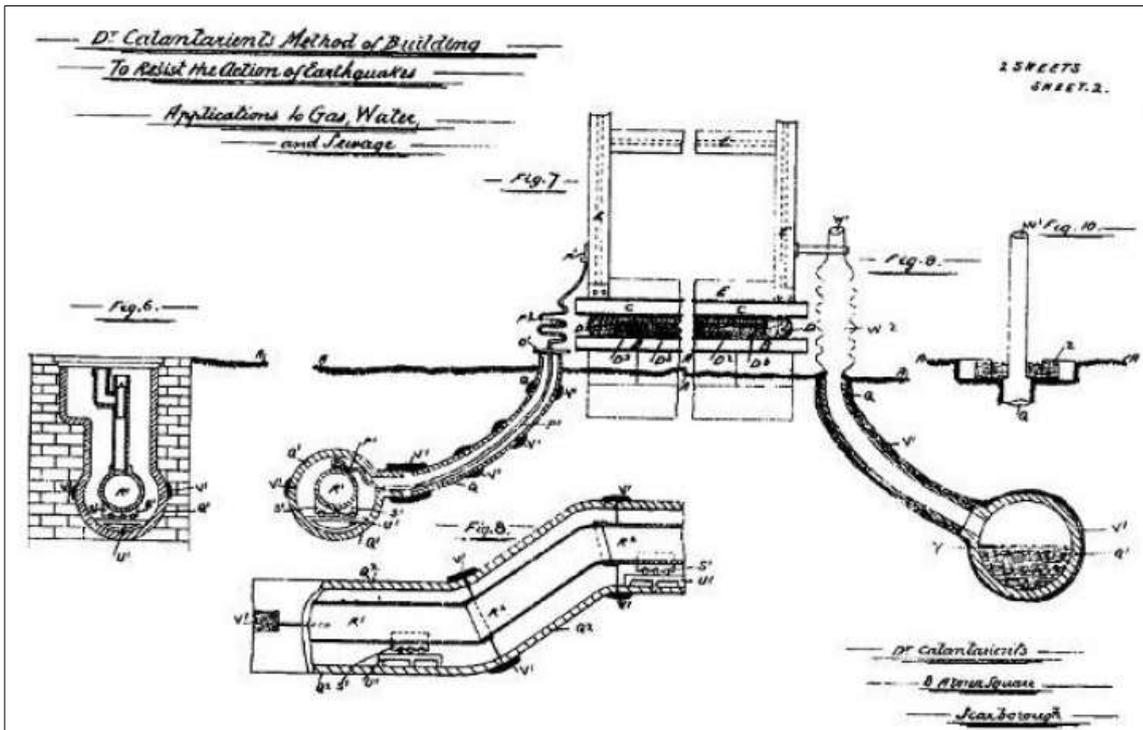
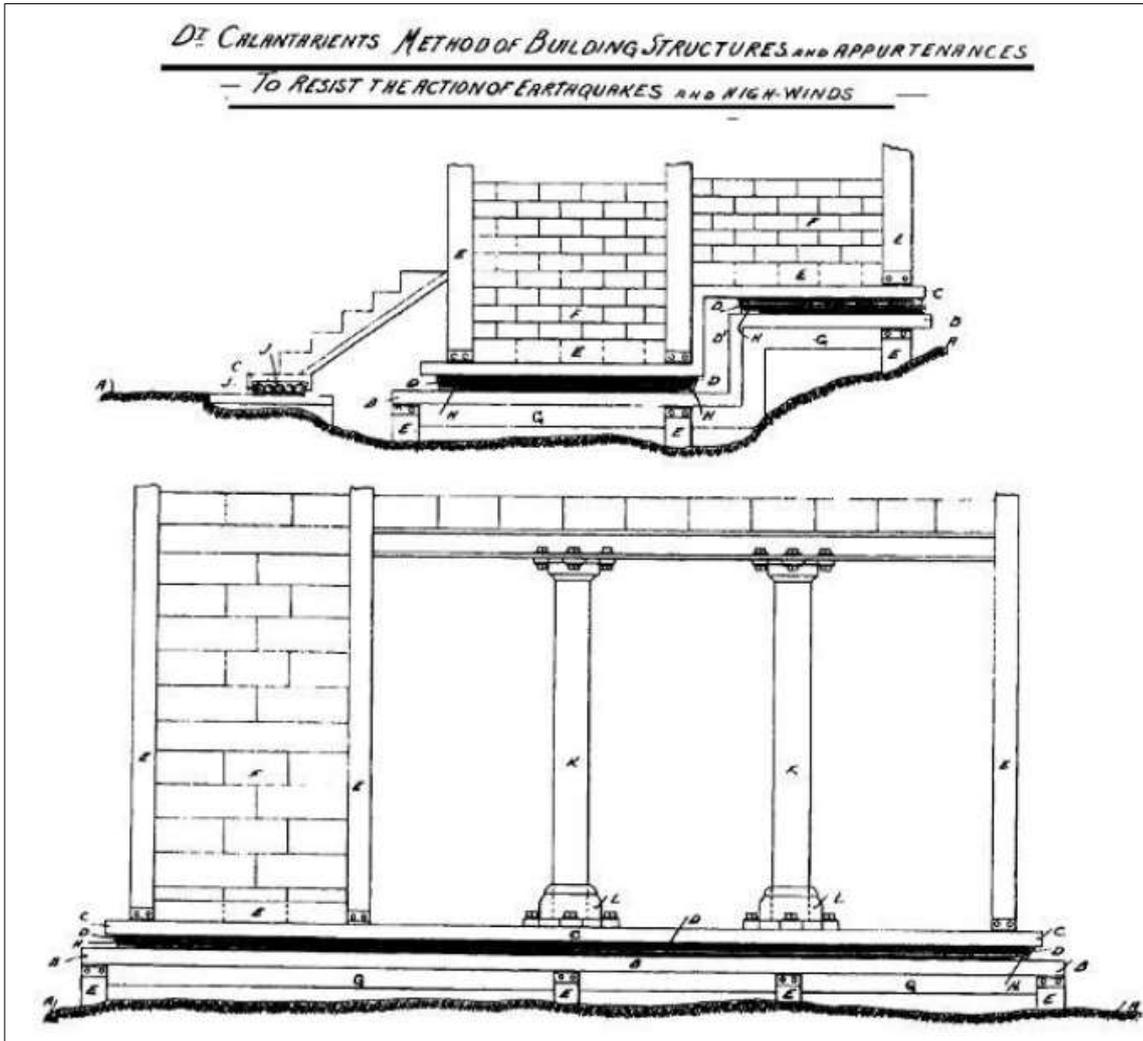
I made the experiment with balls many years before it was done in Japan, or at all events before any account of it appeared in the papers about 25 years ago -

Yours faithfully
J.A. Calantarients M.D.

Comte Montessus de Ballore
Director del Servicio Sismologico de Chile
Avenida Republica - 802
Santiago de Chile
Chile -

Sul "The Straits Times" di Singapore del 14 dicembre 1910 si legge la notizia della sua invenzione di uno pneumatico per autoveicoli.

(3) The prevention of horse-dung in the streets. The Lancet Volume 162, Issue 4180, 10 October 1903, Pages 1050-1051, J.A. Calantarients, M. U. Edin.



All'inizio del secolo scorso, dopo i forti terremoti di San Francisco (1906) e Messina (1908) vi furono molte proposte di tecnologie costruttive antisismiche, tra le quali anche quella di Calantarients. Poi anche il terremoto di Tokyo (1923) stimolò la ricerca di soluzioni in grado di proteggersi da questa immane sciagura.

Tra le numerose proposte si segnala quella fatta dal russo M. Visckordini, nel 1925, con pilastri incernierati nella parte sotterranea dell'edificio, che troverà continuazione nel futuro del suo paese (4).

L'ESPERIENZA DEL TERREMOTO DI MESSINA

Dopo il terremoto di Messina-Reggio Calabria del 28 dicembre 1908, con oltre 100.000 morti e la distruzione della maggioranza delle abitazioni in muratura, tutto il mondo è sconvolto dalla tragedia. Una speciale commissione fu costituita per suggerire le modalità della ricostruzione, mentre numerose iniziative private venivano messe in campo. Tra queste un concorso internazionale, bandito nella primavera del 1909 dalla Società Cooperativa Lombarda di Opere Pubbliche ed uno in ottobre, dal Collegio Toscano degli Ingegneri ed Architetti, entrambi vinti da Arturo Danusso (5).

Al concorso internazionale di Milano, volto ad individuare il sistema costruttivo più adatto per la ricostruzione, trova conferma l'interesse verso la tecnica dell'isolamento sismico: 43 concorrenti sul totale di 214 presentano infatti proposte in tal senso.

La relazione finale della giuria, rigettava alcune proposte definite poco serie o pazzesche, come quella in cui la casa veniva sospesa ad enormi fili tesi tra due bastioni (6), scartava le proposte di isolamento alla base, per le difficoltà pratiche di esecuzione e di manutenzione e durata, mentre riteneva necessarie di ulteriori sperimentazioni le proposte di banchi di sabbia o materiale detritico da interporre tra la fondazione ed il terreno di base, e riconosce unanimemente come meritevoli di approvazioni le proposte che prevedevano fondazioni armate e di dimensioni tali da abbassare il baricentro dell'intero edificio, intimamente legate alle sovrastrutture, sia che esse fossero intelaiature di cemento armato, che di legno o ferro. Apprezzamento era dimostrato anche per quei progetti che avevano approfondito gli aspetti della resistenza connessi alla forma e distribuzione planimetrica dei manufatti.

Il concorso fu vinto da Arturo Danusso, che aveva presentato una memoria sulla dinamica delle strutture in cui introduce concetti innovativi che saranno poi alla base dell'ingegneria sismica, ed un progetto di edificio intelaiato in cemento armato a base fissa su fondazione a travi rovesce, collegate a formare un reticolo chiuso.

Anni dopo, ricordando quel tempo, scriverà (7): "Uscendo, mi incuriosì un minuscolo modello di casetta cubica, leggiadramente agghindata ai balconcini e alle finestre, e poggiata sui quattro angoli su mollette di ottone a spirale. Un foglietto a fianco notava candidamente: *“la notizia del disastro mi ha provocato un forte dolore regionale e nazionale. Sono un orologiaio, ho pratica di molle, e penso che possano farvi servizio. Date, per favore, un colpetto col dito: vedrete la casa oscillare tranquillamente e poi fermarsi senza danno. Il terremoto farà lo stesso effetto. Non premiatemi, ma pensate e provvedete.”*

La commissione, nelle sue conclusioni, ritiene che due siano gli approcci possibili per una edilizia antisismica: il primo è quello che prevede di isolare il fabbricato dal terreno per mezzo dell'interposizione di un letto di sabbia al di sotto delle fondazioni, oppure attraverso l'uso di rulli sotto le colonne che permettano all'edificio di muoversi orizzontalmente. Il secondo approccio è quello tradizionale a base fissa ma con limitazioni nelle altezze realizzabile e nell'imposizione della verifica alle azioni sismiche orizzontali, attraverso una forza laterale assegnata di progetto. Tra i due viene raccomandato il secondo. La Commissione Reale per le Norme Tecniche di costruzione, conclude il suo lavoro con il Regio Decreto 1.080 del 6 settembre 1912, che pur con importanti novità, si limita a fornire divieti e prescrizioni costruttive.

Nel frattempo sulla scena entra anche **Frank Lloyd Wright** con l'Imperial Hotel di Tokio .

L'IMPERIAL HOTEL DI TOKIO

Alle 11:58 dell'1 settembre 1923 una fortissima scossa di magnitudo 7.9, di quello che sarà poi ricordato come il grande terremoto di Kanto, distrusse quasi completamente la città di Tokyo, uccidendo più di 140.000 persone, con un numero enorme di sfollati. Poco dopo a Frank Lloyd Wright (FLW) arrivò un telegramma da Tokyo, inviato dal barone Kihachiro Okura, proprietario dell'Imperial Hotel (IH):

L'hotel non è danneggiato come monumento al tuo genio. Migliaia di senzatetto sono perfettamente assistiti al suo interno. Congratulazioni. Okura.

A questo fece seguito il giorno 8 settembre un altro telegramma, questa volta del suo assistente ai lavori di costruzione dell'hotel:

La prima scossa è stata sufficiente a sdraiare molti edifici, e... la seconda ha facilmente livellato quelle che erano rimaste in piedi. Il fuoco usciva da ogni rudere di casa e coloro che sono sopravvissuti ai crolli e che fuggivano verso gli spazi aperti, sono stati uccisi dal fumo e dall'aria infuocata, bruciati a migliaia.

(4) vedi scheda sulla Federazione Russa

(5) Vedi Arturo Danusso e l'onere delle prove, in www.giovannardierontini.it

(6) Brev. 100231 di Bertelli Enrico Bibbiena (Ar)

(7) Arturo Danusso, Nel cinquantenario del terremoto di Messina, il cemento, 57 1960

Tutti gli edifici in acciaio sono stati fatali e questo basta per dimostrare quanto i nostri architetti sono stati sciocchi. Che gloria è vedere l'Imperiale dritto tra le ceneri di una città intera. Gloria a te. Cordialmente Arata Endo.

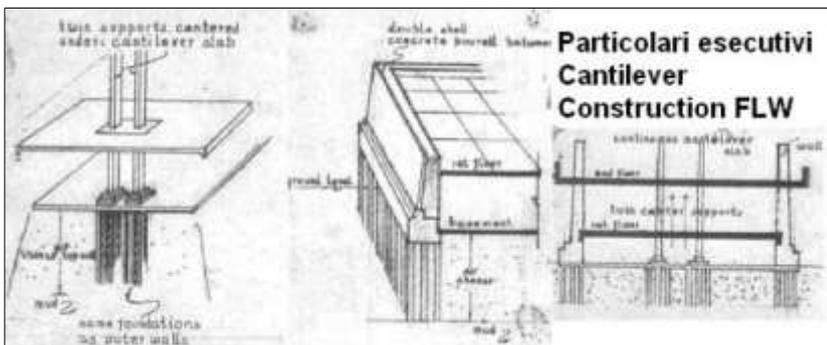
Il 26 settembre FLW scrive al collega Luis Sullivan:

... quello che ha salvato l'Imperial è stato il principio di flessibilità, fondazioni flessibili, giunzioni flessibili, tubazioni e cablaggi flessibili, solai flessibili a sbalzo sui supporti che passano sopra i muri esterni diventando balconi ed una esagerazione di tutti i membri verticali di supporto, tenendo il baricentro il più basso possibile.

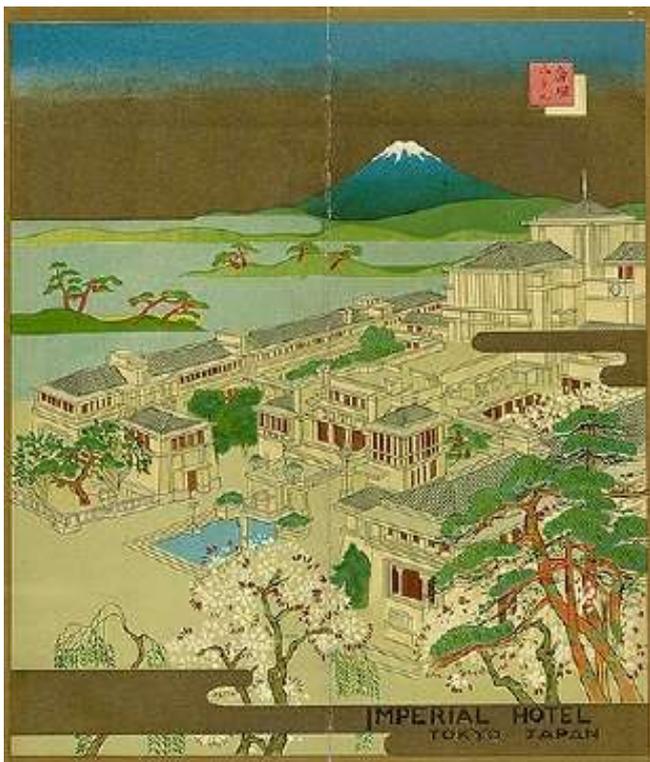
FLW affascinato dalla cultura giapponese e fermamente contrario alla occidentalizzazione allora agli inizi, costruisce, o meglio ricostruisce, l'Imperial Hotel in una zona di terreno pessimo: uno strato di terreno compatto spesso 2,4 m, su di uno strato di fango molle di circa 20 m. Il progetto è un edificio basso, esteso e suddiviso in più corpi scatolari pensati quasi "galleggianti" sul fango, che FLW descrive poi come un vassoio portato da un cameriere sulle dita. Il giudizio su questa enunciazione ancora oggi è controverso perché tra i motivi che portarono nel 1968 alla demolizione e ricostruzione dell'IH vi è anche il cattivo comportamento del sistema fondale.

Dopo il terremoto, Wright passando il telegramma ai giornalisti ha contribuito a creare una leggenda che vuole l'Imperial Hotel illeso dal terremoto. In realtà questo non era vero perché vi furono danni, seppure lievi, tanto che la compagnia assicurativa lo classificò 2 nella scala fino a 5, quando vi furono anche grandi edifici classificati 1 e quindi realmente illesi.

Questo non toglie il merito a FLW di aver progettato e realizzato uno splendido edificio con molti accorgimenti all'avanguardia come il riscaldamento radiante, la ventilazione forzata e l'illuminazione indiretta e con numerose buone idee anche in ambito di prevenzione sismica. L'Imperial Hotel rimane un raro esempio di un progetto in cui vi è un tentativo approfondito di integrare architettura ed ingegneria in una strategia di progettazione antisismica comprensibile.



Oltre a quanto già descritto sulla divisione con giunti ed il basso baricentro dei pesi ed alla soluzione per le fondazioni, a cui qualcuno attribuisce una funzione di isolamento alla base mentre altri, al contrario, ne evidenziano la possibile amplificazione sismica, vogliamo qui ricordare un fatto secondario, ma significativo. Durante i lavori qualcuno fece presente al barone Okura che eliminare la piscina avrebbe fatto risparmiare una cifra consistente (40.000 yen?).



“Il barone sollecitato dall'idea mi mandò a chiamare. Aveva già preso la decisione. Nessun mio argomento faceva effetto. Allora gli ho detto per mezzo degli interpreti che quella era l'ultima risorsa contro il terremoto. In caso di disastro, l'acquedotto della città non avrebbe più funzionato, e la grande quantità di legno dell'edificio e dei fabbricati vicini lungo le strade laterali avrebbero rischiato di prendere fuoco, come era già avvenuto in precedenti terremoti a Tokyo. Non importa. La piscina non si deve fare. No, gli ho detto che era sbagliato non farla, e che questa interferenza mi liberava dal mio contratto e che sarei rientrato a casa, senza ulteriori ritardi. Ed ho lasciato il suo ufficio. Ma non ha lasciato Tokyo e la piscina è stata fatta ed ha fatto la sua parte nel grande dramma della distruzione che seguì due anni dopo.”

Nell'aprile 1947 FLW chiede al generale Douglas McArthur del quartiere generale di Tokio, di poter aiutare due suoi amici giapponesi: Arata Endo, già suo assistente nella costruzione dell'IH e Aisaku Hayashi direttore dell'albergo a quel tempo, mandandogli denaro ed offrendogli la sua ospitalità ad accoglierli a casa sua. *Mi sento in debito con loro per la loro immensa fedeltà. E, generale, potrò così lodare la sua umanità verso i vinti. Si tratta di un punto luminoso in un quadro buio. Cordiali saluti. Frank Lloyd Wright*
Architect Taliesin: Spring Green, Wisconsin

E tra gli inventori dell'isolamento sismico troviamo anche una donna: Amelia Anne Porter di Lancaster (Inghilterra) che nel 1926 propone e brevetta un sistema per "Foundation for earthquakeproof buildings" composto da appoggi su sfere e smorzatori a molla.

Ma nonostante il fiorire di proposte, le soluzioni presentate non si diffondevano perché erano difficili da realizzare in pratica, ancora non complete e funzionali, inoltre anche perché teoricamente il metodo statico equivalente, utilizzato per definire i carichi sismici sulla costruzione, non permetteva di valutarne gli effetti.

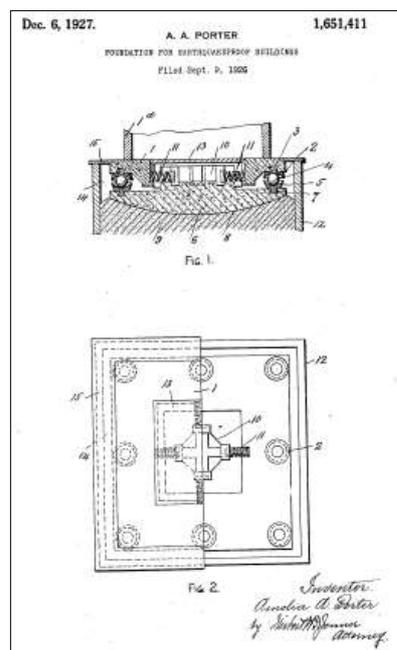
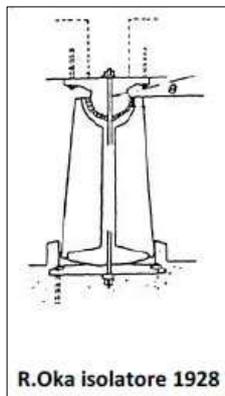
SOFT FIRST STORY

Ad inizio degli Anni '30 del secolo scorso, si diffonde l'idea di un possibile miglioramento delle prestazioni sismiche attraverso una maggiore flessibilità del piano terra (o di cantina), basata sulla considerazione che in tutti i tipi di terremoti la reazione sismica degli edifici con una disposizione strutturale flessibile, portava a risultati migliori di edifici con la struttura rigida. L'idea divenne molto popolare nel mondo, anche perché non richiedeva misure speciali diverse dai metodi di costruzione tradizionali.

Nel 1929 R. R. Martel pubblica (8) un articolo intitolato: "The effect of earthquake on buildings with a flexible first story" dove propone il cosiddetto "Primo Piano Soffice", che consisteva nell'introduzione di colonne flessibili al primo piano atte ad allungare il periodo naturale della struttura.

Successivi sviluppi si hanno con i lavori di Green (1935) ed Jacobsen (1938), che introducono il "The Soft first Story Method" con il concetto di *assorbimento dell'energia mediante plasticizzazioni*.

L'ospedale **Olive View** di Los Angeles, costruito applicando questo concetto, rovinò clamorosamente poco dopo la costruzione, durante il terremoto di San Fernando del 1971 (M 6.6), subendo proprio il meccanismo di piano soffice, che doveva essere invece la risorsa protettiva della struttura. Mancava all'epoca la conoscenza del comportamento dei "nodi" e delle tecniche di progettazione di dettaglio (foto in basso).



Alcuni studioso sostengono che il primo edificio costruito al mondo (9) con un sistema di isolamento alla base siano addirittura due, entrambi per la Fudo Bank ad Himeji e Shimonoseki (JP), su progetto di R. Oka del 1928, completati nel 1934 (immagine a lato).

A Volos, in Grecia, nel 1955, l'Ing. Leon Tsolakis costruisce una piccola casa sperimentale con isolamento basato su dispositivi inventati da Pan. Keramida.

La prima applicazione di isolamento sismico nell'allora URSS è un edificio costruito a Ashkhabad (Asia centrale) nel 1959. Un fabbricato di 4 piani in acciaio a pendolo sospeso, progettato dall'Ing. F. D. Zelenkov. Una volta costruito si manifestarono grossi spostamenti, anche per terremoti di modesta intensità, con gli abitanti dell'edificio che correvano in strada, mentre negli altri vecchi edifici non era successo niente.

Nel seguito alcune applicazioni, pur con tecnologie ancora rudimentali, vengono realizzate in Unione Sovietica intorno al 1960, ma è solo nel 1969 che si assiste alla prima, pionieristica, applicazione di isolamento sismico, con la scuola elementare "Johan Heinrich Pestalozzi" nella città di Skopje in Macedonia devastata da un forte terremoto il 26 luglio 1963. Donata dal governo Svizzero, il progetto generale è dell'Arch. Alfred Roth e quello delle strutture antisismiche ad opera di un gruppo di ingegneri di Zurigo, Konrad Staudacher, C. Hubacher e R. Siegenthal, che ne descriveranno il principio nell'articolo "Erdbebensicherung im Bauen" (costruzioni antisismiche) sul Neue Zürcher Zeitung, Technikbeilage, Feb 9, 1970. e denominati "Swiss Full Base Isolation 3D (FBI-3D)".

(8) Bulletin of the Seismological Society of America July, Vol. 19

(9) Base isolation and passive seismic response control, Masanori Izumi, 9 WCEE 1988, Tokio

LA SCUOLA PESTALOZZI A SKOPJE

Il 26 luglio 1963 Skopje ha subito un terremoto di proporzioni disastrose (IX MCS) in cui 1.070 persone sono morte e più di 3.300 i feriti, con oltre l'80% delle abitazioni distrutte o danneggiate in modo irreparabile. Danni enormi alle infrastrutture, scuole, ospedali, con un danno stimato a 800 milioni di dollari. Al terremoto fece seguito una intelligente opera di ricostruzione sulla base di un piano generale elaborato da Kenzo Tange. La città è cresciuta in dimensioni, numero di abitanti e qualità della vita.

Tra gli aiuti, il governo svizzero donò un complesso scolastico, intitolato al famoso educatore "Johann Heinrich Pestalozzi", incaricando del progetto l'Architetto svizzero Alfred Roth (1903-1998), allievo di Karl Moser e di Le Corbusier e con una notevole esperienza nella progettazione di scuole. Nel 1965 fu firmato il contratto, nel 1967 avviati i lavori di costruzione, terminati nel 1969 con l'apertura ufficiale della scuola.

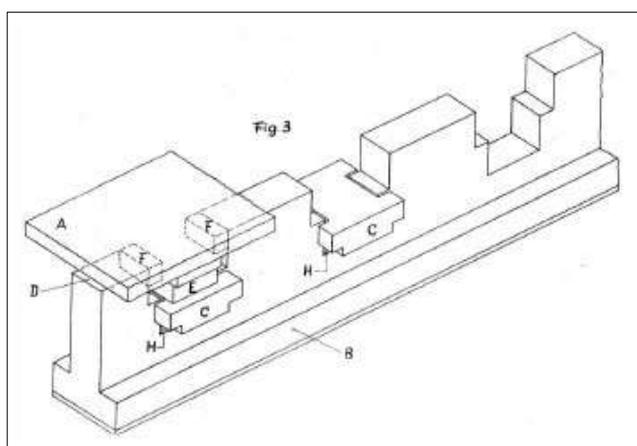
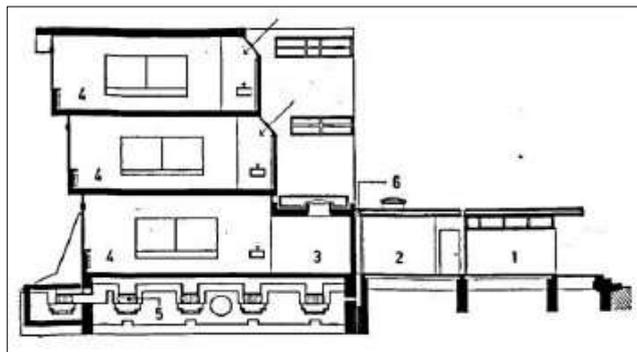
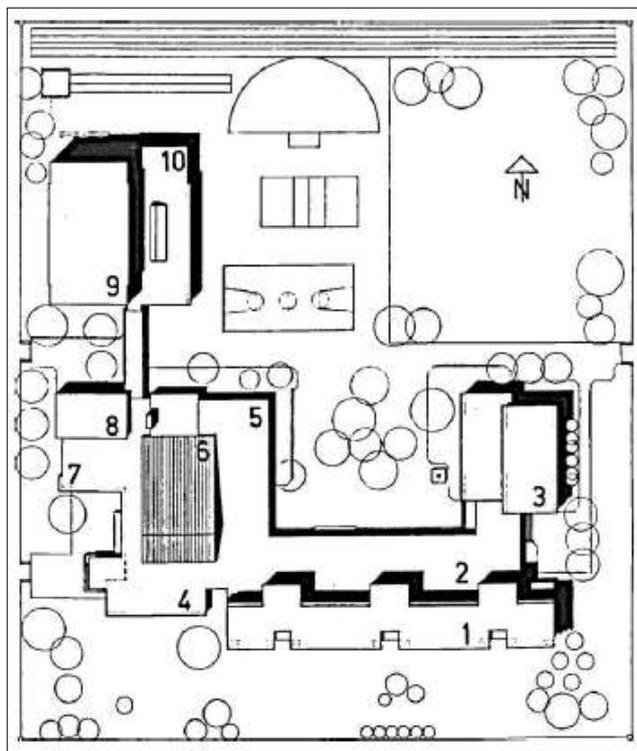
Il campus è composto dall'edificio per le 18 aule (1) 11,0 x 61,5 m, alto 10 m l'unico isolato alla base, i laboratori (3), l'aula magna (6) la palestra (9,10) e l'abitazione del custode (8), collegati da atri e corridoi (2,4,5,7) in una ampio spazio pieno di verde.

Per l'edificio delle aule furono coinvolti gli Ingegneri svizzeri Carl Hubacher, Emil Staudacher e Robert Siegenthaler, che da tempo studiavano attorno all'isolamento alla base e che con l'occasione brevettarono il loro sistema denominato "Abstützung von bauwerken zum schutz derselben bei Erschütterungen ihrer Fundamente". Strutture di sostegno per la protezione degli edifici dallo shock alle sue fondamenta. Brevetto Svizzero n. 450.675 del 30 aprile 1968, presentato il 20 gennaio 1966 ed a seguire: Brevetto USA 3510999 del 12 maggio 1970 Brevetto Austria 282287 del 10 luglio 1970

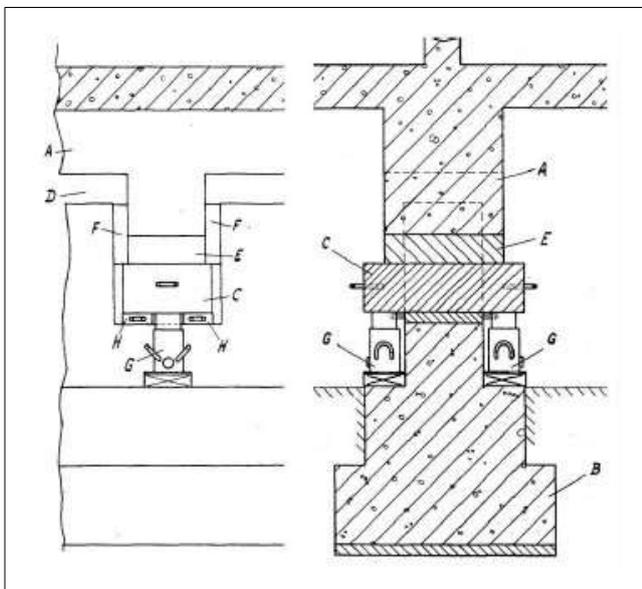
L'edificio delle aule della scuola Pestalozzi ha un reticolo di fondazioni a trave rovescia, su cui furono posati isolatori in gomma a basso smorzamento di 70x70 cm e 35 cm di altezza, prodotti dalla ditta Huber-Suhner di Zurigo.

Il sistema comporta una conformazione a scalini del contatto tra edificio (A) e fondazione (B) ed in cui sono stati posti i cuscinetti elastici (E), composti da una mistura di gomma naturale. Elementi sacrificali (F) in calcestruzzo cellulare, garantiscono la stabilità al vento ed ai sismi modesti.

La trave d'appoggio (C) e gli spessori (H), consentono le operazioni di sostituzione dei cuscinetti, attraverso l'impiego di martinetti idraulici (G).



Gli isolatori, composti dalla sovrapposizione di fogli di gomma spessi 7 cm, non armati, avevano una rigidità verticale, paragonabile a quella orizzontale e questo comportava una elevata deformabilità della struttura anche in senso verticale, tanto che vi fu la necessità di inserire vincoli aggiuntivi per stabilizzare l'edificio nei confronti del vento. Nel 2007 tutti gli isolatori sono stati sostituiti da isolatori moderni tipo HDRB (*Hight Damping Rubber Bearing*)



Nel 1972 il Prof. Aristarchos Ikonou, dell'Università di Patras in Grecia, costruisce ad Atene un alto edificio per uffici con l'isolamento alla base, attraverso l'impiego del sistema Alexisimon, da lui inventato e brevettato (10).

Dopo il periodo iniziale, pionieristico, la ricerca si indirizza verso dispositivi in gomma ed i primi isolatori, vennero prodotti negli Anni '70 in Inghilterra, dalla *Malaysian Rubber Producers' Research Association* (MRPRA), mediante un processo produttivo basato sulla vulcanizzazione di strati di gomma tra loro isolati da lamierini di acciaio. La prima applicazione di questo sistema si ha in Francia per la protezione di alcune centrali nucleari, con la combinazione di isolatori in gomma e dispositivi a scorrimento (*Electricite de France system*).

È dalla collaborazione tra la MRPRA e l'Earthquake Engineering Research Center (EERC) (11) dell'università della California a Berkeley, da una parte, e tra il Dipartimento di Dinamica delle Strutture del CNRS (12) di Marsiglia ed il John A. Blume Earthquake Engineering Center alla Stanford University, California, che la ricerca inizia a dare risultati concreti attraverso prove su tavola vibrante, che permettono di valutare le prestazioni dei dispositivi (13).

IL COLLEGIO JEAN GUÉHENNO A LAMBESC IN PROVENZA

Costruito nel 1978-79, nella zona colpita dal terremoto dell'11 giugno 1909, su progetto degli Architetti Ello ed Ives Castel, con l'ing. Gilles Delfosse per le strutture antisismiche, il collegio di Lambesc, ha una configurazione originale ed innovativa ed è in grado di resistere ad un sisma di magnitudo 6 e con un taglio alla base ridotto di 2/3 rispetto alla stessa struttura a base fissa.



Un'architettura semplice composta da 3 edifici cubici di altezza modesta, con giunti sismici di 10 cm tra ogni blocco, per evitare il martellamento tra gli edifici. Le fondazioni poggiano su un substrato rigido (calcare), sono tutte collegate tra loro e portano 152 pilastrate che poggiano su isolatori sismici del tipo GAPEC, sviluppati da Gilles Delfosse nel laboratorio di meccanica ed acustica del *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) di Marsiglia, alternando lastre di acciaio e gomma. Quattro anni dopo la costruzione, nel 1982, una delegazione di San Bernardino California venne a visitare l'edificio per l'applicazione di questa tecnica d'isolamento nella sua città.

(10) Pare che le autorizzazioni fossero per un edificio a base fissa, non esistendo normative. Si ringraziano il Prof. Panayotis Caridis e l'Ing. Christos Giarlelis per le preziose informazioni su A.S. Ikonou e l'isolamento in Grecia

(11) ora PEER- Pacific Engineering Research Center

(12) Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), l'istituto di ricerca superiore della Repubblica francese

(13) principali studiosi sono Gilles C. Delfosse, C.J. Derham (MRPRA), James M. Kelly (University of California Berkeley), R. Ivan Skinner. PEL-DSIR, NZ)

DELFOSE E GLI ISOLATORI GAPEC

Gilles Charles Delfosse nacque il 23 Giugno 1929 nella città di Avesnelles, nel nord della Francia. Proveniente da una famiglia con una lunga tradizione nel settore delle costruzioni, era del tutto naturale che il giovane Gilles sarebbe diventato un ingegnere civile. Come avvenne nel 1951, presso il prestigioso Conservatoire National des Arts et Métiers, a Parigi. Il 2 settembre 1952 si sposa con Andree Mizee, con la quale avrà tre figli (Patrick-1953, Erick-1955 e Christophe-1968). Dal 1960 al 1962 si trasferisce con la famiglia a Beni-Ilmane (Melouza) in Algeria, dove lavora come ingegnere civile per il governo coloniale, acquisendo esperienza nella progettazione antisismica, nella ricostruzione delle zone rurali distrutte dal terremoto. Dopo il ritorno in Francia è inviato dal governo francese a Skopie in Macedonia, distrutta dal terremoto del 26 luglio 1963, per collaborare alla sua ricostruzione. È in questo periodo che prende forma l'idea della protezione dal terremoto attraverso l'isolamento alla base.

Nel giugno 1969 si laurea in Scienze presso l'università di Aix-Marseille con una tesi sulla dinamica strutturale ed isolamento sismico. Poco mesi dopo, nel febbraio 1970, è nominato ricercatore presso il *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS), l'istituto di ricerca superiore della Repubblica francese, dove crea e dirige il Dipartimento di dinamica delle strutture. Il suo lavoro al CNRS contribuisce alla definizione degli isolatori elastomerici e lo rende noto a livello internazionale.

Nel 1972 deposita un brevetto per dispositivi antisismici di isolamento di base sotto il nome commerciale di GAPEC (Sigla delle iniziali dei nomi di tutta la sua famiglia). Con questo sistema sono protette un gran numero di strutture (edifici e attrezzature) in Francia, Martinica, ed in California. In particolare in Francia, Delfosse progetta l'isolamento sismico di 4 case d'abitazione (1977-82), realizza l'isolamento del collegio Guéhenno a Lambes (1978-79), un deposito per scorie nucleari (1982) e due centrali nucleari a Cruas e Le Pellerin.

Nel 1979 lo State Department of water Resources, sponsorizza un programma di ricerca per la protezione dei dispositivi elettrici 230 KV ATB 7, la cui rottura nel terremoto di San Bernardino del 1971 ha avuto effetti nefasti, attraverso l'impiego di isolatori GAPEC. I risultati delle prove condotte, certificano che l'accelerazione sui dispositivi elettrici si riduce ad 1/5.

Nel 1980 enuncia i 4 criteri base di efficienza di un "Aseismic Building Isolator System":

- 1) una bassa accelerazione dell'edificio sotto una data azione sismica;
- 2) un comportamento prevalentemente traslazionale;
- 3) nessuna amplificazione del moto verticale rispetto al moto del terreno;
- 4) una risposta soddisfacente ai larghi spostamenti che possono presentarsi.

Muore il 10 gennaio 2003.

Nel 1974 inizia in Nuova Zelanda un programma di messa in sicurezza dei ponti dal terremoto, attraverso l'impiego di isolatori, il primo è il Motu Bridge.



Ma è con il terremoto del Friuli del 1976 che si sblocca la ritrosia nei confronti dell'impiego degli isolatori nei ponti. Vi era infatti in costruzione il tratto autostradale Udine-Carnia e l'unica opera d'arte a non subire danni fu il *viadotto di Somplago* (impalcato a travata continua, lungo 1.240 m, progettato dall'Ing. Renzo Medeot) grazie ad una protezione sismica basata sull'isolamento, che rappresenta uno dei primi esempi mondiali su una struttura da ponte. Ogni progetto deve essere autorizzato, mancando riferimenti normativi. Si deve aspettare il 1990 quando in Italia escono, tra le prime al mondo, le "Istruzioni per la progettazione antisismica dei ponti con l'impiego di dispositivi isolatori/dissipatori", mentre nel 1993 usciranno le prime Linee guida per l'isolamento sismico degli edifici.

Gli Anni '80 vedono il riconoscimento ufficiale dell'isolamento sismico, con la rapida diffusione di applicazioni in tutto il mondo, soprattutto negli USA, Nuova Zelanda e Giappone.

Il *William Clyton Building* di Wellington (NZ), del 1981, è stato uno dei primi edifici ad essere progettati con isolamento sismico con isolatori in gomma piombo (LRB).

Il primo edificio isolato alla base in USA è stato completato nel 1985 ed è il *Foothill Communities Law and Justice Center* della città di Rancho Cucamonga a circa 100 km ad est di Los Angeles, a 20 km dalla faglia di S. Bernardino.



Un edificio di 5 piani, con struttura in acciaio (126x33,6 m). Progettato per resistere ad un sisma di magnitudo 8.3, con spostamento massimo negli spigoli di 38 cm, è dotato di 98 isolatori elastomerici (HDRB) realizzati sulla base degli studi e prove del EERC (14).

Il primo fabbricato con isolamento sismico costruito in Giappone è del 1983. Dal 1983 al 1992 circa 67 edifici erano isolati alla base erano autorizzati dallo specifico comitato in assenza di uno specifico codice nel BCJ che esce nel 1991. La consacrazione del sistema d'isolamento sismico si ha con i due forti terremoti di Northridge in California (Mw 6.8 del 17 gennaio 1994) e di Kobe in Giappone (Mj 7.3 del 17 gennaio 1995), in cui gli edifici isolati non subiscono danni, rimanendo operativi, a differenza degli edifici tradizionali, fortemente danneggiati.

Significativo il caso dell'Olive View Hospital, ricostruito dopo il crollo del 1971 con struttura a base fissa, che pur non subendo grossi danni alle strutture, è di fatto inoperativo per i danni alle finiture ed attrezzature, mentre l'University of Southern California Teaching Hospital, costruito nel 1991 e sismicamente isolato (15), rimane integro ed operativo ed in grado di riceverne anche i degenti, pur essendo a soli 36 Km dall'epicentro del terremoto di Northridge.

Analogamente, con il terremoto catastrofico di Kobe, a Sanda City, due grandi edifici isolati alla base, il Matsumura-Gumi Research Laboratory ed il West Japan Postal Savings Computer Center, che al momento era il più grande edificio isolato al mondo, rimangono intatti. Nei tre anni antecedenti al terremoto di Kobe, erano stati autorizzati 15 edifici isolati, nei tre anni successivi ne vengono autorizzati 450.

IL TERREMOTO DISASTROSO DI HANSHIN-AWAJI KOBE DEL 17 GENNAIO 1995 (GIAPPONE)

I due edifici isolati di Sanda City



Computer center del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni
6 piani superficie di calpestio di 46.823 m², allora il più grande edificio isolato al mondo.
Isolatori: 54 LRB d120h24 +46 Low Damping natural rubber d100 h20
20 Low Damping natural rubber d80 h16+44 steel damper



Laboratorio della Matsumura Corporation
3 piani superficie di calpestio di 480 m²
Isolatori: 4HDRB d70 h13,5+4HDRB d60 h13,7

L'ORIGINALITÀ DELL'ESPERIENZA IN URSS

Nel 2012 erano più di 600 gli edifici ed altre strutture costruite nei paesi della Federazione Russa, con isolamento alla base. Solo a partire dal 1990 nei paesi dell'ex URSS si sono sviluppati interventi con isolatori in gomma. Fino ad allora sono stati impiegati sistemi originali studiati e testati presso il *Central Research Institute for Building Structure, Earthquake Engineering Department* (TsNIISK) di Mosca.

A partire dagli Anni '70 è stato attuato un programma di isolamento alla base per gli edifici residenziali e di servizi. Un discorso a parte è quello delle centrali nucleari per le quali sono stati impiegati sistemi con appoggi scorrevoli e supporti pneumatici.

L'isolamento sismico è ottenuto usando due o più elementi: un elemento flessibile ed uno smorzatore. Gli elementi flessibili, posti sempre al piano terra, possono essere delle colonne snelle o sostegni oscillanti, mentre gli smorzatori sono elementi in acciaio dolce o pannelli in cemento armato sacrificali o giunti a frizione. Sostanzialmente sono due i sistemi originali sviluppati e realizzati in quel tempo:

- edifici con base flessibile ed elementi dissipativi sacrificali (DRE);
- edifici con supporti oscillanti (cinematici) (KRS).

(14) Gli stessi dispositivi che saranno usati alla SIP di Ancona

(15) situato parte orientale di Los Angeles è un edificio irregolare di otto piani, in struttura a telai in acciaio e controventi concentrici supportato su 68 isolatori in gomma piombo e 81 isolatori elastomerici

Edifici con DRE

Nel 1973-74 una intera nuova città, nella parte nord del lago Baikal, tra la Mongolia e la Siberia, è stata costruita con una particolare tipologia di protezione sismica. Questo tipo di edificio è caratterizzato da un sistema chiamato "*Disengaging Reserve Elements*" (DRE). I DRE sono installati al piano terra dell'edificio, che è una struttura a telaio di cemento armato, mentre la parte superiore, solitamente di 9 piani, è a pareti portanti, sia a grandi pannelli che in muratura. Il DRE è una "struttura rigida", generalmente un pannello di calcestruzzo, collegato al telaio di cemento armato mediante speciali elementi sacrificali (fusibili). Possono essere piastre di acciaio unite mediante rivetti o bulloni, barre d' acciaio, cubetti o prismi di calcestruzzo, etc. Per bassi valori dell'azione sismica il DRE e la struttura intelaiata di cemento armato lavorano insieme, in questa fase, gli elementi di disinnescano trasferiscono i carichi laterali al telaio. Per azioni più forti si attiva il DRE la cui unica funzione è la variazione (autoregolante) della rigidità e dei periodi di vibrazione durante un terremoto, evitando la risonanza. I DRE sono elementi sacrificali e pertanto da sostituire dopo il terremoto.

Il primo fabbricato protetto con questa tecnica è stato per una banca e costruito nel 1972 in Ucraina a Sevastopol.

Edifici con KRS

Questo sistema, che a differenza del precedente è un vero isolamento alla base, prevede la realizzazione al piano terra dell'edificio di elementi oscillanti, posti tra il piano fondale ed il primo livello. Gli elementi in calcestruzzo a forma di piramide tetraedrica trunca, hanno la base inferiore sferica e quella superiore incernierata alla sovrastruttura.

In condizioni statiche il peso tiene il dispositivo nello stato di equilibrio stabile e determina la rigidezza laterale che dipende dal peso della sovrastruttura dall'altezza dell'elemento e dal raggio di curvatura del perno. Qualche volta sono aggiunti pilastri metallici per aumentare lo smorzamento del sistema. Edifici di questo tipo sono stati costruiti a Sevastopol, mentre ad Alma-Ata il supporto oscillante ha assunto la forma di un fungo rovesciato.

Quattro edifici costruiti con questa tecnica nella città di South Kurilsk, nelle isole Kuril nell'Oceano Pacifico, hanno subito il forte terremoto del 4 ottobre 1994, mostrando un comportamento migliore degli analoghi edifici tradizionali.



L'ESEMPIO DELL'ARMENIA

L'Armenia (3.000.000 ab.) fu sconvolta il 7 dicembre 1988 dal terremoto di Spitak (Ms 6,8) con 25.000 morti, 50.000 feriti e 500.000 sfollati. Dal 1994 per una serie di circostanze favorevoli, in questo piccolo paese si sono sviluppati eccellenti iniziative di progettazione e retrofitting con isolamento alla base:

- 1) la presenza di un gruppo di progettisti dotati delle conoscenze e tecniche necessarie;
- 2) istituzioni internazionali disposte ad investire;
- 3) quattro fabbriche di isolatori.



Oggi il numero di edifici isolati alla base pro-capite è secondo solo a quello del Giappone. Di particolare interesse la tecnica utilizzata per i nuovi edifici con l'impiego di gruppi di piccoli isolatori invece di uno più grosso, questo facilita le operazioni di montaggio e sostituzione dei dispositivi e permette una migliore calibrazione del progetto soprattutto nei confronti della rotazione dell'edificio.

L'ADEGUAMENTO SISMICO CON L'IMPIEGO DI ISOLATORI



Sempre negli Anni '90 l'isolamento sismico inizia ad essere impiegato anche negli interventi di adeguamento, presentando il vantaggio, rispetto alle tecniche tradizionali, di non dover toccare la struttura esistente. Apre la strada l'adeguamento del **Salt Lake City and County Building**, un edificio in muratura di 5 piani ed una torre, costruito nel 1893.

Gli studi di adeguamento al possibile terremoto (16) iniziano nel 1973 e si concretizzano nel 1983 con l'analisi di varie soluzioni tra le quali la migliore risulta quella dell'isolamento alla base, con l'impiego di isolatori in gomma Neozelandesi (208 Lead Rubber e 239 natural rubber bearing).

I lavori, che prevedono la realizzazione di un nuovo cordolo tra la fondazione e le murature, per il posizionamento del cordolo si concludono nel 1989.

(16) Salt Lake è in Utah, ed in zona 3 UBC a moderatamente alta sismicità

Sono ancora gli Stati Uniti ad aprire la strada, dopo il terremoto di Loma Prieta del 1989, con le **City Hall di San Francisco e Oakland** che avevano subito notevoli danni. Entrambi non si potevano demolire perché il primo era un monumento nazionale, ed il secondo, ai tempi della sua costruzione (1914), era il più alto edificio della costa occidentale.



Per l'adeguamento furono impiegati 111 isolatori in gomma armata, di cui 36 con inserti in piombo. L'inserimento dei dispositivi avvenne con il taglio delle colonne di acciaio al piano più basso, con l'aiuto di martinetti idraulici. Il fabbricato può ora muoversi di 50 cm. Il costo complessivo è stato di 85 milioni di dollari. Analogo intervento, dopo lo stesso terremoto, per l'adeguamento della San Francisco City Hall, costruita nel 1915, ed uno dei più importanti e significativi esempi di architettura classica negli Stati Uniti.



L'adeguamento della **City Hall di Los Angeles**, completato nel 2001, è invece successivo al terremoto di Northridge. Costruito nel 1926, alto 32 piani, fu il primo edificio ad eccedere la limitazione dei 150 ft in altezza, senza una particolare progettazione antisismica. Lesioni nelle murature di rivestimento (la struttura portante è in acciaio) apparvero fin dal terremoto di San Fernando (1971).

L'intervento di isolamento ha previsto 416 isolatori HDR e 90 appoggi a scorrimento, oltre a 52 smorzatori viscosi al piano fondazione e dal 12° al 26° piano.

Con un salto al presente ci limitiamo a evidenziare l'esperienza Armena anche per l'applicazione del retrofitting di edifici storici con interventi su edifici antichi ed importanti, come questa **scuola a Vanadzor**, eseguito nel 2002, senza dover lasciare l'edificio.

IL PERCORSO DELLA STORIA: PRIMA IL DUBBIO, POI LA RAGIONE ED ORA L'ATTUALITÀ

Il dubbio

...sembra pertanto che la migliore direttiva verso la soluzione del problema sia rappresentata dal seguente quesito: rendere minima, compatibilmente colle esigenze pratiche di una casa, la somma di energia che si trasmette dalla commozione tellurica al fabbricato. A molti è parso che questo enunciato contenesse non l'inizio ma il termine della soluzione cercata. Essi hanno detto: riformiamo completamente il modo di appoggio dell'edificio sul terreno: anziché radicarlo su salde fondamenta, liberiamolo in modo che esso poggi come sopra una specie di carrello mobile in tutte le direzioni col minimo possibile attrito. La forza di trascinamento del terremoto tenderà a svanire e l'edificio rimarrà imperturbabile, mentre la scossa infurierà sotto i suoi piedi. Il ragionamento è svelto, elegante e non fa una grinza. Ma, per tradurlo in atto, i proponenti hanno dovuto ricorrere ad una serie di congegni meccanici come rulli, sfere, molle e sospensioni elastiche, congegni che snaturano la casa poiché convertono le fondamenta, che dovrebbero possedere una stabilità secolare, in un sistema metallico che ha bisogno di essere curato, sorvegliato, lubrificato per cinquanta, per cento anni, di generazione in generazione e che alla fine, scosso da un terremoto, con suprema ingratitudine funzionerà male o non funzionerà affatto. Immaginate, per esempio, una delle sfere d'acciaio che per un secolo è stata ferma a sopportare il peso del fabbricato e pensate soltanto all'attrito di primo distacco che essa dovrebbe vincere per mettersi in movimento e liberare la casa dagli effetti della scossa! Non mi sembra qui il caso di procedere ad una critica severa di questi sistemi meccanici. Chi ha visitato l'esposizione dei lavori presentati al recente concorso di Milano dove tali sistemi apparivano in grande numero con tutto il relativo corredo di modelli e disegni, ha riportato certamente l'impressione della loro insufficienza per i fini della pratica.

*Arturo Danusso, La statica delle costruzioni antisismiche
Atti della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino 1909*

La ragione

... anziché limitarsi a sostenere le sollecitazioni che il calcolo indica che debbano insorgere in una data struttura, ci si potrebbe chiedere in che modo si potrebbe disegnare una struttura capace di ridurre il flusso d'energia meccanica che il terreno, scosso dal terremoto, tende a trasmettergli ... sarebbe possibile studiare l'introduzione di meccanismi destinati a dissipare rapidamente l'energia meccanica oppure ad impedirne la trasmissione.

Si possono anche progettare appoggi in gomma o altro materiale elastico che abbiano appunto il compito di lasciare praticamente immobile l'edificio, mentre sotto di esso le fondazioni vibrano per effetto del terremoto ... si tratta di ottenere un sistema di grande deformabilità, in questo caso localizzata nei supporti, e quindi proporzionalmente molto inerte e con una frequenza propria molto bassa, come altrimenti non sarebbe possibile ottenere con normali tipologie strutturali.

*Sergio Musmeci,
Introduzione alle costruzioni antisismiche, GEAP 1978*

L'attualità

La cronaca ci riporta questa sommaria cronologia nell'impiego di isolatori sismici:

1969: a Skopje (Jugoslavia), nella scuola Pestalozzi;
1972: ad Atene (Grecia), in un edificio per uffici;
1973: in Nuova Zelanda, sul ponte Motu Bridge;
1974-1976: A23 Udine-Carnia (Italia) nel viadotto Somplago;
1978-79 : nel collegio Jean Guéhenno a Lambesc in Provenza (Francia);
1978-1981: a Wellington (Nuova Zelanda), nel William Clayton Building (LRB);
1978-1984: a Kroeberg (Sud Africa), nelle centrali nucleari EDF;
1981: a Napoli (Italia), presso il Comando dei Vigili del Fuoco;
1991: prima applicazione isolatori a pendolo (FPS) per retrofitting "Marina Apartment", San Francisco (California).

In Italia, e forse in Europa, la prima struttura isolata è stata il centro operativo dei Vigili del Fuoco di Napoli, realizzato nel 1981 su progetto del Prof. Ing. Federico M. Mazzolani. L'edificio ha una struttura sospesa in acciaio, con nuclei portanti in cemento armato. Originariamente progettato per soli carichi verticali, dopo il terremoto Campano Lucano del 1980, venne isolato in corso d'opera, con isolatori elastomerici abbinati a dissipatori di energia elastoplastici, disposti alla sommità delle torri in cemento armato, che sostengono la struttura reticolare di sospensione dell'edificio.



Oggi nel mondo, sono più di 10.000 le costruzioni dotate di isolatori alla base, situate in oltre 30 paesi.

Il **Giappone**, dopo il terremoto di Hyogo-ken Nanbu/Kobe (1995), ha fortemente incentivato l'uso dell'isolamento sismico ed ha la leadership a livello mondiale, con oltre il 50% delle applicazioni. La **Repubblica Popolare Cinese**, gigante da poco sulla scena e già al secondo posto. La **Federazione Russa**, in cui l'isolamento è diffuso da tempo con degli originali sistemi autoctoni e che ora si sta aprendo all'impiego di sistemi d'isolamento in gomma, di tipo occidentale.

Gli **Stati Uniti d'America**, dove la diffusione prosegue normalmente, senza l'impennata del Giappone, anche a causa di una normativa molto penalizzante. L'**Italia**, che dopo l'inizio brillante con l'isolamento dei ponti e viadotti, a partire dal 2003 ne ha disciplinato l'uso anche per gli edifici.

A seguire la **Nuova Zelanda**, altamente specializzata nella produzione dei dispositivi, **Taiwan** e l'**Armenia** in cui recenti terremoti ne hanno incentivato l'uso. Il **Messico**, in cui la prima esperienza è del 1974. La **Francia**, concentrata sulle centrali nucleari. Senza scordare le realizzazioni in Turchia, Grecia, Portogallo, Venezuela ed a Cipro e, più recentemente, in Argentina, Israele, India, Romania ed Iran, Corea del Sud, Canada, Cile, Indonesia e Macedonia.

L'impiego dell'isolamento sismico si sta diffondendo soprattutto per la protezione degli edifici strategici e di valore: ospedali, sale operative per l'emergenza, centri di calcolo, musei, ed in generale in tutti quegli edifici la cui funzionalità è indispensabile in caso di terremoto.... ma questa non è più storia, ma cronaca.

RIFERIMENTI

- [1] *Base Isolation: Origins and Development*, James M. Kelly, EERC News, Vol. 12, No. 1, January 1991
- [2] *Earthquake that have initiated the development of earthquake engineering*, Robert Reitherman, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 39, No. 3, September 2006
- [3] *The implementation of base isolation in the United States*, James M. Kelly, Earthquake Engineering, 10 World Conference, Rotterdam 1994
- [4] *Historical Aspects of Seismic Base Isolation Application*, Ahmad Naderzadeh, Iranian Society of Structural Engineers
- [5] *Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practice*, F. Naeim and J. M. Kelly, John Wiley and Sons, 1999
- [6] *State of the art report. Base isolation and passive seismic response control*, Masanori Izumi, 9 WCEE 1988 Tokio
- [7] *Up-to-date earthquake protection*, Vladimir Smirnov, Высотные здания/Tall buildings, agosto/settembre 2009
- [8] *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*, Yousef Bozorgnia, Vitelmo V. Bertero, CRC Press 2004
- [9] *Dagli "strati di carbone e lana" ai moderni dispositivi antisismici*, Paolo Clemente, Attività in campo sismico. Recenti studi e sviluppi futuri, Casaccia, 20 dicembre 2010
- [10] *I sistemi antisismici in Sicilia, in Italia e nel mondo: dall'isolamento sismico della scuola Johan Heinrich Pestalozzi a Skopje negli anni '60 a quello della nuova Francesco Jovine, "la scuola più sicura d'Italia", a San Giuliano di Puglia nel 2008*, Alessandro Martelli, Seminario "Centenario del Terremoto e del Maremoto di Messina e Reggio Calabria: 1908-2008, un Secolo di Ingegneria Sismica", Messina, 30 e 31 gennaio 2009
- [11] *Soft Story Risk Reduction: Lessons from the Berkeley Data A Special Projects and Initiatives report to Earthquake Engineering Research Institute*, David Bonowitz, Sharyl Rabinovici, EERI January 2013
- [12] *Recent developments in seismic isolation and energy dissipation in Russia*, J. M. Eisenberg, V. I. Smirnov, A. A. Bubis, 14 World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), October 12 – 17, 2008 Beijing, China
- [13] *Analysis of 3-D vibrations of the Base Isolated School Building "Pestalozzi" by analytical and experimental approach*, Garevski A Mihail, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, 12 (2000)
- [14] *Guia de diseño sismico de aisladores elastomericos y de Friccio para la Republica de Nicaragua*, Tesi di Roger Ivan Meza Blandon e Edgard Ezequiel Sanchez Garcia, Universida Nacional de Ingenieria, Giugno 2010
- [15] *The GAPEC system: a new highly effective asesmic system*, Delfosse Gilles C., 6 WCEE New Delhi, India 1977
- [16] *Full earthquake protection through base isolation system*, Delfosse Gilles C., 7 WCEE Istanbul, Turkey 1980
- [17] *The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake as a Trigger for Implementing New Seismic Design Technologies in Japan*, Peter W. Clark, Ian D. Aiken, Masayoshi Nakashima, Mitsuo Miyazaki, Mitsumasa Midorikawa, Lessons Learned Over Time, Learning From Earthquakes, Volume III - Earthquake Engineering Research Institute, 1999
- [18] *The Seismic Retrofit of the City and County Building in Salt Lake City: A Case Study of the Application of Base Isolation to a Historic Building*, Prudon, Theodore H. M., In: Old cultures in new worlds. 8th ICOMOS, 1987
- [19] *Seismic retrofit and instrumentation of Los Angeles City Hall*, Nabih Youssef and Owen Hata, SMIP05 Seminar Proceedings
- [20] *The seismic retrofit of the Oakland City Hall*, Mason Walters, SMIP03 Seminar Proceedings
- [21] *Alexisimon seismic isolation levels for translational and rotational seismic input*, A.S. Ikonomou. 8 WCEE 1984 Los Angeles
- [22] *Seismic isolation of buildings and historical monuments. Recent developments in Russia*, V. Smirnov, J. Eisenberg, A. Vasileva, 13 WCEE Vancouver Canada, 2004
- [23] *Buildings protected with "disengaging reserve elements"*, Report Date 05-06-2002, Jacob Eisenberg, Svetlana, Uranova, Ulugbek T. Begaliev, World Housing Encyclopedia
- [24] *Armenia is the one of the world leaders in development and application of base isolation technologies*, Mikayel Melkumyan, American University of Armenia (AUA), Engineering Research Center (ERC), Yerevan, Armenia
- [25] *Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione*, Dora Foti, Michele Mongelli, Dario Flaccovio Editore 2011
- [26] *Behavior of Base-Isolated Buildings in the 1995 Great Hanshin Earthquake and Overview of Recent Activities of Seismic Isolation in Japan*, Takafumi Fujita, Proceedings of the international Post SMiRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Control of Vibrations of Structures, Santiago, Chile, 1995
- [27] *L'Architecture d'aujourd'hui*, N. 154, février-mars 1971

[28] *Frank Lloyd Wright's Imperial Hotel: A seismic re-evaluation*, Robert King Reitherman, Research Associates, Building Systems Development, Inc., San Francisco, California

Gli Autori ringraziano per la collaborazione:

Prof. Ing. Duilio Benedetti, già docente di Ingegneria Sismica al Politecnico di Milano;

Prof. Ing. Alessandro Martelli, Presidente dell'Associazione *GLIS - Isolamento ed altre Strategie di Progettazione Antisismica* e dell'ISSO (*International Seismic Safety Organization*); fondatore ed ora vicepresidente dell'ASSISi (*Anti-Seismic Systems International Society*);

Prof. Ing. Gloria Terenzi, Facoltà d'ingegneria, Università di Firenze.