

## Proposta di un riutilizzo degli pneumatici come isolatori antisismici

*In developing countries houses and constructions built through indigenous knowledge were able to withstand earthquake. Seismic base isolation is used since ancient Greece to protect a structure against earthquake forces. The idea is to decouple a superstructure from its substructure in order to save building structure's integrity. In 2005 was patented the idea of using rubber for seismic isolation, which utilizes the whole used tire at the four corners of a building, while in 2007 Tsang has proposed another seismic isolation scheme for developing countries, making use of rubber-soil mixtures. The main intention of this chapter is to propose a third method which uses whole used tires to create a layer, buried (like Tsang's idea) under the foundation of a small building, typical of low human development nation.*

### 4.3.1 Gli isolatori antisismici

«Besides human casualties, one of the most visible and striking effects of any major disaster is the destruction of houses. Loss of housing destroys livelihoods, protection and privacy» (Duyne Barenstein, 2006).

Se avere una casa è un diritto e poterla ricostruire dopo una catastrofe è un dovere, prevenire il rischio di perderla è una necessità. Molti paesi a medio e basso sviluppo umano sono vittime di una posizione geografica infelice, che rende le proprie popolazioni molto vulnerabili ai disastri naturali; mentre le nazioni ad alto sviluppo umano hanno le conoscenze e le possibilità economiche per fronteggiare eventi calamitosi come i terremoti, i paesi in via di sviluppo spesso sono in balia della fortuna e della perizia di chi ha costruito

le loro case, siano stati essi stessi o altri.

Secondo la Banca Mondiale, più del 95% di tutte le morti causate dai disastri naturali avvengono in paesi in via di sviluppo e il rapporto tra vittime di terremoti di magnitudo simile è abnormemente a sfavore dei paesi a basso sviluppo umano, tanto che «il rapporto di morti dovuti al terremoto di Northridge del 1994 rispetto al numero dei decessi avvenuti a seguito del terremoto del Kashmir del 2005 è di 1:1280»<sup>1</sup> (Matteoni, 2008).

In tutte le culture indigene che hanno dovuto affrontare il problema, alcuni sistemi per ridurre i rischi sono praticati da sempre, spesso con ottimi risultati, tanto da essere stati riproposti dalle Nazioni Unite come esempio di buone pratiche da duplicare in altri paesi.

**4.3.1 Nei paesi in via di sviluppo il bilancio delle vittime dei terremoti è alto, nonostante esistano sistemi per smorzarne gli effetti più disastrosi**

<sup>1</sup> «[...] secondo un'indagine del Department of International Development il numero medio di morti causate dai più grandi terremoti nei paesi sviluppati è sceso da 12.000, nel periodo dal 1900 al 1949, a 2000, nel periodo dal 1950 al 1992, soprattutto per i progressi dell'ingegneria strutturale e per la preparazione rispetto a questi eventi catastrofici. Nonostante questo nei paesi in via di sviluppo il numero medio di morti continua ad essere di 12.000» (idem)

<sup>2</sup> «Nell'ambito degli edifici in muratura, le costruzioni che hanno riportato danni maggiori sono state quelle [...] realizzate con materiali poveri e tecniche costruttive scadenti, quali ad esempio gli edifici realizzati con murature a sacco, di pietra irregolare e riempimento in materiale incoerente» (Lan-dolfo, 2009)

<sup>3</sup> Idem

<sup>4</sup> «Grecae magnificentiae vera admiratio extat 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 carbonibus, dein velleribus lanae» (Gaio Plinio Secondo, 1988)

Queste tecniche si sono sapute adattare per fronteggiare al meglio le catastrofi, garantendo sostenibilità nel lungo termine, perché «indigenous knowledge is culture specific, and represents people's lifestyle. [...] indigenous knowledge can be applicable to different locations, which needs local cultural calibration. [...] Indigenous knowledge refers to the methods and practices developed by a group of people from an advanced understanding of the local environment, which has formed over numerous generations of habitation. This knowledge contains several other important characteristics which distinguish it from other types of knowledge. These include originating within the community, maintaining a non-formal means of dissemination, collectively owned, developed over several generations and subject to adaptation, and imbedded in a community's way of

life as a means of survival» (Shaw, Uy & Baumwoll, 2008).

L'approccio di queste pratiche nei confronti dei terremoti è stato spesso volto a creare strutture non dissipative.

Ad esempio in Kashmir, nel sistema *Taq*, «large pieces of wood or timber are used as horizontal runners embedded into the masonry walls» (Khan, 2008), mentre nel *Dhajji-Dewari* «the timber frames [...] also have cross members, which divides the masonry infill into various small panels» (idem).

L'uso del legno come rinforzo – invece assente, ad esempio, nelle costruzioni tradizionali in Abruzzo e colpevole del ribaltamento dei muri e delle fratture in corrispondenza dei vuoti<sup>2</sup> – riduce la formazione di fessure diagonali smorzando gli attriti e, nel caso si creino fratture e collassi, la suddivisione delle pareti le circoscrive ad aree insignificanti a livello strutturale.

A queste strutture non dissipative, dette anche iper-resistenti e progettate per resistere ad un terremoto restando nel campo elastico<sup>3</sup>, si affianca la soluzione delle strutture dissipative che evitano rotture fragili. A differenza delle prime, con queste si preferisce assorbire l'energia sprigionata dal sisma senza farla giungere all'edificio e si isola la struttura dal suolo.

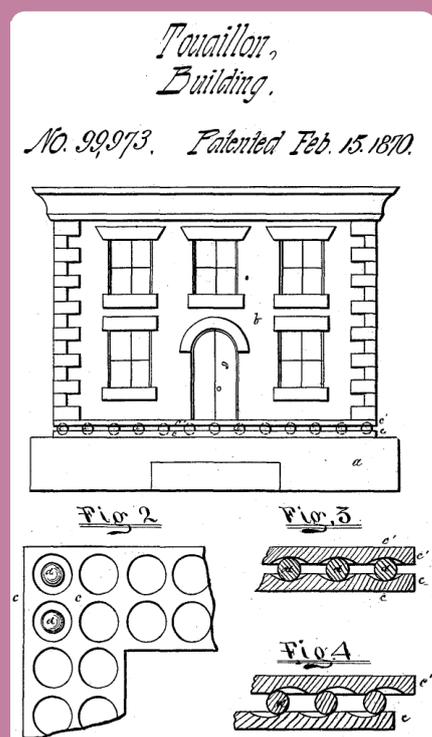
Questo approccio è stato sperimentato fin dall'antichità: Plinio il Vecchio riporta l'uso di strati di carbone e di lana sotto le fondazioni del tempio di Artemide a Efeso<sup>4</sup> (una delle sette meraviglie del mondo) e altri riferimenti si hanno in opere cinesi, nella Perù Inca e in Giappone, come il tempio Rengejoin a Kyōto.

Solo nel 1870 Jules Touaillon

Nell'ingegnosa proposta di Touaillon alcune sfere venivano lasciate libere di muoversi in caso di terremoto, in modo che le scosse telluriche non si trasmettessero alla soprastante costruzione.

Per edifici cittadini, considerato il poco spazio a disposizione, Touaillon proponeva l'uso di paraurti fatti di gomma indiana o altro materiale simile

[disegno J. Touaillon, 1870]



brevettò sotto il titolo di *Improvement in buildings* un edificio che contemplava l'uso di sfere metalliche tra la fondazione e la soprastante costruzione, con la supposizione che il loro movimento avrebbe permesso, in caso di terremoto, di smorzarne gli effetti distruttivi<sup>5</sup>.

Una delle soluzioni più interessanti – perché effettivamente realizzata, e ad opera di Frank Lloyd Wright – è stata l'Imperial Hotel di Tokyo, un edificio dell'inizio degli anni '20 suddiviso «in corpi scatolari pensati come elementi “galleggianti” sopra un terreno deformabile» (Parducci, 2007). Wright «li fondò su una cortina di pali infissi in uno “shallow cheese soil” superficiale, senza portarli nella formazione melmosa sottostante; ciò perché il sistema fondale potesse funzionare come uno “shock adsorber” (così lo chiamò) deformabile capace di assicurare un effetto di isolamento dinamico nei confronti del sisma» (idem).

Nel 1923 l'hotel alloggiò gli sfollati del Great Kanto Earthquake, che provocò 120000 morti lasciando intatta la costruzione di Wright: «Hotel stands undamaged as monument of your genius» gli telegrafò da Tokyo il barone Okura. Nel 1969 un gruppo di ingegneri svizzeri impiegò per la prima volta dei fogli di gomma non armata, larghi 70 cm e spessi 7 cm, per isolare sismicamente su cinque appoggi la scuola elementare Pestalozzi di Skopje (Macedonia) e a loro seguì negli anni '70 la Malaysian Rubber Producers' Research Association (MRPRA), che produsse i primi dispositivi elastomerici in gomma armata<sup>6</sup>.

Oggi l'elastomero impiegato per gli isolatori sismici è alternato a strati di acciaio, ai quali viene legato tramite

vulcanizzazione<sup>7</sup>.

Le strutture dissipative vengono apprezzate anche per il risparmio economico che apportano complessivamente rispetto ad una costruzione di maggiore rigidità, che richiede un sovradimensionamento delle strutture.

Dopo il terremoto in Abruzzo del 2009 a L'Aquila vennero predisposte piastre antisismiche, «due piattaforme di spessore 50 cm, con dimensioni in pianta pari a 21 m x 57 m, distanziate tra loro di 270 cm attraverso 40 colonne ed altrettanti isolatori sismici» (Bertelegni, 2010?) che hanno permesso l'edificazione di abitazioni prefabbricate alte 3 piani. «In estrema sintesi, la piastra superiore è libera di oscillare in caso di sisma di circa 25 cm rispetto alla sottostruttura, “scollegando” l'edificio dal suolo e tagliando drasticamente gli effetti del terremoto sugli edifici» (idem).

#### 4.3.2 Gli studi già condotti con gli pneumatici

Una proposta con pneumatici al di sotto di una costruzione era già stata proposta nella mia tesi di laurea magistrale del 2008 – senza essere a conoscenza di precedenti idee simili o in qualche modo riconducibili – come risposta al problema dell'assenza di vere e proprie fondazioni nelle abitazioni degli slum: «le fondazioni sarebbero comunque necessarie, e non solo per dare maggiore stabilità alla struttura (tanto più in una zona a rischio sismico [...]), ma anche per proteggere la pavimentazione delle case e i muri dai fenomeni dell'umidità e della risalita capillare» (Caruso, 2008a). Veniva sì auspicata una funzione antisismica conseguente all'uso degli

**4.3.1 L'idea di disaccoppiare la fondazione e la soprastruttura ha attraversato la storia delle costruzioni**

<sup>5</sup> Warn & Ryan, 2012

<sup>6</sup> Onorio, 2009

<sup>7</sup> «Elastomeric bearings are composed of alternating layers of natural, or synthetic, rubber bonded to intermediate steel shim plates [...]. The bearings are constructed by placing unvulcanized rubber sheets and steel shims in a mold, then subjecting the mold to elevated temperature and pressure to simultaneously vulcanize and bond the rubber» (Warn & Ryan, 2012)

**4.3.2 L'uso degli elastomeri degli pneumatici – integri o ridotti a granulato – è stato proposto da più autori dal 2002 al 2008**

pneumatici, ma non era lo scopo principale per il quale essi venivano impiegati. «Diversi pneumatici potrebbero fornire una buona base per il pavimento dell'abitazione. È difficile sbilanciarsi sulle eventuali proprietà antisismiche che l'uso della gomma come base per una pavimentazione potrebbe fornire, ma sicuramente un certo numero di pneumatici adeguatamente riempiti di pietre reggerebbe senza difficoltà il peso sovrastante, relativamente leggero, dell'abitazione di uno slum» (idem).

La United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) si era già attivata per sviluppare sistemi di isolamento sismico che impiegassero sistemi basati sulla gomma naturale e, specificatamente con questa destinazione, nel 2005 era stato brevettato un *Method and apparatus for reducing earthquake damage in developing nations using recycled tires*<sup>8</sup>.

Rivolgendosi alle nazioni dei paesi in

via di sviluppo e alle aree più povere degli Stati Uniti, gli inventori si proponevano di rispondere con una soluzione a basso costo al problema dei terremoti. Riempiendo copertoni di automobili con pietrisco<sup>9</sup> di granulometria circa 2 cm e ponendoli ai quattro angoli di una costruzione, sostenevano che «upwards of 85% of applied accelerations may be successfully absorbed» (Lang & Sargent, 2002).

I dubbi più convincenti su questa soluzione sono stati espressi in un articolo da Hing-Ho Tsang (2007) nel quale proponeva di riciclare con lo stesso fine l'elastomero che compone gli pneumatici, e da Rosario Ceravolo<sup>10</sup>.

Tsang ha sostenuto che un potenziale problema del brevetto di Lang e Sargent sia che «the structure has to be detached from the ground, which is practically not favourable in particular for small residential houses» (Tsang, 2007), mentre per Ceravolo quell'idea «non garantisce il soddisfacimento di uno dei requisiti di base delle strutture in zona sismica, cioè la solidarietà e l'uniformità della risposta delle fondazioni» (Ceravolo, 2011) le quali, va ricordato, in questa soluzione poggiano senza legame vicendevole sui quattro angoli.

La proposta di Tsang – che non incidentalmente si riproponeva anche di sottrarre alle discariche gli pneumatici fuori uso – prevedeva invece di usare l'RSM (rubber-soil mixtures), un misto di terra e granulato di gomma, sostituendo per un'altezza di 10 m la terra normalmente presente nel sottosuolo sul quale fonda un edificio.

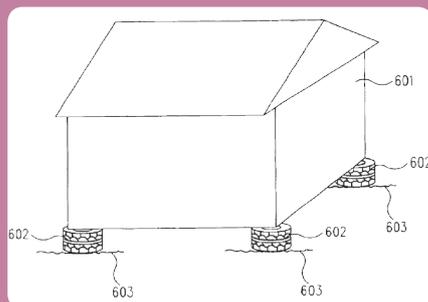
Al di sopra immaginava possibile una costruzione-tipo di lunghezza 40 m e altezza 10 piani, come un ospedale oppure un palazzo

<sup>8</sup> Lang & Sargent, 2002

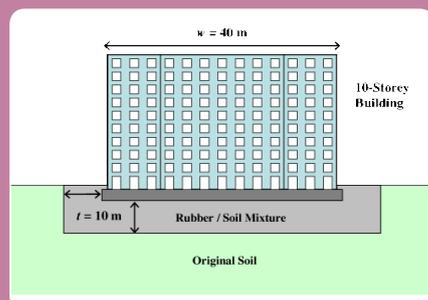
<sup>9</sup> «Hard rock, such as granite, is preferred. Such hard rock should also be broken, fractured or crushed (which is preferred), as it will improve the material's surface/volume ratio thus increasing its ability to absorb frictional energy» (idem)

<sup>10</sup> Ceravolo, 2011

**Il brevetto di Lang e Sargent lascia agli pneumatici posti agli angoli della struttura il compito di rispondere con funzione dissipativa alle scosse sismiche**  
[disegno A. F. Lang & J. D. Sargent, 2002]



**La proposta di Tsang fa uso di una terra mista a granulato di gomma (ricavato dagli pneumatici) come base per le fondazioni di un edificio di notevoli dimensioni**  
[immagine H. Tsang, 2007]



residenziale o per uffici.

L'uso in contemporanea di terra e granulato di gomma avrebbe evitato la questione del "decollo" della struttura - problema presente invece in sperimentazioni senza armatura metallica (come nella scuola macedone del 1969) - perché «Soil reinforced with rubber demonstrates a substantial increase in shear strength compared with normal soils [...], and more importantly a tremendous increase in energy dissipating capability», così come «an addition of more than 10% tire chips into loose sand results in shear strength that is greater than that of the dense sand» (Tsang, 2007).

Tsang ammette onestamente due limiti della propria ricerca: «It is well recognized that soils yield at moderate to high levels of strains and give rise to nonlinear response [...]. There was a consensus that damage was mostly caused by soft, near-surface ground conditions [...] . Hence, it might be reasonable to postulate that RSM may not be beneficial in reducing the shaking level. [...] Earthquakes produce seismic waves with a wide spectrum of frequencies. If a certain seismic wave component with high energy matches the natural frequency of the surface geological deposits, the interaction could potentially amplify the level of shaking, commonly referred to as soil resonance» (idem).

Se in presenza di sedimenti "soffici" (quali depositi alluvionali e terreni di riporto) si registrano forti amplificazioni locali e sollecitazioni non previste dando luogo a una risposta non lineare, la presenza di un RSM potrebbe risolversi come un fattore tutt'altro che positivo nella riduzione delle vibrazioni.

### 4.3.3 Nuova proposta e problematiche connesse

La proposta di Tsang - più particolareggiata di quella di Lang e Sargent - è interessante e merita un approfondimento, che pure non sarà (solo) sugli aspetti tecnici.

La sua idea - come quelle contenute in questa tesi e il brevetto di Lang e Sargent - era rivolta in particolare ai paesi in via di sviluppo, perché prevedeva una soluzione a basso costo di un problema noto facendo ricorso all'uso di un rifiuto. Ma mentre Lang e Sargent proponevano un semplice riuso, l'utilizzo da parte di Tsang dell'RSM - che, con la sua funzione isolante, è la base stessa della proposta - necessita di una lavorazione complessa sugli pneumatici fuori uso, che solo apposite macchine frantumatrici sono in grado di garantire.

Eppure l'idea in sé rimane affascinante, perché l'isolamento alla base sarebbe il sistema più semplice per affrontare i terremoti anche nei paesi a medio e basso sviluppo umano e potrebbe affiancarsi a quei sistemi non dissipativi già patrimonio culturale di molte popolazioni di quei paesi.

L'uso dell'elastomero che compone gli pneumatici sarebbe un adattamento moderno del modo di costruire e isolare le strutture già conosciuto in tempi antichi, con l'impiego di un nuovo componente oggi disponibile a causa della produzione di questo rifiuto, sempre crescente e sconosciuta nel passato.

Se gli pneumatici isolatori non fossero posti agli angoli della costruzione (con il rischio già paventato di risposte non uniformi), ma fossero un vero e proprio letto, questo funzionerebbe in maniera molto simile all'idea di Tsang.

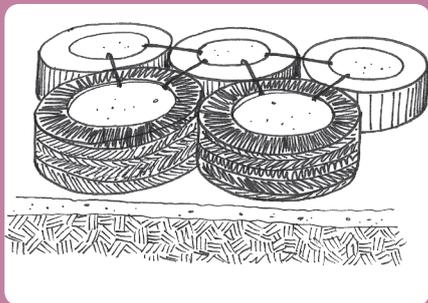
Il *base isolation*, così come viene

4.3.2 Uno dei problemi maggiori dati dall'impiego di elastomeri non armati è il (possibile) rischio di amplificare le onde sismiche

4.3.3 L'elastomero degli pneumatici fuori uso potrebbe porsi come materiale alternativo e a costo quasi nullo per creare isolatori sismici

Gli pneumatici, posti sopra un getto di pulizia, dovrebbero essere colmati preferibilmente con calcestruzzo (oppure, ove non fosse possibile, con ghiaia) ed essere legati tra loro

[disegno I. Caruso, 2013]



**4.3.3 Uno strato di pneumatici riempiti di calcestruzzo e legati tra loro potrebbe funzionare come base isolation per una sovrastante struttura**

attuato, prevede che la piastra e la sua sovrastruttura siano collegate al suolo da un certo numero di colonne-isolatori sismici. Se invece si utilizzassero uno o più strati di pneumatici legati tra loro, questi potrebbero assolvere alla stessa funzione con minore dispendio di risorse economiche, e quindi con maggiore possibilità di diventare un sistema realmente adottabile nei paesi in via di sviluppo. Al di sotto di questo strato sarebbe ovviamente indispensabile il getto di un magrone, per evitare che naturali cedimenti del terreno (non solo movimenti di natura sismica) modificano e dunque vanifichino le proprietà della struttura dissipativa.

Gli pneumatici sarebbero deformabili orizzontalmente, riempiti al loro interno di ghiaia di granulometria 19 mm, così come proposto da Lang e Sargent nel loro studio sulla risposta alle scosse sismiche<sup>11</sup>.

In alternativa, qualora vi fosse la possibilità, gli pneumatici

dovrebbero essere colmati di calcestruzzo, in modo da migliorarne l'indeformabilità e la rigidità in direzione verticale.

In entrambi i casi (e, nel secondo, prima del getto) la struttura dovrebbe avere i propri elementi singoli legati tra loro attraverso un filo di acciaio di idoneo spessore.

Verrebbe così creato un vero e proprio corpo di base, rigido, che possa anche oscillare lentamente per far «ottenere l'aumento del periodo proprio di vibrare della struttura» e così «allontanarlo dalla zona dello spettro di risposta con maggiori accelerazioni» (Buffarini, Clemente & Satta, 2007) così come richiesto dalla *base isolation*.

Se la deformazione fosse concentrata su questo strato di pneumatici si avrebbe conseguentemente una riduzione degli spostamenti di interpiano dell'edificio, perché verrebbero ridotte le accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura.

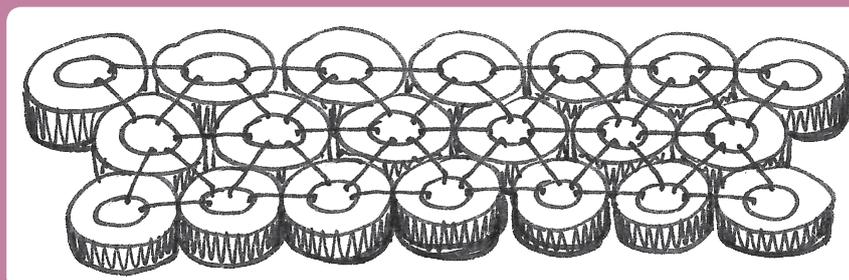
La differenza sostanziale di questa proposta è che diversamente degli isolamenti sismici adottati nei paesi ad alto sviluppo umano – che si pongono come dispositivi molto flessibili inseriti tra la struttura e le fondazioni – questa proposta ne prevede un uso al di sotto delle fondazioni, simile in questo a quella di Tsang.

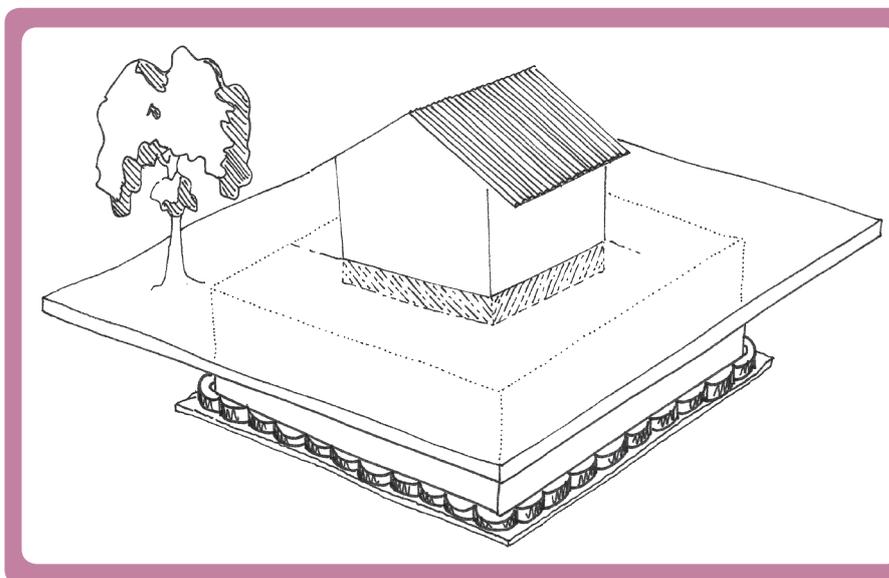
Non vanno nascosti gli eventuali problemi: sappiamo che diverse

<sup>11</sup> «With slight discrepancies, the 3/4 inch rock aggregate behaved similarly for both the light and heavy axial loads. Typically at frequencies above 2 Hz both test configurations using rock aggregate performed remarkably well: the eliminated structure's accelerations [...] were typically reduced 3 to 6 times relative to shake table accelerations. However, in general accelerations were better reduced when the rock aggregate was configured for the light axial load» (Lang & Sargent, 2002)

Ogni pneumatico circondato da altri pneumatici conterebbe sei legature, volte a limitare il singolo movimento per privilegiare quello di tutta la struttura

[disegno I. Caruso, 2013]





Sopra lo strato di pneumatici che poggia sul magrone verrebbe ripristinato lo strato di terra. Tsang prevedeva che questo strato fosse profondo 10 m al di sotto delle fondazioni. Se la costruzione sovrastante fosse di più modeste dimensioni, tale altezza potrebbe essere per lo meno dimezzata [disegno I. Caruso, 2013]

caratteristiche geomorfologiche dei terreni danno diverse risposte alle sollecitazioni, anche amplificandole. In caso di *near-field* - l'effetto della componente verticale dell'accelerazione del terreno - è difficile prevedere la risposta di uno strato di pneumatici. Del resto anche in Abruzzo il *near-field* «ha prodotto delle sollecitazioni non previste anche nelle costruzioni progettate secondo moderni criteri antisismici (gli effetti dovuti alla componente verticale del sisma vengono infatti considerati solo ed esclusivamente in alcuni casi particolari)» (Landolfo, 2009).

Un altro aspetto da considerare - un problema comune alle altre proposte di uso di pneumatici - è quello del comportamento del sistema a lungo termine. È noto che l'elastomero che compone gli pneumatici non è degradabile o, più correttamente, lo è in tempi molto lunghi (circa un secolo).

Questo non è però garanzia di un buon comportamento del sistema, se non in tempi medio-brevi, perché anche un'evoluzione dei parametri meccanici del materiale (ad esempio l'indurimento), potrebbe

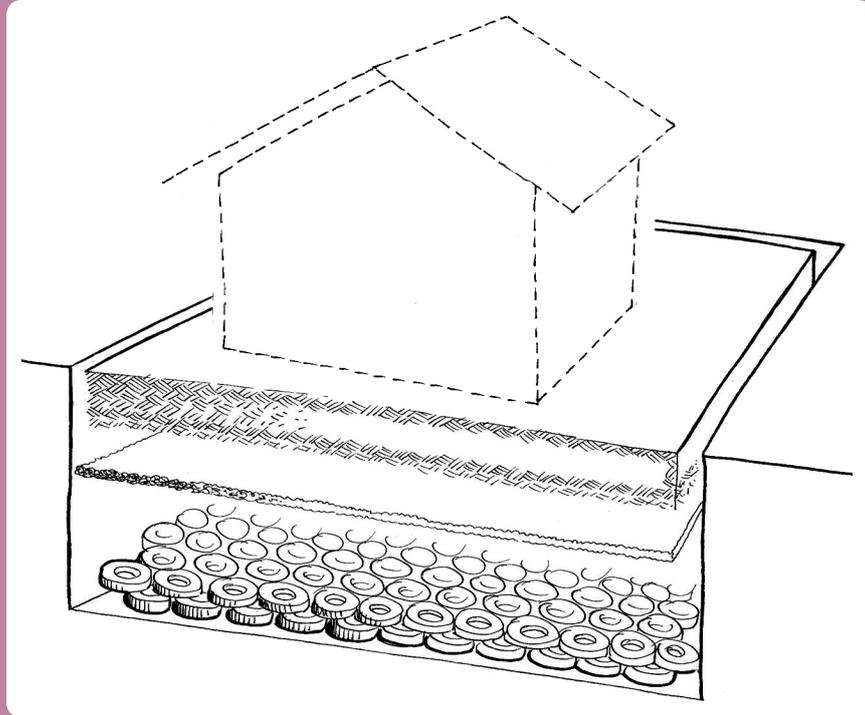
determinare un comportamento opposto, cioè amplificante, del sistema.

Tale problema sarebbe superato qualora gli pneumatici garantissero nel tempo la sussistenza di caratteristiche di alto smorzamento - cioè fossero in grado di limitare l'ampiezza del moto oscillatorio del sistema - ma questo non è possibile saperlo.

Le difficoltà di una sperimentazione in questo senso sono perciò dovute a tre fattori:

- la complessità della ricerca, che trascende la proposta di riuso dei rifiuti in autocostruzione contenuta in questa tesi;
- le scarse conoscenze sul comportamento nel tempo degli pneumatici oggi in commercio, essendo gli elastomeri in genere dei materiali relativamente recenti e non essendo dunque disponibile uno storico a cui fare riferimento (ovviamente tale incognita vale anche per gli elastomeri oggi impiegati nelle strutture antisismiche tradizionali);
- l'impossibilità di formulare teorie e l'inutilità di effettuare prove su scala ridotta, quando la ricerca

Si può ipotizzare che più strati di pneumatici possano fornire un isolamento alla base maggiore. È d'altra parte alto il rischio che allo stesso tempo possa aumentare la possibilità di risposte amplificative da parte del sistema, soprattutto in caso di near-field [disegno I. Caruso, 2011]



attuale è orientata – soprattutto in Giappone, paese all'avanguardia nel campo – a sperimentare su edifici in scala reale.

Resta dunque la proposta di questo riuso degli pneumatici, sicuramente necessaria di approfondimenti, che al momento si immagina rivolta soprattutto a edifici di piccole dimensioni e di carattere comunitario.

Per fornire anche le nuove abitazioni

di questo strumento sarebbero necessari idonei quantitativi di pneumatici e conseguenti costi di confezionamento del calcestruzzo necessario, non sempre sostenibili. Sarebbe però auspicabile che una struttura dissipativa come questa fosse in dotazione a edifici pubblici e a strutture non abitative nelle quali gestire la prima fase di emergenza in seguito un terremoto.