

XXXIX Giornata dell'ambiente
Pericolosità e rischi naturali: come migliorarci?
Accademia Nazionale dei Lincei
21 Ottobre 2022

Rischio sismico: stato e prospettive

Paolo Rugarli*

*Ingegnere Strutturista presso Castalia srl - paolo.rugarli@castaliaweb.com

1 Introduzione

Il rischio sismico in Italia ha provocato negli ultimi cinquanta anni una spesa media per interventi post-sisma pari a circa tre miliardi di euro all'anno (Legnini, 2022¹).

Tale cifra corrisponde a circa 500 euro all'anno per ogni cittadino italiano di ogni età, anche i poppanti, e ha certamente contribuito ad accrescere il nostro spaventoso debito pubblico. Ai soldi spesi si aggiunge lo sfollamento di intere popolazioni, l'abbandono per anni e anni di città e centri pieni di storia e tradizioni, e naturalmente la perdita di molte vite umane.

Se almeno questa cifra spaventosa, unita alla perdita di vite umane, alla distruzione e all'abbandono di interi territori, fosse servita se non a risolvere almeno a mitigare il problema, potrebbe essere stato denaro ben speso e si potrebbe parlare di lutti *utili*.

Purtroppo non è così.

Sono cambiate, apparentemente, molte cose, ma resta un approccio strabico da parte dello Stato, e la più completa ignoranza dei termini minimi del problema da parte della popolazione. I vari governi, e le classi dirigenti che li hanno espressi, preferiscono attendere che il problema venga dimenticato; se intervengono, lo fanno con strumenti di legge mal concepiti, mal applicati, e debolmente utili alla mitigazione del rischio.

¹ “Dal 1968, anno del terremoto del Belice, ad oggi, l'esborso a carico dello Stato per la ricostruzione degli immobili danneggiati è stato enorme. Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri, sulla base degli atti parlamentari, calcolava nel 2014 un costo complessivo di 121 miliardi di euro. Questa somma, rivalutata ai prezzi correnti, è pari a 159 miliardi di euro, cui si devono aggiungere almeno 27 miliardi di euro per i danni causati dal sisma del Centro Italia del 2016, ed altri 5 miliardi dovuti ai maggiori costi del sisma del 2009. In totale, a prezzi correnti, sono 191 miliardi di euro di danni in 54 anni. La spesa effettiva sostenuta fino a questo momento è stata di 165 miliardi di euro, ovvero di 3 miliardi di euro l'anno” (Giovanni Legnini, commissario straordinario di governo per la ricostruzione post sisma 2016).

In questa nota si vogliono riepilogare alcune delle principali criticità esistenti e si vuole cercare di dare un contributo utile alla discussione e al miglioramento della situazione. La nota, volutamente, è scritta in un linguaggio comprensibile da chiunque, dato che le argomentazioni tecniche, oltre ad essere state più e più volte pubblicate anche in questa stessa sede (Rugarli 2015a, Rugarli 2015b, Panza e Rugarli 2016), non consentono ai veri destinatari, i cittadini, di comprendere i termini del problema.

2 Rischio

Il rischio è convenzionalmente dato dal dosaggio di tre “ingredienti”, la pericolosità, la vulnerabilità e la esposizione.

Se un territorio non è soggetto, allo stato delle nostre conoscenze, al possibile verificarsi di forti scosse sismiche, la sua *pericolosità* è blanda o nulla. Se invece in un certo luogo sappiamo che potrebbero verificarsi scosse di forte intensità, allora la pericolosità è alta. La valutazione quantitativa della pericolosità è oltremodo difficile, ma negli ultimi decenni sono stati fatti importanti passi avanti. La stima della pericolosità si estrinseca nella redazione di “mappe sismiche” che forniscono, luogo per luogo, degli indicatori della severità dei sismi attesi o possibili.

Alcune mappe danno gli scuotimenti che potrebbero essere superati in funzione della probabilità che ciò avvenga in un dato lasso di tempo (ad esempio 10% in 50 anni, *tot*, 5% in 100 anni maggiore di *tot*: a minore probabilità di occorrenza e/o maggiore lasso di tempo, maggiore severità di scuotimento).

Altre mappe, lo vedremo tra poco, forniscono invece una stima del massimo atteso a prescindere dalla probabilità e dal periodo di riferimento.

Se consideriamo un’altalena:

- le prime direbbero con quale probabilità si sederà un signore più pesante di 90kg nei prossimi dieci anni, o, viceversa, qual è il peso che ha una certa probabilità di essere superato, ad esempio il 6%, in, per esempio, 13 anni;
- le seconde, che al massimo è atteso si possa sedere una persona di 120kg, dato il modo in cui è fatta l’altalena, senza volere e potere specificare alcuna probabilità.

Se un edificio in presenza di scosse potrebbe verosimilmente crollare, esso è *vulnerabile*. Se, anche in presenza di forti scosse sarebbe invece capace di resistere, la sua vulnerabilità è bassa o nulla. La stima quantitativa della vulnerabilità di un edificio o di una costruzione è anch’essa oltremodo difficile, anche in presenza di scuotimenti perfettamente noti. Ciò è vero in specie per gli edifici irregolari, in muratura, più e più volte modificati nel corso degli anni, e là dove, come frequentemente accade anche per edifici del dopoguerra, non si sappia esattamente come l’edificio sia stato costruito, quanto acciaio sia stato messo, dove, come. In questi casi la prassi (da abolire a parere di chi scrive) è ricorrere al *progetto simulato*: si pensa che l’edificio sia stato fatto come le norme dell’epoca in cui è stato costruito prescrivevano. La determinazione delle reali (e non simulate) caratteristiche di una costruzione esistente è naturalmente possibile, ma ha un costo non trascurabile e spesso questo costo non si vuole sostenere, preferendo appunto approcci più semplici.

Per la definizione del rischio, occorre ancora chiarire che esso è anche dipendente dalla *esposizione*, vale a dire dal valore dei beni, delle persone o dei servizi che potrebbero essere danneggiati da crolli o disservizi. Anche in questo caso, la valutazione quantitativa è oltremodo difficoltosa, perché se da una parte è persino discutibile la possibilità di convertire il valore delle persone, delle loro vite, del loro possibile sfollamento, delle comunità e del loro valore civile in una unica unità di misura: il denaro, dall'altra nello specifico caso italiano anche il valore degli stessi edifici presenta considerevoli difficoltà di valutazione. Si pensi ai nuclei storici che definiscono la stessa identità del nostro Paese, per non parlare delle opere d'arte e degli edifici e monumenti unici di cui è costellato il territorio.

Per tutte queste buone ragioni, una *esatta* definizione del rischio è oltremodo difficoltosa, ma è tuttavia possibile, rinunciando ad illusorie valutazioni quantitative eccessivamente precise, almeno definire le situazioni per le quali il rischio si presenta indubbiamente alto, da quelle in cui esso è minore o comunque certamente più basso.

Un ordinamento degli edifici in base al loro rischio sismico è quindi possibile, ancorché in modo necessariamente approssimato e in parte qualitativo. Al momento, come vedremo, tale ordinamento non esiste.

3 Ingegneria strutturale, la Cenerentola delle discipline tecniche

Una prima evidente criticità, già segnalata da anni (Rugarli 2014), è che nel nostro Paese si è affermata l'idea che la progettazione e realizzazione delle costruzioni, nonché la loro modifica per consolidarli, allargarli o abbellirli, possa essere appannaggio di una vasta categoria di persone, portatrici delle più diverse competenze professionali. Tutti si occupano di sicurezza strutturale, o meglio, tutti si occupano di edilizia, spesso senza troppo badare alle ricadute sulla sicurezza strutturale.

Non soltanto architetti e geometri, ma anche ingegneri privi di preparazione specifica (chimici, meccanici, elettrotecnici, e via discorrendo) e naturalmente anche persone del tutto prive di studi attinenti, o anche di qualsiasi studio, hanno spesso avuto modo di intervenire sulle costruzioni, riconvertendo alla edilizia la iniziale formazione affatto diversa. Ciò è stato possibile poiché in Italia non si è affermato nei fatti il concetto che la valutazione della sicurezza strutturale, la edificazione e l'intervento sul costruito con attinenza strutturale, sia argomento specialistico e talvolta, quando si debbano fare valutazioni sismiche, altamente specialistico.

Sfortunatamente ci si è ormai resi conto che le valutazioni sismiche si devono fare praticamente sempre, il che ha obiettivamente trasformato il calcolo strutturale in una disciplina altamente specialistica, se mai prima non lo fosse stata.

Le costruzioni abusive, spesso autocostruite, hanno coperto ampie zone del Paese, e molte di loro sono state sanate dallo Stato per fare cassa (con singolare torsione, lo stesso Stato che obbliga a fare delle analisi numeriche sofisticate, ha sanato le costruzioni prive di alcun progetto). Il quadro è grave e non si deve credere che lo si stia sopravvalutando. Stando al CENSIS:

Gli anni '70 sono definibili come il ciclo della famiglia muratora, intendendo con questo enucleare una componente fondamentale della attività costruttiva legata all'autopromozione delle iniziative edilizie (di carattere essenzialmente monofamiliare), che hanno tappezzato il nostro territorio a

volte senza soluzione di continuità, ovvero alla realizzazione di interventi di riqualificazione del proprio alloggio sostanzialmente autogestiti.

(CENSIS 1984)

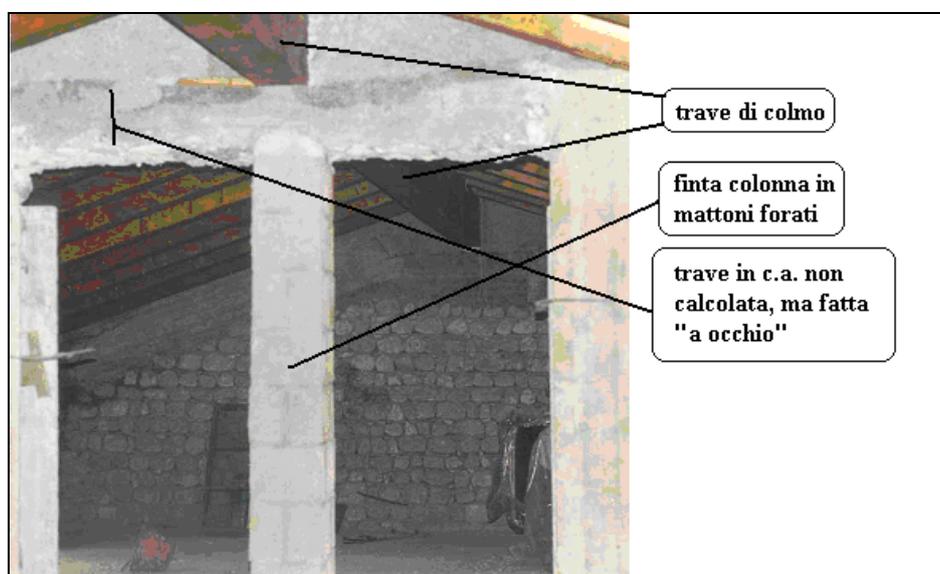


Figura 3-1. Edificio in muratura portante in Friuli: grossa apertura in parete portante trasversale centrale. Metà del peso del tetto (e della possibile neve) grava su una corta trave in calcestruzzo armato fatta a occhio, e senza alcun calcolo di progetto. Si intravedono i forati usati per realizzare la finta colonna. La manomissione avvenne ben dopo il 1976 in zona con $a_{g50y/10\%p}=0.245g$, da parte della impresa che sostituì il tetto. La richiesta di apertura pervenne alla impresa dalla proprietà, che voleva riutilizzare il sottotetto realizzando due camere. (Tratta da Rugarli, 2003).

E' del tutto normale, anche oggi, che imprese edili di tutte le dimensioni e caratteristiche lavorino attivamente per la edificazione di nuove costruzioni o per la modifica di costruzioni esistenti, anche interventi reputati piccoli o minori, senza che nessuno veramente sappia che ricadute potrebbero avere sulla statica dell'edificio (frequente il caso dell'abbattimento di tramezzi, della apertura di fori in murature portanti, Figura 3-1, della sopraelevazione, della aggiunta di superfetazioni che possono martellare, della aggiunta di masse, eccetera).

Non passa il concetto che l'intervento sul costruito deve sempre essere regolato e supervisionato da professionisti realmente competenti.

Vale la pena di ricordare che due dei crolli sismici che maggiormente hanno colpito l'opinione pubblica negli ultimi due decenni, il crollo della scuola di San Giuliano dove morirono molti bambini, e il crollo della Casa dello Studente a L'Aquila, dove morirono giovani studenti universitari, furono, come accertato dai relativi processi (Repubblica 2009, Mulas 2013), propiziati e concausati da interventi maldestri su una costruzione esistente da parte di persone evidentemente inconsapevoli di quanto stavano facendo. Nel caso della Casa dello Studente, furono anche accertati gravi errori nei calcoli sismici di progetto, rimasti occulti per decenni².

² Il progettista aveva fatto male i conti e attribuito agli elementi resistenti dell'ala nord una forza pari a un terzo di quella giusta.

Questi sono casi paradigmatici, ma la fattispecie è oltremodo diffusa.

Porre mano a questo problema genera scontento per ragioni economiche: a molti dovrebbe essere impedito di lavorare, e ciò porrebbe rilevanti problemi di occupazione. Vi sono forti resistenze di categoria, anche all'interno degli ingegneri, che limitano la possibilità di attuare le necessarie riforme. Sta di fatto che chiunque sia in possesso di una laurea in ingegneria presa con il vecchio ordinamento può iscriversi trasversalmente a qualsiasi sezione dell'ordine di appartenenza, ed esercitare la professione in qualunque ramo dello scibile ingegneristico, inclusa la ingegneria sismica.

Peraltro, chiunque, anche del tutto privo di laurea o di studi, può sviluppare e vendere software di calcolo strutturale: non c'è alcun controllo.

Non si vede tuttavia la ragione per la quale un medico con specializzazione in ortopedia non possa operare al cuore, e non a lui ci si rivolga per curare un tumore, mentre quando si tratta di valutare edifici esistenti, di porvi mano, o anche di progettare scaffalature industriali nuove, o di valutare le esistenti, basti una laurea in ingegneria vecchio ordinamento, qualsiasi essa sia. E ciò in assenza di una prolungata, specifica formazione universitaria sugli argomenti da trattare. In realtà, come si vedrà, la ragione c'è: mentre una operazione chirurgica maldestra uccide o menoma di solito subito, una errata progettazione o una manomissione delle strutture di un edificio può non uccidere mai, oppure a distanza di decenni.

Questa specifica preparazione in ingegneria strutturale è di fatto surrogata dalla esperienza acquisita e, talvolta, da corsi a punti della durata di poche ore, fatti passare come "formazione", là dove, nella maggior parte dei casi, si tratta di attività superficiali e necessariamente solo preliminari allo studio vero e proprio.

Inoltre, aver studiato ingegneria strutturale per cinque anni, magari con specializzazione in ingegneria sismica, ma non partecipare a questi corsi, porta alla impossibilità di esercitare in ambito anche sismico (perché i punti diminuiscono ogni anno automaticamente), mentre l'ingegnere elettronico vecchio ordinamento che vi abbia partecipato potrebbe farlo, sempre anche lui in ambito sismico (Rugarli 2014).

Paradosso aberrante delle leggi e delle consuetudini del nostro Paese.

Un altro dei problemi, anch'esso già segnalato nelle più alte sedi istituzionali (Rugarli 2021), è la riforma del codice deontologico degli ingegneri, teso oggi più a tutelare gli interessi della categoria e dei committenti che a tutelare la sicurezza dei cittadini. In sostanza, il rischio è che i problemi vengano taciuti anziché affrontati.

Fatto sta che per mitigare il rischio sismico per gli edifici nuovi e per quelli esistenti, è necessario disporre di persone specificamente competenti nella materia, e che le persone specificamente competenti nella materia sono in numero oggi troppo esiguo. Se è vero, come è certamente vero, che una laurea specialistica non è un criterio esaustivo, e che ci sono eccellenti professionisti che hanno avuto una formazione inizialmente diversa, è anche vero che molte persone prive di competenza esercitano e che ciò rappresenta un pericolo. Lo Stato dovrebbe trovare dei criteri per discriminare gli uni dagli altri, ma non lo fa. Così come il controllo sui progetti appare caotico, inefficiente ed erratico.

Todos caballeros non è una soluzione ma un problema.

4 La qualità della informazione

Poiché il rischio sismico, come del resto quello idrogeologico, coinvolge ampie parti della popolazione, e dato che non è pensabile che il problema venga affrontato senza il concreto aiuto e la presa di coscienza del problema da parte della popolazione stessa, ci si potrebbe attendere che da parte dello Stato sia messa in atto una massiccia campagna di informazione.

Nulla di tutto questo.

Di terremoti, della loro possibile azione devastatrice, delle azioni che sarebbe opportuno compiere per mitigare il rischio, non si parla se non appena dopo un disastro, per pochi giorni.

In compenso, recentemente, una sentenza del tribunale civile dell'Aquila ha sottratto il 30% degli indennizzi ai famigliari di alcune vittime, reputando le vittime stesse corresponsabili della loro morte in quanto rimaste a letto a dormire nonostante la sequenza di scosse precedenti quella maggiore (e dimenticando che da fonte ufficiale erano arrivate indebite rassicurazioni).

Lo Stato, che pure dispone di tutti i mezzi per diffondere la informazione, non si fa parte attiva nel dare ai cittadini le informazioni minime necessarie a prendere coscienza del problema, ed anzi sembra spingere i cittadini a credere che l'eventualità che un sisma li colpisca sia alquanto remota, o meglio "improbabile".

Dopo ogni terremoto, qualcuno va in televisione e fa vedere una mappa a colori con gli scuotimenti che hanno *tot* "probabilità" di essere superati in *tot* anni, e nessuno capisce veramente nulla. In particolare, passa subliminalmente l'idea che cotali mappe, policrome e ricche di nuances, siano precise là dove non lo sono affatto. Passa inoltre il concetto che possiamo valutare le "probabilità" in qualsiasi luogo, e per qualsiasi lasso di tempo. Spesso, con effetti disastrosi, si parla di "periodo di ritorno" dei terremoti; recentemente si usa il meno compromettente "tempo di ritorno"³. E' parere di chi scrive che tale modalità di informazione sia gravemente fuorviante per la popolazione, e concorra piuttosto a tranquillizzare che ad informare (Rugarli 2015b).

Se i cittadini fossero correttamente informati, dovrebbero poter valutare da sé i rischi che si accollano, e forse se fosse data loro una informazione corretta, si farebbero parte attiva nel contribuire a mitigare il rischio, almeno evitando di agire sul costruito in modo potenzialmente disastroso nell'ambito di lavori di ristrutturazione che sono ormai una cospicua parte dei lavori edili.

Il fatto che ancora oggi ci siano persone che edificano abusivamente senza progetto, o si fanno da sé la casa⁴, fidando nei successivi condoni, o che si affidano a personale inadeguato per eseguire ristrutturazioni potenzialmente disastrose per la tenuta sismica degli edifici coinvolti, significa che la

³ In analisi matematica il *periodo* è il lasso di tempo che separa valori identici di una funzione, appunto: periodica, del tempo

⁴ Io mi sono visto proporre tre o quattro anni fa, nella Calabria jonica più remota, l'acquisto di un appartamento come seconda casa in una palazzina di calcestruzzo armato di tre piani integralmente abusiva ed auto-costruita. Di fronte al mio stupore esterrefatto il proponente garantiva di aver usato tantissimo "ferro" ed ottimo cemento.

popolazione italiana non comprende che il rischio è concreto, e che così facendo possono mettere a repentaglio la loro stessa vita.

La prima cosa da fare, a costo quasi zero, è dunque informare correttamente la popolazione, impiegando la televisione pubblica per far passare regolarmente e stabilmente pillole informative di tipo pubblicitario, non certo trasmissioni di approfondimento che non vedrebbe che una esigua minoranza, che, gradualmente, aiutino la popolazione a comprendere i termini del problema. Nel fare questo, però, si dovrà evitare di usare ragionamenti ingannevoli, e si dovrà ammettere il reale grado delle nostre conoscenze: altra cosa che non piace molto, perché ben pochi esperti sono disposti a dire “non lo so”.

Se il terremoto è un evento fortemente improbabile e se ne può valutare luogo per luogo, severità per severità, la “probabilità”, *cosa che non è*; se vien fatto passare più o meno inconsapevolmente il concetto che il terremoto “ritorna” dopo un certo numero di anni, come una cometa o un autobus, *cosa che non è*; che le repliche (aftershocks) sono scosse di assestamento, *cosa che non è*; se le normative tecniche impongono calcoli che partono da scuotimenti descritti con tre o quattro cifre come se ciò fosse sensato, *cosa che non è*; la popolazione e gli stessi tecnici sono ingannati e fuorviati, e la scommessa di edificare in modo sregolato può apparire *razionale*.

In realtà, le “probabilità” sono illusorie e infondate, il terremoto non “ritorna” regolarmente, e quindi non siamo in grado di dire nulla di preciso, fatti salvi i pionieristici e promettenti tentativi di preallarmare certe ampie zone, sulla base della attività sismica esistente (Panza e Peresan 2016, cap. 6).

Disinformare la popolazione ha i suoi vantaggi: ci si limita ad intervenire a terremoto avvenuto, come infatti è regolarmente successo negli ultimi decenni. Diversamente, dal basso potrebbe arrivare la richiesta di soluzioni, e talune delle scelte di spesa del denaro pubblico potrebbero apparire fortemente immotivate.

5 La fotografia della situazione è sfocata

Avendo in animo di attuare sensate politiche di mitigazione del rischio, sembra ovvio che la prima cosa da fare sarebbe pervenire ad una rappresentazione abbastanza affidabile dello stato attuale del patrimonio edile italiano, in modo da incrociare i dati di pericolosità con quelli di vulnerabilità ed esposizione, determinando quindi le situazioni di maggior rischio e discernendole da quelle di rischio minore.

Purtroppo, lo Stato non dispone delle informazioni necessarie, e la fotografia dell’attuale stato delle cose è fortemente sfocata. Paradossalmente si sa di più della pericolosità sismica, fenomeno naturale non controllabile dall’uomo, che della vulnerabilità del patrimonio edile esistente, interamente governato dall’uomo.



Figura 5-1. Il crollo di Viale Giotto (fonte: <https://www.foggiatoday.it/cronaca/11-novembre-1999-2019-anniversario-crollo-viale-giotto-20-anni.html>)

Il giorno 11 novembre 1999 crollava senza preavviso e senza apparente ragione un edificio in viale Giotto a Foggia, causando *sessantasette morti*. Le successive indagini dei periti del giudice portarono alla luce un quadro di gravi carenze che è opportuno ricordare qui per le considerazioni che ne scaturiscono (Palmisano e Vitone 2001):

Questa circostanza – che è conseguenza di una sistematica valutazione in difetto delle sollecitazioni agenti, per errori che possono ricondursi al calcolo, ma principalmente alla sottostima dei carichi unitari utili – può sostanzialmente ritenersi equivalente ad una riduzione del coefficiente di sicurezza [...].

Nel caso dell'edificio di viale Giotto a queste gravi premesse si sono aggiunte ulteriori ed ancor più gravi circostanze, che si possono ricondurre alla scorretta progettazione delle armature, alla pessima qualità delle modalità esecutive, e – soprattutto – alle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi, straordinariamente modeste.

Si deve dunque concludere, con riguardo alla identificazione delle cause alle quali attribuire la responsabilità del fenomeno di collasso, che le riscontrate caratteristiche fisiche e meccaniche dei calcestruzzi erano così straordinariamente carenti e così gravi i difetti di progettazione ed esecutivi da potersi affermare che il collasso dei pilastri 24 e 25 era già 'convenzionalmente' avvenuto sotto il profilo tecnico sin dal momento della entrata in esercizio dell'edificio!

(Palmisano e Vitone 2001)

Quindi, questo edificio non solo era stato costruito con materiale scadente, ma i carichi erano stati sottostimati, le armature mal progettate, ed era stato costruito con pessime modalità esecutive. Era già tecnicamente crollato quando fu eretto.

Nonostante ciò:

- La costruzione resistette per *31 anni*, dal 1968 al 1999.

- Gli unici segni premonitori furono scricchiolii e un disallineamento delle porte (una famiglia, interpretando correttamente tali segni scappò via prima del crollo, salvandosi).
- Subì diverse scosse sismiche, causate da eventi aventi magnitudo M_d maggiore di 3 (massimo 4.4 nel 1995), con distanze epicentrali di una ventina di chilometri e profondità ipocentrali comprese tra 5 e 22 km (di solito San Giovanni Rotondo, Manfredonia, e, più lontana, Carpino). E' possibile che la serie di queste piccole scosse abbia ulteriormente aggravato la situazione, ed in particolare la sequenza di scosse del 1996, sette, può aver propiziato il crollo (Tabella 1). I nostri attuali metodi non sono in grado di apprezzare l'effetto di tali accadimenti, ma ci sono pochi dubbi sul fatto che interferiscano sulla statica *reale* degli edifici *reali*.

1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1	3	1	0	3	1	0	1	1	2	13	7	3	2	1

Tabella 1. Numero di eventi con $M_d \geq 3.0$ nell'area intorno a Foggia, dal 1985 al 1999

Questo è un fatto tipico. Gli edifici mal costruiti e pericolosi non crollano subito, possono crollare ad anni di distanza e senza preavviso. Errori anche gravi possono rimanere occulti per decenni. Questo fatto è una caratteristica propria dei problemi di ingegneria strutturale (Rugarli 2014) e ricalca quanto avviene anche in altri ambiti (Kahneman, 2012): *i professionisti possono apprendere dalla esperienza la lezione sbagliata*. Infatti, l'edificio di viale Giotto (e il suo gemello che fu intenzionalmente demolito dopo il crollo) erano rimasti in piedi per 31 anni, durante i quali progettista, costruttore, e i loro clienti passati e futuri, avevano potuto credere che gli edifici fossero sicuri. I costruttori abitavano nell'edificio e perirono nel crollo.

Se ci fosse stata una scossa più forte, anziché tante piccole scosse, l'edificio sarebbe crollato in concomitanza alla scossa, e si sarebbe inizialmente parlato di fatalità o di terremoto come causa del crollo. Solo indagini serie come quelle condotte dai periti del giudice (A. Vitone e V. Vitone), avrebbero potuto ristabilire la verità.

Ciò è quanto è avvenuto sia per il crollo della scuola di San Giuliano, sia per il crollo della Casa dello Studente a L'Aquila.

E' allora lecito porsi la seguente domanda: quanti edifici si trovano in condizioni di pericolo per ragioni analoghe a quelle che hanno portato al crollo dell'edificio in viale Giotto, ma non sono crollati? Possiamo individuarli prima del loro possibile crollo? Come influisce questa circostanza sulla loro vulnerabilità sismica? E se questi edifici sono in numero significativo, quale sarà la situazione di rischio sismico del Paese?

A queste lecite domande rispondono autorevolmente gli stessi periti del crollo di viale Giotto, e quanto concludono i periti nella loro disamina del problema ha molto a che fare con l'oggetto di questo lavoro, e segnatamente alla parte relativa alla vulnerabilità degli edifici esistenti:

... se è pur vera la straordinarietà del concorso di eventi negativi determinatosi nel caso dell'edificio di viale Giotto, non vi è carenza, difetto o errore della lunga lista compilata nella presente perizia, che non sia singolarmente (o in pericolose concomitanze) riscontrabile nella generalità delle costruzioni in cemento armato realizzate tra l'inizio degli anni '60 e la fine degli anni '80.

Questa circostanza imporrebbe di affrontare il non semplice tema della sperequazione del rischio al quale sono soggetti cittadini del tutto inconsapevoli.

(Palmisano, Vitone, Vitone e Vitone, 2001)

Facendo ora riferimento ai dati ISTAT (Cortese 2015), emerge che nei decenni dal 1951 al 1981, sono state costruite moltissime abitazioni (alloggi, da non confondere con edifici), i dati sono in Tabella 2.

Decennio	Abitazioni costruite (dati ISTAT)	Abitazioni costruite (arrotondamento)
1951-1960	2 115 529	2,1 M
1961-1970	3 432 069	3,4 M
1971-1979	1 841 105	1,8 M

Tabella 2. Abitazioni nuove costruite negli anni dal 1951 al 1979 (ISTAT, Cortese 2015)

Si parla di circa 7,3 milioni di abitazioni costruite in questo periodo.

Il numero degli edifici coinvolti dalla osservazione di Palmisano e dei Vitone è dunque enorme, e il lavoro da fare per cercare di avere una idea più precisa della reale situazione di questi immobili abbraccia necessariamente svariati lustri.

Per avere una comparazione, il numero delle *abitazioni* complessive (occupate e non) passa da 11,4 milioni nel 1951 a 21,9 milioni nel 1981. Nel 2011 erano 31,2 milioni. Secondo i dati ISTAT, nell'ultimo censimento del 2011 risultano 12,2 milioni di *edifici* residenziali, con una media aritmetica di circa 5 persone per edificio (per l'esattezza 4,83, ISTAT, sito). Il numero totale degli edifici risulta pari a 14,5 milioni dei quali sono occupati 13,7 milioni.

Apparentemente la esposizione media per edificio in termini di vite umane, 5 persone, è molto minore di quanto ci si potrebbe attendere. Ma in realtà tale valore deriva dalla mediazione di termini molto diversi. Se esistono tantissime costruzioni monofamiliari, occupate da famiglie sempre più mononucleari, specialmente nei borghi e nei centri minori e nelle aree rurali, nelle grandi città la regola è costituita da condomini di almeno 4 o 5 piani, a volte di più, dove alloggiano molte famiglie (si è visto che a Foggia morirono 67 persone in un solo edificio). La maggior parte di questi edifici sono proprio stati costruiti nel dopoguerra.

Date queste circostanze, sembrerebbe ovvio avviare una sistematica campagna di accertamento della vulnerabilità degli edifici esistenti, *anche senza necessariamente fare chi sa quali calcoli difficili*, perché se per ogni abitazione si dovessero fare modelli complicati il lavoro durerebbe decenni. Bisognerebbe anche almeno *cercare* di intercettare le situazioni (come quella della scuola di San Giuliano, della Casa dello Studente, e dell'edificio di Via Giotto) per le quali sarebbe possibile pervenire alla certezza di una errata progettazione anche solo esaminando le carte di progetto, o eventualmente rifacendo calcoli elementari. Per fare questo sarebbe quindi necessario avviare una capillare attività di indagine, per avere una fotografia credibile della situazione edificio per edificio.

Si tratta di un lavoro enorme, che non è stato neppure iniziato ma che è fondamentale per la corretta allocazione delle risorse. In mancanza di informazioni credibili sulla vulnerabilità, manca la

conoscenza di uno dei termini del problema (ed in effetti *essa manca*) in modo che lo Stato è, di fatto, cieco.

Forse questi dati spiegano perché non si è fatto niente per avviare una seria indagine conoscitiva: troppo oneroso, troppo lungo, troppo difficile, costoso, non immediatamente spendibile nelle tornate elettorali, ed anzi, potenzialmente tale da ledere gli interessi economici dei proprietari degli immobili, elettoralmente numerosi.

All'indomani del crollo della palazzina in Viale Giotto, il prof. Barberi, allora Sottosegretario di Stato per l'Interno, propose la creazione del *fascicolo del fabbricato* come utile strumento conoscitivo (Barberi, 17 novembre 1999, a sei giorni dal crollo, ma *ventitré anni fa*). Diceva il prof. Barberi:

In particolare, è stata prevista l'adozione del cosiddetto « fascicolo del fabbricato » in cui saranno annotate tutte le informazioni relative all'edificio e su cui dovranno essere registrate le modifiche apportate rispetto alla configurazione originaria, con particolare riferimento alle componenti statiche, funzionali ed impiantistiche. Il fascicolo del fabbricato diverrà necessario presupposto per il rilascio di autorizzazioni e certificazioni di competenza comunale, nonché per la stipula di contratti di locazione o alienazione dello stabile o di singole unità immobiliari. Sono previsti incentivi, quali la detrazione fiscale del 41 per cento, sia del costo per l'istituzione del fascicolo, sia di quello relativo agli interventi di consolidamento. Inoltre, in considerazione della diffusione che il fascicolo dovrà avere, il Ministero dei lavori pubblici, al fine di ridurre l'onere a carico dei proprietari, promuoverà una convenzione nazionale con gli ordini professionali per la definizione agevolata dei compensi, nonché un accordo fra le organizzazioni delle società di assicurazione e quelle della proprietà edilizia per definire premi assicurativi agevolati per i fabbricati che si saranno dotati del fascicolo.

L'idea era molto buona, e se fosse stata messa in atto, oggi, a ventitré anni di distanza, disporremmo di una fondamentale messe di informazioni necessaria a orientare le azioni tese a mitigare il rischio. Invece (Tacconi 2021), il percorso di questa buona idea si è rivelato molto accidentato, e sia la Corte Costituzionale che il T.A.R. si sono espressi per bocciarne la introduzione in alcune regioni. Così, alcune regioni lo hanno in vario modo richiesto, poi hanno abrogato le relative disposizioni; altre lo chiedono solo per gli edifici pubblici, o per gli edifici soggetti a interventi, eccetera. Il solito caos italiano.

A causa di ciò, noi non sappiamo esattamente come sono fatti gli edifici del Paese, che storia abbiano avuto, come siano stati progettati, eccetera. E' tutto da fare. Disponiamo solo di statistiche generali, messe a punto da istituti di ricerca, che danno una idea piuttosto pallida della situazione.

6 Il mito del numero preciso

Negli ultimi decenni si è sempre più affermato un approccio squisitamente numerico alla determinazione della sicurezza strutturale. Ciò implica la esecuzione di calcoli sempre più complessi a partire da dati che spesso, nel caso sismico, sono solo stime, talvolta realistiche e credibili, altre volte, e tanto più quanto appaiono rivestite di tante cifre, non credibili e irrealistiche.

La severità del sisma che si abatterà sull'edificio allo studio è descritta di solito mediante un ridotto insieme di parametri, quali la accelerazione di picco del suolo e lo *spettro di risposta*, vale a dire, semplificando, l'amplificazione che tale accelerazione subirà a causa delle specifiche frequenze con cui oscilla la struttura allo studio (si chiama *spettro* perché abbraccia tutto il campo delle frequenze possibili, e

di risposta, perché appunto valuta la risposta della struttura). Alcune strutture amplificano gli effetti dello scuotimento del suolo, altre lo riducono, e ciò dipende sia dallo specifico sisma, sia dalle caratteristiche del suolo, sia dalle caratteristiche dinamiche della struttura: come oscilli, con che frequenza, e così via.

Lo spettro di risposta è una proprietà del terremoto, ed ogni segnale sismico ne ha uno, dipendente dalla sorgente sismica, dalla sua distanza, dalla natura degli strati di crosta e di suolo che il segnale ha dovuto attraversare rimanendone filtrato, fino agli strati più superficiali, edificati. Ma nei calcoli che si fanno di solito, o si usano spettri di risposta di forma standardizzata, o si usano segnali presi da registrazioni avvenute all'altro capo del mondo, ed aventi solo qualche caratteristica in comune con lo scenario sismico pertinente al sito in esame (distanza e profondità della faglia, eccetera). Nonostante ciò, si vuole poi esaminare i risultati fino alla terza o quarta decimale, dimenticando tutte le precedenti forti semplificazioni.

Ferma restando la impossibilità di avere numeri troppo precisi, già da anni è disponibile l'approccio neo-deterministico che considera invece i possibili *terremoti di scenario* e tutti i passaggi che le onde devono fare, pervenendo a segnali sintetici che hanno dimostrato di essere molto più attendibili di quelli naturali, ma relativi ad altri siti, e degli stessi spettri di normativa (una applicazione ai terremoti del centro Italia del 2016 si trova in Fasan et al., 2016⁵).

Chi scrive si è occupato di analisi numeriche per più di trentacinque anni, sviluppando complesse procedure software che le rendono possibili e non vuole certo affermarne la inutilità. Tuttavia, è frequente il caso in cui, vuoi per la assenza di dati attendibili, vuoi per la impossibilità di mettere a punto modelli computazionali calzanti per la struttura in esame, vengono applicate analisi numeriche sofisticate che danno risultati di dubbia attendibilità (Rugarli 2003, 2014, 2015a, 2015b).

E' da notare che il *vero* controllo sperimentale, che ancora risulta sia alla base del metodo scientifico, ovvero la verifica che quanto calcolato della struttura sia quanto effettivamente avviene a meno di errori accettabili, manca quasi completamente, dato che ogni edificio è un *unicum*, e dato che i terremoti sono rari. Si sperimentano *singoli componenti*, in condizioni di laboratorio.

Solo molto recentemente si è cominciato a fare test su tavola vibrante, usando necessariamente edifici "di laboratorio" che ovviamente non sono quelli reali. Si tratta di fondamentali campagne di prove, che non risulta abbiano avuto quegli ingenti finanziamenti che sarebbero necessari. In tutta Italia esistono ben poche tavole vibranti per esperimento (Tavola Vibrante Wikipedia), e una sola tavola vibrante supera i 4x4m con sei movimenti indipendenti, avendo però un carico utile di solo 100t (L.E.D.A., Unikore).

⁵ Il lavoro fu pubblicato prima dell'evento maggiore, a seguito del quale fu aggiunta una nota che tra l'altro dice: "L'evento del 30 ottobre ha confermato drammaticamente, ma fortunatamente non tragicamente, la conclusione contenuta nella versione originale di questo lavoro. Quindi è appropriato arricchire il confronto mostrato in fig. 8 ed aggiungere la accelerazione spettrale registrata durante l'evento con Mw=6,5 nella stessa stazione (Norcia). Il raffronto è mostrato in fig. 19. Come si può vedere le accelerazioni spettrali per l'evento del 30 ottobre, la cui magnitudo è vicina a quella massima osservata nell'area, sono in ottimo accordo con quanto proposto come MDSI (Maximum Deterministic Seismic Input). Questo fatto evidenzia la robustezza della procedura che sta dietro il calcolo di MDSI, basata su simulazioni neodeterministiche del moto del suolo, e conferma che può essere usato come input sismico di normativa [...]" (Fasan et al. 2016).

Nonostante ciò, la pratica tecnica corrente tende a scordare volentieri che, date le premesse, i risultati numerici devono essere presi con grande cautela, e considerati solo uno dei metodi con i quali pervenire a un giudizio ingegneristico sensato. Invece, tutto alla fine è ridotto a una diseguaglianza, in cui il numero che sta a sinistra deve essere minore del numero che sta a destra.

Le odierne più frequenti analisi sismiche non tengono conto dell'indebolimento che le strutture possono aver subito a causa di precedenti sismi. Non tengono conto della durata del sisma. Non tengono conto dei possibili diversi contenuti in frequenza del segnale sismico, tali per cui lo spettro di risposta dei segnali reali è diverso dallo spettro di risposta schematizzato che le normative impongono (e.g. Fasan et al. 2016).

A causa dell'approccio probabilistico valutano in modo non credibile la possibile severità dello scuotimento. Tengono in conto assai schematicamente o non affatto le parti non strutturali, per cui vi è una quota parte di resistenza *o di possibili azioni* che sfuggono alla indagine e alla modellazione, anche talvolta per sviste o ignoranza (si ricordi la parete taglia fuoco aggiunta in un secondo tempo alla Casa dello Studente, che nel corso del sisma recise circa a metà tutte le travi a tutti i piani della campata in cui fu inserita).

E così via.

Ci si chiede allora, e tanto più per gli edifici la cui modellazione numerica appare difficile se non impossibile, e tanto più considerando che il numero di persone in grado di fare appropriatamente quelle analisi è esiguo, se sia sensato pretendere, come fanno le normative attuali, che l'unico modo di emettere un giudizio ingegneristico sia eseguire qualche complessa analisi numerica. Se non sia più sensato applicare interventi di rinforzo di sicura e comprovata utilità, prescindendo dalla (spesso sostanzialmente impossibile) valutazione numerica del beneficio probabilistico e non ad essi correlato. Se non sia più giusto fare le analisi numeriche solo quando si possono davvero fare, e farle fare solo a chi le sa veramente fare.

Quindi la società potrebbe passarsela meglio se affrontiamo il rischio sismico partendo da un budget finanziario anziché da un budget di rischio. Anziché chiedere "come possiamo fare in modo che questa struttura abbia il 90% di probabilità di durare 100 anni?", sarebbe meglio chiederci "Se volessimo spendere 10 milioni di dollari per irrobustire questa struttura, come dovremmo spenderli?"

(Stark 2022a)

Ciò richiederebbe un profondo ripensamento delle nostre normative tecniche.



Figura 6-1. Pubblicità di software per analisi sismiche di edifici, sanzionata perché ingannevole dalla AGCM (da Rugarli 2014). “Perché stressarsi anche per edifici fino a 4 piani?”

Infatti, ricollegandosi a quanto scritto nella prima sezione, è molto raro che chi esegue analisi numeriche sofisticate con l’ausilio di software disponga delle conoscenze necessarie a dominare pienamente le analisi stesse⁶, avvedersi di possibili insidiosi errori, intercettare incongruenze e mancanze che sono sempre in agguato quando si fanno calcoli così complessi. Al contrario, è certo che la disponibilità di software automatici ha prodotto moltissimi calcoli errati e illusori, le cui mappe a colori e le cui curve tendono ad occultare le difettosità in essi contenute (vasta la letteratura sul tema, per esempio Emkin 1998, Rugarli 2003, 2014).

Alla richiesta di software tutto-facienti si è adeguato il mercato: a riprova si cita il caso di un software asseritamente “validato” da una università italiana, che però non rispettava le prescrizioni di legge e che veniva pubblicizzato come soluzione semplice al problema della progettazione sismica: “perché stressarsi anche per edifici fino a 4 piani?”. La pubblicità fu giudicata ingannevole dalla Autorità Garante per la Concorrenza e il Mercato (Figura 6-1, Rugarli 2014, AGCM 2014).

Ma ciò che qui si intende far osservare, è che la sanzione fu comminata solo a causa della segnalazione di un singolo: nessuna autorità pubblica era intervenuta *sua sponte*, e la pubblicità, in questi termini, durava da mesi. Questo fatto indica chiaramente il *Far West* nel quale ci troviamo, al di là delle speciose prescrizioni di legge.

Al mito del numero “esatto”, spesso doppiamente errato: una prima volta perché i dati di ingresso sono sbagliati o inventati, o il modello non pertinente; una seconda volta perché chi li ha fatti ha introdotto ulteriori errori di cui non si è avveduto; sarebbe bene sostituire la sensata analisi della struttura e del suo funzionamento, la individuazione qualitativa dei suoi punti deboli, l’ordinato e sistematico miglioramento di questi.

⁶ Le materie che dovrebbero essere note vanno molto al di là della mera Scienza e Tecnica delle Costruzioni. Esse sono come minimo: Calcolo Numerico; Dinamica delle Strutture; Teoria della Plasticità; Analisi Strutturale con Elaboratore Elettronico; Ingegneria Sismica e Sismologia quantitativa. Tali materie fanno o dovrebbero far parte del curriculum di studi degli ingegneri Strutturisti.

Ciò si può fare con tecniche, ormai disponibili, atte a migliorare le ben note debolezze che ogni classe di strutture vecchie mostra tipicamente di avere: i nodi trave-pilastro, la insufficiente staffatura, il mancato ammorsamento delle pareti negli edifici in muratura, la apposizione di masse rilevanti sopra strutture troppo deboli per farle oscillare, e così via.

Si tratterebbe di un mutamento di paradigma che ci riporterebbe a quanto avveniva prima dell'avvento del computer, quando, contrariamente a quanto creduto dai volenterosi sostenitori delle *magnifiche sorti e progressive* delle analisi numeriche, erano all'opera formidabili architetti e ingegneri, che costruivano strutture in muratura che in moltissimi casi hanno eccezionalmente sostenuto più e più scosse sismiche senza crollare. A riguardo, vale la pena di ricordare *l'incipit* di una delle opere più illuminanti che in tempi recenti siano state scritte in ingegneria strutturale, vale a dire *Lo Scheletro di Pietra* di Jacques Heyman:

Forse è banale osservare, parlando delle costruzioni Greche, Romane, Bizantine, Romaniche e Gotiche, che alcune di loro esistono ancora. L'osservazione ha forza, comunque, quando fatta in un contesto strutturale. Una struttura in muratura –per esempio una cattedrale del periodo Alto Gotico - può essere vista in molti modi: dal punto di vista liturgico, culturale, storico, o estetico, ognuno dei quali può dar luogo a dispute di un tipo o di un altro. Rimane un punto di vista che sembra generare un'affermazione inequivoca: questo ampio edificio in muratura è chiaramente una prodezza di ingegneria strutturale. Inoltre, la mera sopravvivenza di edifici antichi implica un'estrema stabilità della loro struttura.

Naturalmente sono avvenute crisi minori e ci sono state importanti catastrofi. Resta il fatto che due forti terremoti hanno solo lievemente danneggiato Santa Sofia, e che i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale hanno spesso dato luogo a una cattedrale medievale rimasta in piedi, in mezzo alle rovine di una città moderna.

(Heyman 2014, 1995)

Al calcolo di numeri più o meno illusoriamente precisi, vuoi per i limiti dei modelli e dei dati di partenza, vuoi per la frequente presenza di errori nell'uso dei programmi, occorrerebbe far precedere la profonda comprensione dei meccanismi resistenti tipici delle strutture reali, la capacità di analizzarli e migliorarli e la applicazione di interventi di rinforzo di sicura utilità.

Un tale obiettivo, formare persone che comprendano come funzionano le strutture e che possano intervenire sensatamente, appare più a portata di mano di quello di formare decine di migliaia di veri esperti di analisi computerizzate non lineari. E probabilmente, più utile.

7 Il formato probabilistico

Pur avendo studiato ingegneria strutturale per tanti e tanti anni, anche dopo la laurea, io non capisco la ragione per la quale si fa finta, nei calcoli di progetto, che gli edifici abbiano una vita utile di cinquant'anni.

Si sa benissimo che non sarà quasi mai così, che gli edifici in Italia vengono costruiti per durare molto tempo, e che tale è l'attesa di chi li fa costruire a proprie spese, siano essi privati, società, o lo stesso Stato. Si è visto che in Italia ci sono circa 31 milioni di *alloggi*: ebbene gli alloggi demoliti negli anni dal 1951 al 1979 sono solo 209 mila (Cortese 2015). In Italia, a differenza di quanto avviene negli Stati Uniti, le

costruzioni vengono erette e poi restano. Ciò dipende dalla differente storia, dalle differenti tradizioni, dalle differenti abitudini che ci sono in questo Paese, rispetto a quelle USA. Da noi, costruzioni erette secoli fa sono frequentissime. Siamo abituati a vedere edifici antichi, ed anzi, essi costituiscono una parte cospicua del nostro patrimonio. Progettare gli edifici nuovi per una vita utile di 50 anni appare dunque del tutto arbitrario ed insensato, in specie con riguardo alla azione sismica (cfr. infra).

Credo che la ragione di tale irrealistica scelta, usare come vita di riferimento solo 50 anni, sia stata il progressivo affermarsi del formato probabilistico come l'unico accettato per la valutazione della sicurezza strutturale.

Dato il fatto che nulla è certo o definitivo in natura, è sembrato molto logico agli ingegneri attaccare ad ogni numero una "probabilità" che quantifichi la nostra incertezza e che porti un poco più in là la soglia della ignoranza. Anziché dare un numero come limite superiore o sensato, cosa giudicata arbitraria, si danno infiniti numeri con attaccata una "probabilità". E ciò pare più giusto.

In realtà i numeri stessi e le "probabilità" che gli si associano sono arbitrari, eppure paiono molto più credibili che un numero definito "massimo possibile", o "massimo atteso". Tramite la introduzione di "probabilità" fasulle, le ineludibili sostanziali incertezze vengono trasformate in incertezze trattabili matematicamente, quantificabili in qualche modo, e quindi dominabili. Le incertezze si trasformano in numeri precisi. Ciò è particolarmente vero in ambito sismico, dove i metodi probabilistici oggi in uso sono apparentemente in grado di rispondere a ogni domanda con quattro cifre dopo la virgola (*earthquake supermarket*, Rugarli 2015a).

Ciò ricorda la *quantifauxcation* di cui ha parlato Stark (Stark 2017), termine che potremmo forse tradurre con *quantifalsificazione*, così definita da chi ha proposto il termine:

a neologism for the process of assigning a meaningless number, then pretending that because the result is quantitative, it must mean something (and if the number has six digits of precision, they all matter). Quantifauxcation usually involves some combination of data, pure invention, invented models, inappropriate use of statistics, and logical lacunae.

(Stark, 2017)

[un neologismo per indicare il processo di assegnazione di un numero privo di significato, a cui segue la pretesa che poiché il risultato è quantitativo esso deve significare qualcosa (e se il numero ha sei cifre di precisione, esse sono tutte importanti). La quantifalsificazione di solito coinvolge qualche combinazione di dati, invenzione pura, modelli inventati, uso inappropriato della statistica, e lacune logiche].

Va sottolineato che il prof. Stark è un esperto di statistica ed ha più volte espressamente e convincentemente demolito l'uso della probabilità nella determinazione della pericolosità sismica (e.g. Freedman e Stark 2003, Stark 2017, Mulargia Stark e Geller 2017, Stark 2022b).

Infatti, se si tratta di stimare la resistenza di un calcestruzzo partendo da un certo numero di prove, la procedura probabilistica appare sensata ed ancorata al dato sperimentale. In altri casi, tipicamente per la

stima delle probabilità di superamento delle azioni naturali, e tanto più quanto gli eventi estremi sono rari, la valutazione delle “probabilità” appare temeraria e non sostanziata. E nemmeno sperimentalmente acclarabile.

Dalla necessità di valutare la intensità delle azioni che hanno una certa “probabilità” di essere superate in un certo lasso di tempo scaturisce il modello che usa il “periodo di ritorno” e il lasso di tempo di riferimento (la “vita utile”). Il modello implicitamente ammette che un certo livello di azione “ritorni” dopo un certo periodo di tempo, e valuta la probabilità che ciò si verifichi facendo il rapporto tra un lasso di tempo di riferimento ed il “periodo di ritorno della azione”. E’ un modello che non ha basi fisiche e che in particolare non è applicabile ai terremoti.

Scrive Cornell, nel suo lavoro seminale sull’approccio probabilistico alla determinazione della pericolosità sismica:

A causa della incertezza nel numero, dimensione, e collocazione dei futuri terremoti è appropriato che gli ingegneri esprimano il rischio sismico, così come per il vento o le alluvioni, in termini di periodo di ritorno.

(Cornell 1968)

Tale assunzione non risulta tuttavia fondata su alcuna base geofisica o scientifica, è una pura e semplice petizione di principio.

Non si commette un errore molto forte se, anche in ambito sismico, si valuta il “periodo di ritorno” di una azione che ha una probabilità P di essere superata in un intervallo di riferimento ΔT , dividendo ΔT per P. Ad esempio una probabilità del 10% in 50 anni, implica un “periodo di ritorno” di 500 anni: $50/0,1$. Una volta ogni dieci, una volta in cinquanta anni, su cinquecento⁷.

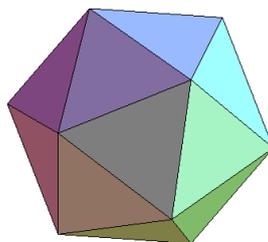


Figura 7-1. L’icosaedro è un dado regolare a 20 facce.

Tutto qui. Sarebbe come dire che se si vuole che un numero esca con una probabilità di 1/10 almeno una volta in cinquanta lanci, occorre un dado a 500 facce numerate (in Figura 7-1 un dado a venti facce).

⁷ Il numero “esatto” usando la distribuzione di Poisson è 475 anni, ma la differenza appare sostanzialmente insignificante. E’ stato dimostrato da chi scrive (Rugarli 2014) che usare la formuletta semplice, che fa capire, anziché quella poissoniana teoricamente giusta, che non fa capire, non porta mai ad errori significativi.

Nel caso sismico, se si volessero “probabilità” di superamento cautelative si raggiungerebbero presto “periodi di ritorno” fuori da quanto i cataloghi sismici testimoniano, andando a ritroso nel tempo. Anche per questa ragione le “probabilità” di superamento delle nostre normative sono stranamente alte (10% in 50 anni? Se fosse vero, chi costruirebbe per questi livelli di azione?). Se si volesse 1% in 200 anni, il periodo di ritorno sarebbe $200/0,01=20$ mila anni! E se 1% in 400 anni, 40 mila anni. Ma i nostri cataloghi, che pure sono i migliori del mondo, hanno circa 1000 anni di durata, appena compatibile con una “probabilità” del 10% in 100 anni, o del 5% in 50 anni. Non 20 mila.

Inizialmente il modello probabilistico è stato applicato alle resistenze dei materiali e alla intensità delle azioni come il vento, la neve, il caldo o il freddo, o anche il carico veicolare o il peso della folla. Per queste resistenze e per queste azioni esistevano ed esistono, sia pur non da moltissimo tempo, serie statistiche che hanno consentito di valutare il numero delle occorrenze, e da queste le frequenze, e da queste, promuovendo queste ultime a “probabilità”, le probabilità di superamento. Non ci sono basi teoriche, ma almeno ci sono dei dati e, nel caso delle azioni climatiche, c’è un ciclo fisicamente riconoscibile che è la rivoluzione della terra attorno al sole.

Dalla fine degli anni '60 è sembrato a molti intelligente e logico, estendere il formato probabilistico anche alle azioni sismiche, e da allora si è affermato e diffuso il metodo PSHA per la determinazione della pericolosità sismica (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment*, Cornell 1968). Purtroppo, l'utilizzo dell'approccio probabilistico non è applicabile in modo scientificamente appropriato al caso sismico (e.g. Castanos e Lomnitz 2002, Bela 2014, Geller et al. 2016, Mulargia et al. 2017, Stark 2022a,b). E del resto, il lavoro di Cornell del 1968 ignorava i lavori sulla tettonica a placche pubblicati poco prima o poco dopo⁸ che ne confermavano la validità con analisi quantitative, e che diedero alla teoria i riscontri e le spiegazioni necessarie. Sicché, trattare i terremoti come le uscite di numeri al lotto sembra oggi, a cinquanta anni di distanza, francamente sovra semplificatorio (Stark 2017, 2022a,b).

Si è detto che oggi c’è una vita di riferimento per il progetto degli edifici pari a 50 anni (di solito).

Certo, è chiaro che tutti gli edifici vanno mantenuti, e che nessuna costruzione potrebbe essere progettata per un tempo infinito. Va tuttavia detto che molte costruzioni dei secoli passati sono giunte sino a noi, tanto che molte città italiane vedono i loro centri storici fatti appunto di case con alcuni secoli di vita.

Nessuno pensava di poter stabilire la durata di una costruzione, la si faceva secondo regole tramandate, con la idea di farla durare il più a lungo possibile. E la si manteneva.

⁸ Il manoscritto di Cornell fu ricevuto il 2 gennaio 1968 e pubblicato nell'Ottobre 1968. Il lavoro di McKenzie e Parker (McKenzie e Parker 1967) che proponeva il modello di placche rigide fu inviato negli ultimi giorni del 1967 e pubblicato il 30 dicembre 1967 (<https://www.bl.uk/voices-of-science/interviewees/dan-mckenzie/audio/dan-mckenzie-the-first-scientific-paper-on-plate-tectonics>). Nell'abstract si legge: “*Individual aseismic areas move as rigid plates on the surface of a sphere. Application of the Mercator projection to slip vectors shows that the paving stone theory of world tectonics is correct and applies to about a quarter of the Earth's surface*”. Il lavoro di Jason Morgan (Morgan 1968) fu ricevuto il 30 agosto 1967, e pubblicato nel Marzo 1968. Nel suo abstract si legge: “*The earth's surface is considered to be made of a number of rigid crustal blocks*.”. E nel testo “*we now make the assumption that gives this model mathematical rigor. We assume that each crustal block is perfectly rigid*”.

Al contrario, oggi è chiaramente detto che gli edifici ordinari sono progettati di regola per una “vita di riferimento” di 50 anni. Tutti i calcoli che noi strutturisti facciamo sono parametrati su questa soglia (o su soglie maggiori, per edifici di maggior importanza, ma sempre limitate a 75, 100 anni).

Tuttavia, allo scadere dei 50 anni, nessuno obbliga a fare alcun che sugli edifici “scaduti”. Si dice che dopo 50 anni gli edifici (e anche prima!) necessitano di manutenzione, ma non si pensa di sostituire o di rinforzare le strutture progettate 50 anni prima.

Il ragionamento che si fa è che le prestazioni iniziali dell’edificio sono decadute e dopo 50 anni hanno bisogno di essere ripristinate. Il che è logico.

Tuttavia, se le azioni per cui le strutture originarie sono state progettate sono state valutate per un certo periodo di riferimento, la estensione *de facto* del periodo di riferimento implicherebbe accresciute probabilità di superamento e prestazioni probabilisticamente inferiori anche ammettendo che le strutture restino immacolate, ed anche ammettendo che tali probabilità siano numeri sensati.

Questo paradosso non si risolve con la manutenzione, e non si può certo risolvere con la *riverginazione* del periodo di riferimento. In altre parole, dopo 50 anni, ai fini della valutazione delle azioni, non si può ricominciare a contare da zero, come se l’edificio fosse stato appena costruito. Non lo si può fare con le azioni nevose o eoliche, e non lo si può certo fare nemmeno con quelle sismiche. Non si stanno lanciando dadi perfetti e ideali, per cui ogni lancio è indipendente dagli altri. *Il verificarsi di azioni distruttive non è governato dalle leggi del caso*. Ci sono ben precisi fenomeni fisici in atto, la cui evoluzione sebbene nel dettaglio a noi ignota non è aleatoria o casuale (vedi anche Stark 2022b).

Quanto detto denuda la sostanziale convenzionalità e falsità dell’assunto probabilistico in specie in ambito sismico, dato che porta a contraddizioni che paiono insanabili (pur tralasciando il fatto che le cause dei crolli degli edifici vanno spesso cercate negli errori di progettazione, esecuzione, manutenzione e ristrutturazione, errori la cui esistenza non fa parte del formato probabilistico, che non ne tiene conto).

La vera *probabilità di collasso* di un edificio è ignota. Se ne possono dare stime soggettive al crescere delle informazioni su di esso disponibili. La “probabilità” alla quale fanno riferimento le normative è un numero convenzionale da non confondere con le frequenze dei crolli.

Da quanto detto sopra emerge, a parere di chi scrive, una sostanziale falla nei ragionamenti probabilistici che inquadrano le normative, le quali se da un lato utilizzano per fare i calcoli i periodi di riferimento e i “periodi di ritorno”, nella realtà dei fatti ammettono tranquillamente che gli edifici continuino a vivere dopo tale periodo, ed al più richiedono una manutenzione generale che ripristini i livelli prestazionali originari, ammettendo quindi implicitamente che ai fini della valutazione delle azioni il periodo di riferimento si rivergini come se si trattasse del lancio di dadi.

La sensazione che si ha, nell’applicare le normative attuali, è quella di utilizzare un complicato e contraddittorio marchingegno, che non ha nulla a che fare con i reali termini del problema.

8 Lo Stato scommettitore

Come si è visto, lo Stato italiano ha speso circa 3 miliardi di euro all’anno per affrontare le crisi causate dai terremoti distruttivi, negli ultimi decenni.

Una delle ragioni che vengono addotte per giustificare l'approccio probabilistico, è che questo eviterebbe uno spreco di risorse, dato che in media lo stock edilizio nuovo sarebbe costruito in modo da trovarsi probabilisticamente in un felice compromesso tra la scarsa resistenza, e quindi l'eccessivo rischio sismico, e la eccessiva resistenza, e quindi una spesa inutile per strutture sovradimensionate.

In altre parole, lo Stato si comporta come uno scommettitore che abbia a cuore il montante complessivo delle perdite e dei guadagni: la perdita sulla ruota dell'Aquila, o di Accumoli, o del Belice, o del Friuli, o dell'Irpinia, se compensata dai guadagni sulla ruota di Alessandria, Voghera, Roma, Venezia o Torino, risulta accettabile.



Figura 8-1. Lo Stato scommettitore. (Dal frontespizio di Rugarli 2014 e Panza et al. Ed., 2022)

Quindi, conteggiando in un unico conto le mancate perdite “guadagnate” con progettazioni probabilistiche e/o mancati interventi in aree sismiche dove non sono avvenuti terremoti, con le perdite in aree sismiche dove invece i terremoti sono avvenuti, l'essenziale è che il saldo complessivo sia positivo. Sì, lo Stato ha speso tre miliardi all'anno a causa dei terremoti distruttivi, ma quanto non si è speso e quindi guadagnato grazie al mancato intervento? Sì, i terremoti distruttivi costano, ma costerebbe molto di più intervenire a tappeto per consolidare il patrimonio edile.

Ragionamenti di questo tipo sono implicitamente alla base delle politiche di sostanziale immobilismo seguite dallo Stato negli ultimi anni e sono anche stati resi espliciti all'estero (Tao et al. 2022).

All'immobilismo fa eccezione, in Italia, la recente introduzione del *sisma bonus*, che ha indiscriminatamente trasferito soldi pubblici ai privati senza nessuna valutazione comparativa del rischio assoluto (e quindi della esposizione, della pericolosità e della vulnerabilità), ma solo sulla base di una (fortunosa e criticabile) mitigazione del rischio relativo, basata su astrusi concetti come quello di “perdita annua media”, che nel caso dei terremoti appare platealmente inapplicabile. In altre parole si sono finanziati consolidamenti di edifici a basso rischio (ed anche seconde o terze case che siano effettivamente disabitate per la maggior parte dell'anno) così come quelli di edifici ad alto o altissimo rischio: l'unico criterio seguito è che il rischio proprio dell'edificio diminuisse. La pesante stortura sollecitò un appello di

esperti del settore, a cui aderirono circa 140 loro colleghi tra i quali lo stesso Presidente di INGV, prof. Doglioni (Repubblica 2019).



Figura 8-2. Roma, Via Tuscolana.

Se lo Stato spendesse lui i soldi necessari a edificare, ristrutturare, consolidare; se si potesse comparare con un'unica unità di misura, il denaro, i vantaggi della Signora Alfa a Milano con lo sfollamento del signor Beta a l'Aquila; se si potesse conteggiare la perdita legata ai morti in un unico conto con i vantaggi delle possibili sopraelevazioni, o della ristrutturazione del casale con vista mare; e se, relativamente ai metodi probabilistici, si potesse credere che siano attendibili, fornendo probabilità e livelli di superamento che non siano disgiunti dalla realtà fisica, allora lo Stato scommettitore avrebbe senso. Ma invece si tenga presente quanto segue:

- non è lo Stato ma sono i privati a spendere per la costruzione e per la ristrutturazione dei loro edifici, gli edifici privati sono la stragrande maggioranza. Quindi ciò che ipoteticamente guadagnano i cittadini non va nelle tasche dello Stato, ma resta saldamente nelle mani dei privati.
- Al contrario, quando arrivano i terremoti distruttivi, è lo Stato che si fa carico delle spese. Quindi, lo Stato ha uno specifico interesse ad imporre, almeno per le costruzioni nuove, ed almeno là dove ciò è possibile per le costruzioni esistenti, livelli di protezione sismica alti, valutati con metodi cautelativi ed avendo come riferimento pericolosità sismiche realistiche e non probabilistiche. Tradotto ciò vuole univocamente dire metodo neo-deterministico per la valutazione della pericolosità sismica. Ciò è tanto più vero in quanto le costruzioni edificate oggi, o oggi consolidate, dureranno molto ma molto di più del convenzionale "periodo di riferimento" che le nostre normative, sostanzialmente per far tornare i conti, adottano come standard.
- Il conteggio economico dei costi sin qui sostenuti dallo Stato potrebbe in qualsiasi momento essere stravolto in senso peggiorativo. Se un grave terremoto distruttivo colpisse una delle nostre città densamente popolate, ove edifici costruiti negli anni del *boom* fossero sottoposti a scosse severe, nel breve volgere di qualche decina di secondi il conteggio economico che ora può a qualcuno forse sembrare favorevole potrebbe diventare spaventosamente in perdita, dando l'ultima spallata a uno Stato che ha un debito pubblico del 140% del PIL. Va infatti ricordato che, se da un lato la *vulnerabilità* degli edifici del dopoguerra non appare tale da far dormire sonni tranquilli, la *esposizione* degli stessi edifici costruiti nelle grandi città, è molto, molto superiore a quella degli edifici costruiti nei secoli precedenti (più bassi e di dimensioni molto più contenute): nel crollo di un

solo edificio a Foggia morirono 67 persone, ben altro che le 5 che in media occupano un edificio, secondo le statistiche ISTAT. Se fossero colpite città strategiche, non si potrebbe risolvere il problema abbandonandole al loro destino per decenni come è stato fatto per i piccoli borghi.

Per tutte queste ragioni lo Stato scommettitore è una aberrazione, ed è necessario che al più presto vengano adottati i necessari correttivi, il che vuol dire riformare completamente la valutazione della pericolosità sismica presente nelle normative nonché i criteri per consolidare ed approvare il consolidamento degli edifici esistenti.

9 Le mappe di pericolosità

Se la valutazione in termini probabilistici delle azioni estreme di tipo eolico o nevoso appare un esercizio discutibile e a stretto rigore arbitrario (prova ne siano le non infrequenti invalidazioni, anche in Italia, dei livelli previsti per quelle azioni⁹), nel caso della valutazione probabilistica delle azioni sismiche la arbitrarietà è evidente.

Negli ultimi anni una considerevole messe di articoli scientifici e divulgativi, scritti da sismologi, geofisici, geologi, statistici, matematici e ingegneri ha messo in chiara luce i forti limiti dell'approccio probabilistico (PSHA) applicato alla determinazione della pericolosità sismica. Una esauriente rassegna e bibliografia si può trovare in Panza e Bela 2020, Bela e Panza 2021, e in italiano nel cap. 9 di Rugarli 2014, e poi in Rugarli 2015a, 2015b, 2018, 2019, Mulargia et al. 2017, Panza e Peresan 2016, Panza e Rugarli, 2016. La letteratura sul tema è molto vasta.

Recentemente, si sono potuti vedere da vicino i criteri con i quali si stanno decidendo le nuove mappe sismiche MPS19.S che dovrebbero sostituire quelle esistenti, anch'esse create con criterio probabilistico, rimanendo colpiti da quello che pare un totale distacco dalla realtà mostrato da chi propone tali mappe. In sostanza, la mappa finale risulta dalla miscelazione di varie diverse altre mappe, pesate con pesi che sono decisi con criteri assolutamente erratici e precari¹⁰.

⁹ Si accenna al fatto che nell'approccio probabilistico i superamenti dei valori indicati dalle norme sono sempre possibili con una certa "probabilità" di occorrenza. Il verificarsi di un superamento non implica quindi la invalidazione del metodo, che di fatto non essendo falsificabile in nessun modo, si colloca al di fuori e al di là del metodo scientifico.

Da un punto di vista ingegneristico, invece, ritrovarsi coi tetti sfondati perché il carico di neve ha di molto superato quanto previsto dalla normativa (vedi quanto avvenuto nel 1985), può con certezza configurarsi come un fallimento della stessa. Analoghi ragionamenti si applicano alle azioni eoliche o a quelle sismiche.

¹⁰ Ad esempio, calcolato un indice aggregato di assai incerta affidabilità con ben sei cifre decimali, un fatto già di per sé sorprendente, veniva assegnato un "punteggio" quattro volte superiore alla mappa che aveva una differenza migliorativa dell'indice, apprezzabile sulla terza cifra decimale. Riscrivendo gli indici con appropriato numero di cifre significative, questi apparivano sostanzialmente eguali, per cui la forte diversità dei punteggi risultava ingiustificata. Non fu possibile valutare l'effetto di una diversa scelta dei pesi sulla mappa finale poiché i dati necessari ad eseguire le elaborazioni, pur varie volte richiesti a INGV, non furono mai forniti a chi scrive.

A riguardo di queste nuove mappe, che sarebbero le prossime, Philip Stark, eminente statistico della università di Berkeley ha scritto¹¹:

Non penso che MPS19.S sia una base solida per decisioni che interferiscano con il bene pubblico, come la scrittura delle norme tecniche per gli edifici o altre questioni attinenti la sicurezza pubblica, come proteggere le antichità, fissare i premi assicurativi, o stanziare fondi per mitigare il rischio.

[...]

La base di MPS19.S è la determinazione probabilistica della pericolosità sismica (PSHA), PSHA difetta di una qualsiasi sensata base empirica, geofisica o statistica, come spiegherò.

[...]

Riassumendo, PSHA ([il metodo probabilistico]) è basato su metafore e fallacie, non sulla fisica. I numeri che fornisce non sono stime di una quantità che abbia anche una definizione coerente, ad eccezione di un gioco di casinò idealizzato, che ha poco in comune con i sistemi geofisici. I numeri non hanno senso, e non sono una base razionale per politiche pubbliche.

(Stark 2022a)

Credo che se fosse realmente compreso dalla opinione pubblica come queste mappe vengono redatte, ci sarebbe un generale sgomento. Ma molto è già stato scritto e non vale la pena di ripetere concetti ormai ovvi.

Per questa ragione in questa nota non si intendono ripercorrere i numerosi motivi che portano a ritenere che l'approccio probabilistico sia inaffidabile, ma piuttosto si vuole porre l'accento sulle conseguenze che il perdurante impiego di tale errato metodo (proposto quasi sessanta anni fa) porterà al Paese, e indicare le ragioni per le quali il metodo alternativo, che esiste, è frutto della ricerca italiana, e si chiama neodeterministico (NDSHA), è invece largamente da preferire.

Il livello di severità dello scuotimento delle mappe probabilistiche dipende dalla vita di riferimento della struttura (che, come abbiamo visto, non è parente nemmeno alla lontana della vita reale della stessa) e dalla probabilità di superamento, fissata per legge. Se si impiegano i valori tipicamente indicati per gli edifici di civile abitazione, si hanno 50 anni di vita di riferimento e 10% di probabilità di superamento.

Dal momento della introduzione delle mappe nelle normative (ovvero dal 2008) i valori di riferimento probabilistici sono stati superati in diverse stazioni poste a L'Aquila a Norcia ed Accumoli (terremoto del 2016, cfr. ad esempio Fasan et al 2016).

Come già accennato in nota, ciò non implica una invalidazione delle mappe probabilistiche secondo i loro proponenti, perché esisteva comunque una certa probabilità di superamento. Da un punto di vista ingegneristico, possiamo invece idealmente metterci nei panni del proprietario di un edificio costruito colà dopo il 2008 ma prima del 2016, il quale abbia subito danni a causa di una progettazione eccessivamente ottimistica. Al passare degli anni, ed al progredire del numero dei terremoti forti, l'effetto della sottovalutazione delle azioni sismiche per la progettazione di edifici nuovi, o per il consolidamento di edifici esistenti, andrà aumentando, e gli effetti nocivi delle attuali normative dispiegheranno il loro effetto in modo più evidente.

¹¹ Chi scrive ha avuto il documento direttamente da Philip Stark nell'Ottobre 2022. Nel documento è scritto: "*I hereby request that this document be made public, with my name as author*".

Taluno ha sostenuto che dato il tipo di progettazione moderna degli edifici antisismici, tutta tesa alla dissipazione di energia, il livello assoluto raggiunto dallo scuotimento non è poi così importante, giacché la struttura dissipa e non può superare, in punti strategicamente progettati per questo scopo, ovvero le zone dissipative, le azioni limite che fisicamente sono attingibili.

Il ragionamento non è convincente.

Anche nella progettazione dissipativa più moderna, infatti, il livello di scuotimento entra nella valutazione dei livelli di duttilità necessari alla struttura, e naturalmente negli effetti, diretti o indiretti, che alti spostamenti laterali possono provocare nella struttura stessa. In altre parole, ciò che un tempo era incentrato sulle forze, è ora incentrato sugli spostamenti e le deformazioni possibili, e questi sono in diretta funzione della severità di scuotimento come un tempo quelle. Se le azioni superano quanto progettato, si dovrà dissipare molta più energia (fattori di comportamento q più alti), serviranno escursioni plastiche molto maggiori, e ciò potrà generare rotture e crolli.

Quindi, se si può dire che forse una variazione di pochi punti percentuali della azione non ha effetto realistico sui dimensionamenti, una variazione del 30, 40 o anche 100% ce l'ha eccome.

Purtroppo i superamenti *misurati* e quelli *possibili* comparando gli effetti probabilistici di normativa con quelli neodeterministici massimi attesi, sono molto alti. E ciò utilizzando “periodi di ritorno” di 2475 anni, e 84° percentile, ovvero il massimo previsto dalle nostre normative molto più di quanto previsto per gli edifici di civile abitazione (Rugarli 2015a, tabella 1: Venezia +96%, Vicenza +75%, Napoli +280%, Ferrara +84%, Caserta +391%, Padova +240%, Agrigento +190%...).

Nella seguente Tabella 3, che è una rielaborazione della tabella citata, si comparano invece per alcune città gli scuotimenti probabilistici relativi a una vita utile di 50 anni e 10% di probabilità di superamento (475 anni di “periodo di ritorno”, ovvero i valori indicati dalle norme in vigore per il progetto degli edifici), con gli intervalli forniti dal metodo neo deterministico.

Località	Valori probabilistici di norma 50 anni e 10% (475 anni) (^) (g)	Intervallo neodeterministico (*) (g)
Venezia	0.078	0.15-0.30
Vicenza	0.16	0.30-0.60
Napoli	0.17	0.60-1.20
Ferrara	0.14	0.30-0.60
Caserta	0.14	0.60-1.20
Padova	0.09	0.30-0.60
Agrigento	0.06	0.15-0.30
Genova	0.07	0.30-0.60

(^) Valori di PGA (peak ground acceleration) su suolo rigido, NTC 2018, vita di riferimento 50 anni, probabilità di superamento 10%, 50° percentile: sono i valori che si impiegherebbero per progettare edifici di civile abitazione nuovi.

(*) Intervalli di massima DGA attesi valutati con il metodo neo-deterministico Romanelli e Panza, comunicazione personale all'autore, su richiesta, anno 2015.

Tabella 3. Comparazione tra i valori di scuotimento indicati dalle normative in vigore per il progetto di edifici di civile abitazione nuovi, e gli intervalli di riferimento neo-deterministici, per alcune città italiane, in unità g.

E' da rimarcare che il ben differente numero di cifre significative riscontrabile nelle due colonne, la differente "precisione", lungi dall'essere un indice di inefficienza è invece dovuto ad una coerente e onesta valutazione delle incertezze presenti nei dati a disposizione, ragione per la quale gli intervalli neodeterministici sono dati con una progressione geometrica a base 2 (Cancani 1904, Lliboutry 2000, Panza e Bela 2020, Panza 2020¹²).

Come si può vedere le differenze sono molto forti, anche considerando il valore minimo dell'intervallo neo-deterministico.

Che interesse ha lo Stato a chiedere la progettazione di edifici nuovi che abbiano insufficienti livelli di protezione sismica? Lo stock di edifici nuovi costruiti in questi anni durerà molto tempo, e la possibilità che siano investiti, o prima o poi, da azioni sismiche rilevanti è concreta. Continuando a indicare per legge livelli di azione sismica valutati con metodologie obsolete e fuorvianti, e comunque di molto inferiori ai valori possibili, stiamo ponendo le premesse per possibili futuri disastri, e per rendere perpetuo il meccanismo di spesa corrente che ha trafitto lo Stato da molto tempo.

Se è possibile comprendere che l'adeguamento generalizzato degli edifici privi di resistenza sismica ed altamente vulnerabili sia una impresa difficilissima, e che richiederebbe decenni, non si capisce la ragione per la quale lo Stato abbia interesse ad allargare l'insieme degli edifici inadeguati. Al contrario, lo Stato ha interesse a far sì che almeno i nuovi edifici, e almeno i vecchi per i quali ciò sia fattibile, siano adeguati a realistici livelli di azione sismica. E per spingere ad azioni concrete di mitigazione del rischio, lo Stato ha interesse a marcare gli edifici ad alto rischio come tali.

Continuare a usare il metodo probabilistico per la determinazione della pericolosità sismica, ha inoltre l'indesiderato effetto di far apparire alla popolazione che una polmonite sia un raffreddore, ovvero che il rischio sismico sia molto più basso di quanto esso in effetti sia. Ciò porta a un effetto collaterale assai indesiderabile, ovvero spinge i privati o a non fare niente, o peggio a fare cose che tale rischio aumentano considerevolmente.

Una irrealistica valutazione della pericolosità porta inoltre a una altrettanto irrealistica valutazione del rischio, e quindi spinge ad eseguire lavori di consolidamento che (come avvenuto a Norcia) possono rivelarsi gravemente insufficienti. Se si pensa alla recente colossale spesa di denaro pubblico associata al *sisma bonus*, ed al modo assai indiscriminato con cui è stato concesso, si resta ammutoliti. L'unica conclusione logica è che il *sisma bonus* fosse in realtà un utile stimolo al sistema economico, e che come tale debba essere giudicato.

Infine, data la capillare presenza di opere e monumenti unici, la cui perdita sarebbe semplicemente insostituibile, il mantenimento dell'approccio probabilistico porta a non proteggere adeguatamente esattamente ciò che nel mondo ci contraddistingue, vale a dire il patrimonio storico e culturale (Rugarli 2015a,b).

¹² Dove si legge: "Sebbene popolari, i valori di intensità intermedia sono puri artefatti che sono stati introdotti per suggerire una risoluzione che in realtà non è effettivamente raggiungibile. L'incertezza sui valori di Magnitudo, deducibile dai dati macrosismici, è molto maggiore di quanto suggerito dal numero di cifre decimali correntemente riportato chiaro esempio di ricerca di una risoluzione non compatibile con i dati macrosismici."

Come più volte accennato, l'alternativa, messa a punto da un gruppo internazionale di studiosi diretto dal prof. Panza della Università di Trieste, esiste e si chiama metodo neo deterministico (per una illustrazione tecnica delle caratteristiche del metodo in lingua inglese si veda Panza et al. Ed. 2022, per una divulgativa in italiano Panza e Peresan 2016).

In sostanza, nel metodo neo-deterministico si simula il meccanismo di scorrimento alla sorgente sismica, e si segue il treno di onde generato dal punto in cui avviene lo scorrimento sino al substrato roccioso anelastico del sito di interesse. Si parte quindi dalla simulazione fisica di un processo meccanico, descrivendo mediante modellazioni meccaniche concretamente fondate sulla fisica del problema il comportamento degli strati di crosta attraversati dalle onde.

Da un punto di vista ingegneristico ciò appare molto più convincente di quanto si fa coi metodi probabilistici: si valutano gli effetti con un modello meccanico capace di distinguere il sito in esame dagli altri, senza introdurre fortunate "relazioni di attenuazione" o temerarie ipotesi sulle frequenze future date le occorrenze passate. La valutazione del massimo terremoto credibile (MCE) può essere fatta in modo speditivo mediante la introduzione di coefficienti di sicurezza, che, come è stato recentemente dimostrato, non solo sono in perfetta coerenza con l'impianto degli eurocodici, ma consentono di involuppare praticamente dovunque il catalogo sismico di mille anni disponibile (Rugarli et al. 2019b).

Stabilito quale sia il massimo terremoto credibile in un dato sito, è possibile generare sinteticamente un gran numero di segnali *site specific*, ovvero specifici per il sito in esame, dai quali è possibile estrarre spettri di risposta specifici del sito molto più credibili di quelli di normativa, oppure treni di accelerogrammi che possono convenientemente essere usati per selezionare i peggiori ai fini delle analisi numeriche (Fasan et al. 2015, 2017, Rugarli et al. 2019a, Rugarli 2022).

Il metodo neo deterministico è noto agli addetti ai lavori da molti anni, è stato inizialmente proposto dal prof. Panza, che ne ha gettato le basi ancora a metà degli anni '80 (Panza 1985). Circa dieci anni fa, nel 2013, in una specifica proposta di legge presentata da diversi deputati (primo firmatario Benamati), veniva scritto (Benamati et al. 2013):

Da un punto di vista della conoscenza della sismicità nella nostra penisola la nuova carta nazionale di pericolosità sismica ed il relativo codice sismico sono basati su metodologie e relativi codici di calcolo che hanno oltre 20 anni. Più precisamente, le valutazioni del rischio sismico si basano generalmente sull'uso dell'approccio probabilistico, basato cioè sulle informazioni storiche disponibili. Questi studi, assieme alla pericolosità sismica, sono stati impiegati nelle analisi territoriali finalizzate a zonazioni (classificazione sismica) o micro zonazioni fornendo utili indicazioni per la pianificazione urbanistica. Tali dati, però, sono inevitabilmente incompleti a causa della lentezza dei processi tettonici rispetto alla scala temporale umana. Mediante tali valutazioni, il rischio sismico può essere sottostimato in diversi siti. Nel recente passato sono stati sviluppati anche metodi deterministici o, più recentemente, neodeterministici (Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment o NDSHA) per superare queste limitazioni. Il NDSHA è un approccio innovativo, già applicato in vari paesi, ed è basato sul calcolo di segnali sintetici realistici e che non richiede il ricorso alle relazioni di attenuazione che sono semplificazioni non affidabili della realtà fisica. L'opportunità di affiancare il metodo NDSHA ai metodi tradizionali è stata già riconosciuta dal Parlamento con l'approvazione da parte della VIII Commissione Permanente Ambiente, Territorio e

Al momento, la applicazione del metodo neodeterministico è consentita dal par. 3.2.3.6. della normativa NTC 2018, con la imposizione che lo spettro di risposta dei segnali sintetici non possa essere inferiore per più del 20% rispetto agli spettri che si sarebbero usati con il metodo probabilistico.

Se da un lato ciò è comunque una buona notizia, resta il fatto che gli *spiriti animali* del capitale spingono inesorabilmente a ridurre al minimo la spesa per investimenti che vengono percepiti come inutili, e che quindi la grande maggioranza dei committenti tende oggi a non considerare questa opportunità.

Ad oggi, il reperimento di segnali sintetici neodeterministici può essere fatto mediante un sito web dedicato (www.xeris.it) ma non esiste alcun servizio pubblico teso a tale scopo. Di tale servizio pubblico si avvantaggerebbero grandemente gli ingegneri strutturisti del Paese per ridurre il rischio sismico dei nuovi edifici e di quelli da consolidare.

10 Conclusioni

Concludendo questa memoria si vogliono riepilogare le aree dove a parere di chi scrive è urgente intervenire:

1. E' necessario ridefinire le competenze in materia di ingegneria civile strutturale, lasciando solo alle persone competenti l'onere di intervenire con analisi quantitative sulle strutture esistenti e nuove. Alle analisi numeriche avanzate dovrebbero essere affiancati metodi speditivi per i quali siano sufficienti preparazioni inferiori, che dovrebbero comunque essere acclamate come già si fa in altri ambiti.
2. E' dunque necessario formare personale in grado di eseguire valutazioni speditive e progettare interventi standard di consolidamento, prescindendo dall'obbligo di valutazioni numeriche sofisticate. Queste ultime dovrebbero essere impiegate solo là dove possibile, economicamente vantaggioso, e solo da personale realmente qualificato. Oggi le norme impongono calcoli che la maggior parte dei professionisti non dominano.
3. E' necessario erogare ingenti finanziamenti alla ricerca italiana di soluzioni standard utili a consolidare le tipiche palazzine in cemento armato edificate in Italia negli anni del boom economico e successivi (dai '50 agli '80), le quali costituiscono, nelle aree ad alta pericolosità sismica, lo stock di costruzioni più altamente rischioso per il combinato disposto di alta pericolosità, alta vulnerabilità ed alta esposizione.
4. E' necessario avviare una attività di indagine sulla vulnerabilità del patrimonio edile italiano, cominciando a raccogliere dati e informazioni nel *fascicolo del fabbricato* la cui introduzione non è più procrastinabile. Occorre cercare edifici particolarmente vulnerabili anche per possibili errori di progetto o per manomissioni causate da ristrutturazioni, e metterli in cima alla lista degli edifici da rinforzare, valutandone anche la possibile demolizione se non di valore storico o monumentale. Si dovrebbe arrivare a classificare il rischio sismico degli edifici ed a rendere notoria tale classificazione come avviene per quella energetica: ciò dovrebbe concorrere alla valutazione del valore di un immobile.

5. E' necessario avviare una costante attività di informazione che spieghi alla popolazione quanto è necessario si sappia per prendere piena consapevolezza del rischio sismico. Si deve sfavorire l'abusivismo, la autocostruzione, gli interventi strutturali fatti da incompetenti. Si deve tornare a vedere la edificazione come una attività specialistica e per fare questo è necessario istruire la popolazione che non sembra avere il concetto chiaro in mente.
6. Il formato probabilistico per la determinazione della pericolosità sismica è ingannevole e deve essere rimpiazzato da valutazioni neo-deterministiche, più realistiche e meno pretenziosamente precise. Vanno abbandonati concetti ingannevoli come "perdita annua media", "periodo di ritorno", "curva di pericolosità", perché sono privi di alcun riscontro scientifico e ostacolano le attività di indagine e di valutazione sismica, spingendo i più ad un uso indiscriminato ed incontrollabile di programmi software ai quali sempre più è demandato il compito di trarre conclusioni, spesso di fatto non controllabili e, a causa del formato probabilistico, illusorie.
7. Nel caso in cui siano necessarie o opportune indagini numeriche sofisticate (certamente per edifici nuovi, edifici strategici, centrali, edifici monumentali là dove possibile), sarebbe estremamente utile poter disporre di realistici segnali sintetici neo-deterministici in una banca dati generale *pubblica* accessibile dai professionisti, da utilizzare per generare spettri specifici di sito al substrato roccioso e per ottenere da questi segnali di superficie che tengano conto delle condizioni locali del suolo.

11 Riferimenti

Autorità Garante per la Concorrenza e il Mercato, AGCM, Bollettino 1/2014.
<https://agcm.it/pubblicazioni/bollettino-settimanale/2014/1/alias-6711>,
<https://agcm.it/dotcmsDOC/bollettini/1-14.pdf>

Barberi F, (1999). Audizione del 17/11/1999, Camera dei Deputati,
<http://documenti.camera.it/dati/leg13/lavori/stenografici/sed622/pdfs005.pdf>

Bela, J. (2014). "Too generous to a fault? Is reliable earthquake safety a lost art? Errors in expected human losses due to incorrect seismic hazard estimates", *Earth's Future*, 2, pp. 569–578.
<https://doi.org/10.1002/2013EF000225>

Bela J., Panza G. F. (2021), NDSHA A new paradigm for RSHA – an updated review, *Viet. J. Earth Sci.*, 43 (2), 111-190, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/15925>

Benamati et al. (2013). Proposta di Legge Delega al Governo per l'Adozione del Piano Antisismico Nazionale n° 1184 presentata l'11/6/2013, Atti Parlamentari, XVII Legislatura, Camera dei Deputati.

Cancani A. (1904). Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue, *Gerlands Beitr. Geophys.*, 2, 281-283

Castanos, H., and Lomnitz, C. (2002). "PSHA: is it science?" *Engineering Geology* 66 (3-4), pp. 315-317.
[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00039-X)

CENSIS (1984). Lo shock edilizio – Dal grande boom agli anni della crisi, Franco Angeli Editore.

Cornell C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
<https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article/58/5/1583/116673/engineering-seismic-risk-analysis>

Cortese A. (2015), Lo sviluppo del patrimonio abitativo dal 1951 al 2011, ISTAT working papers N° 12, 2015, ISTAT.

Emkin L. Z. (1998). Misuse of computers by structural engineers: a clear and present danger, *Structural Engineers World Congress, SEWC'98*, San Francisco, California, U.S.A., July 19-23, 1998, published and copyrighted by Elsevier Science Ltd., ISBN: 0080428457.

Fasan, M., C. Amadio, S. Noè, G.F. Panza, A. Magrin, F. Romanelli and F. Vaccari (2015). A new design strategy based on a deterministic definition of the seismic input to overcome the limits of design procedures based on probabilistic approaches. *In: Convegno ANIDIS 2015*. L'Aquila, Italy.

Fasan M, Magrin A., Amadio C., Romanelli F., Vaccari F., Panza G. F. (2016). A seismological and engineering perspective on the 2016 Central Italy earthquakes, October 2016, [International Journal of Earthquake and Impact Engineering](https://doi.org/10.1504/IJEIE.2016.10004076), 1(4):395-420, DOI: [10.1504/IJEIE.2016.10004076](https://doi.org/10.1504/IJEIE.2016.10004076)

Fasan, M., A. Magrin, C. Amadio, G.F. Panza, F. Romanelli and F. Vaccari (2017). A possible revision of the current seismic design process. *In: World Conference on Earthquake Engineering*. Santiago, Chile.

Freedman D. A. and Stark P. B. (2003). What is the chance of an earthquake?, Technical Report 611, Department of Statistics, University of California at Berkeley, rev. January 2003.

Geller, R.J., Mulargia, F. and Stark, P.B. (2016). "Why we need a new paradigm of earthquake occurrence", in G. Morra, D.A. Yuen, S.D. King, S.-M. Lee and S. Stein (Eds.), *Subduction Dynamics: From Mantle Flow to Mega Disasters*, Geophysical Monograph, 211, *American Geophysical Union*, Washington, DC, USA, pp. 183–191. ISBN: 9781118888858

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118888865.ch10>

<https://doi.org/10.1002/9781118888865.ch10>

Heyman J. (2014). Lo Scheletro di Pietra, EPC Libri (*The Stone Skeleton*, Cambridge University Press 1995)

Kahneman D.(2012). *Pensieri Lenti e Veloci*, Saggi Mondadori

ISTAT sito: http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES

L.E.D.A., Unikore, <https://unikore.it/ricerca/strutture-di-ricerca-laboratori/centri-di-ricerca-l-e-d-a/laboratorio-di-dinamica-sperimentale/>

Legnini G. (2022). Intervento al Webinar *Ricostruire in Sicurezza*, ripreso da *Ingenio*, 19, 5, 2022, <https://www.ingenio-web.it/34691-terremoti-legnini-dal-belice-a-oggi-danni-per-190-miliardi-di-euro>

Lliboutry L., (2000). *Quantitative Geophysics and Geology*, Springer-Verlag, London, UK, ISBN 978-1-85233-115-3

- McKenzie D.P., Parker R. L., (1967). The North Pacific: an Example of Tectonics on a Sphere, *Nature*, 216, 1276-1280
- Mulargia, F., Stark, P.B. and Geller, R.J. (2017a). “Why is Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) still used?”, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, March 2017, 264, pp. 63–75.
<https://doi.org/10.1016/j.pepi.2016.12.002>
- Mulas M. G., et al. (2013). The partial collapse of “Casa dello Studente” during L’Aquila 2009 earthquake, *Engineering Failure Analysis*, 2013.
- Palmisano F., Vitone A., Vitone C., Vitone V. (2001). Il Caso del Crollo dell’Edificio di Viale Giotto a Foggia, CRASC, Crolli e Affidabilità delle Strutture Civili, Atti del Convegno Nazionale, Venezia, 2001
- Panza, G.F. (1985). Synthetic seismograms: the Rayleigh waves modal summation. *J. Geophys.*, vol. 58, pp. 125-145
- Panza G. F., Peresan A. (2016). *Difendersi dal Terremoto Si Può*, EPC LIBRI, 2016
- Panza G. F., Rugarli, P. (2016). *Scienza e Diritto: Les liaisons dangereuses*. Acta, Convegno Scienza e Diritto, 9-10 Marzo 2016, Accademia Nazionale dei Lincei, Rome.
- Panza G. F., Bela J. (2020). NDSHA: A new paradigm for reliable seismic hazard assessment, *Engineering Geology*, **275**, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105403>
- Panza G. F. (2020). A proposito di intensità sismica e magnitudo, *Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica, Matematica e Scienze Naturali 138°* (2020), Vol. I, fasc. 2, pp. 225-228 ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-40-9
- Panza G. F., Kossobokov V. G., Laor E., De Vivo B. Eds (2022). *Earthquake and Sustainable Infrastructure*, Elsevier, 2022. <https://www.elsevier.com/books/earthquakes-and-sustainable-infrastructure/panza/978-0-12-823503-4>
- Repubblica (2009). San Giuliano Sentenza Ribaltata: la Scuola non crollò per il Sisma, 26 Febbraio 2009, <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2009/02/26/san-giuliano-sentenza-ribaltata-la-scuola-non.html>
- Repubblica (2019). Sisma Bonus l’allarme degli esperti, Repubblica 12 Febbraio 2019, https://www.repubblica.it/economia/2019/02/12/news/sisma_bonus_l_allarme degli esperti una misura insostenibile -218621904/
- Rugarli P. (2003). *Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti*, EPC Libri, Roma, 2003
- Rugarli P. (2014). *Validazione Strutturale*, EPC Libri, Roma, 2015
- Rugarli P. (2015a). The Role of the Standards in the Invention of the Truth, Atti, Convegno La Resilienza delle Città d’Arte ai Terremoti, 3-4 Novembre 2015, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, inviato per la stampa.
- Rugarli P. (2015b). *Primum: non nocere*, Atti, Convegno La Resilienza delle Città d’Arte ai Terremoti, 3-4 Novembre 2015, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, inviato per la stampa.

Rugarli P. (2018). Much Ado About Nothing, presentazione al volume Norme Tecniche per le Costruzioni, EPC Libri, 2018

Rugarli P. (2019). La fede è fede, presentazione al volume Norme Tecniche per le Costruzioni con la Circolare Applicativa, EPC Libri, 2019

Rugarli, P., Amadio, C., Peresan, A., Fasan, M., Vaccari, F., Magrin, A., Romanelli, F. and Panza, G.F. (2019a). "Neo-Deterministic Scenario-Earthquake Accelerograms and Spectra: a NDSHA approach to seismic analysis", Chpt. 6 in "Engineering Dynamics and Vibrations: Recent Developments", Jia, J. and Paik, J.K., Eds., pp. 187-241, CRC Press Boca Raton, Florida, USA. ISBN 978-1-4987-1926-1
<https://doi.org/10.1201/9781315119908-6>

Rugarli P, Vaccari F, Panza GF (2019b). Seismogenic Nodes as a Viable Alternative to Seismic Zones and Observed Seismicity for the Definition of Seismic Hazard at Regional Scale, Vietnam Journal of Earth Science, DOI 10.15625/0866-7187/41/4/14233 <http://vjs.ac.vn/index.php/jse/article/view/14233/pdf>

Rugarli P. (2021). Proposte Ragionate, presentate dal Comitato Vittime Ponte Morandi alle Commissioni Parlamentari Ambiente e Trasporti, Commissioni VIII e IX, il 4/5/2021
https://www.camera.it/application/xmanager/projects/leg18/attachments/upload_file_doc_acquisiti/pdfs/000/005/336/Raccolta_Memorie.pdf

Rugarli P. (2022). The view of a structural engineer about reliable seismic hazard, in Panza et al. Eds, 2022, cit., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128235034000257>,
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823503-4.00025-7>

Stark P. (2017). Pay no attention to the model behind the curtain,
<https://www.stat.berkeley.edu/~stark/Preprints/eucCurtain15.pdf>.

Stark P. (2022a). A review of the Seismic Hazard Model MPS.19S, July 12, 2022, Comunicazione personale.

Stark P. (2022b). Pay no attention to the model behind the curtain, Pure and Applied Geophysics,
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-022-03137-2>

Tacconi G. (2021). Il Fascicolo del Fabbriato: che fine ha fatto o farà?,
<https://www.teknoring.com/news/pratiche-edilizie/iter-fascicolo-del-fabbriato/>

Tavola Vibrante, Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Tavola_vibrante

Tao Z., Tao X., Chen W., Tao Z., (2022). Test of PSHA Map of China with Fortification Benefit Evaluation, *Pure and Applied Geophysics*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-022-03103-y>