

Dal terremoto di Avezzano (1915) a quello dell'Aquila (2009): evoluzione dei criteri di progettazione

Le prime norme antisismiche sul territorio italiano furono emanate da Ferdinando IV di Borbone dopo la crisi sismica calabrese del 1783 mentre le prime norme dopo l'Unità seguirono il terremoto di Messina del 1908 e una prima valutazione delle azioni sismiche, in termini di forze applicate alle strutture, fu fornita dopo il sisma di Avezzano del 1915. Soltanto nel 1975 furono introdotti lo spettro di risposta e l'analisi dinamica. L'evoluzione continua e al riguardo si riportano alcune considerazioni e suggerimenti sia per le costruzioni di nuova realizzazione sia per quelle esistenti

DOI 10.12910/EAI2015-081

■ P. Clemente, G. Bongiovanni, G. Buffarini, F. Saitta

Introduzione

Il 13 gennaio 1915, alle ore 07:52:48, un violento terremoto di intensità pari all'XI grado della scala Mercalli e magnitudo 7,0, colpì l'intera area della Marsica in Abruzzo e parte del Lazio meridionale. L'evento, con epicentro nell'area del Fucino, fu avvertito dalla Pianura Padana alla Basilicata. La scossa principale era stata preceduta da uno sciame di bassa magnitudo, durato alcune settimane ma che non aveva creato allarmi, e fu seguita da circa un migliaio di *aftershock*. I danni furono ingentissimi: 30.000 vittime di cui 11.700 (su un totale di 13.000 abitanti) nella sola Avezzano che fu completamente rasa al suolo. Il terremoto risparmiò soltanto una casa e isolò completamente la zona. I soccorsi partirono con molte ore di ritardo e arrivarono solamente il giorno dopo a causa dell'impraticabilità di molte strade. Vittime e macerie anche nei paesi della Valle Roveto e della media Valle del Liri, nel Cicolano, nella Valle del Salto e nel circondario di Sora. Certamente lo Stato si dimostrò impreparato ad affrontare un disastro simile e a peggiorare le cose contribuì anche la situazione politica internazionale: era appena iniziata la grande guerra e l'Italia vi avrebbe preso parte qualche mese dopo.

Che cosa è stato fatto da allora e com'è cambiata la nostra capacità di prevenire e risollevarci dopo un evento così disastroso? È ben noto che la classificazione sismica del territorio italiano, fino a tempi recenti, ha sempre seguito gli eventi e così l'aggiornamento delle norme tecniche tanto da suscitare lo stupore di Shun Niitsu del Shigeru Satoh Laboratory che ha affermato: "Non riesco a capire perché in Italia quando dite ricostruzione antisismica pensate sempre a qualcosa che si fa dopo e mai prima che il terremoto avvenga". Ripercorriamo la strada fatta con la speranza di poter in un prossimo futuro smentire questa affermazione ma anche perché la conoscenza delle tecniche e delle norme vigenti al momento della costruzione sono indispensabili per poter intervenire sulle strutture esistenti.

Contact person: Paolo Clemente
paolo.clemente@enea.it



Alcuni eventi prima del 1915

Quello della Marsica non fu il primo violento terremoto del Regno d'Italia, essendo stato preceduto di pochi anni da quello che il 28 dicembre 1908, con intensità pari all'XI grado della scala Mercalli e magnitudo 7,1, aveva colpito le città di Messina e Reggio Calabria causando oltre 100.000 vittime. È tuttora questo il più grande terremoto dopo l'unità, secondo in assoluto soltanto al terremoto del Val di Noto del gennaio 1693 di magnitudo 7,4, e ha dato inizio alla classificazione sismica del nostro paese e alle norme tecniche per le costruzioni. Tra i casi precedenti l'unità nazionale si ricordano alcuni significativi per lo sviluppo tecnologico e normativo. Il 30 luglio 1627 un violento terremoto, di intensità pari all'XI grado Mercalli, colpì una vasta area della Campania e della Puglia. Per la ricostruzione si prescrisse il sistema baraccato alla beneventana, costituito da una struttura intelaiata in legno, con ritzi infissi in un basamento di muratura e con le maglie dei telai chiuse con materiali leggeri (canne, legname) cementate con malta e intonacate.

Il 5 febbraio 1783 furono colpite, da un terremoto di intensità dell'XI grado Mercalli, Calabria e Sicilia. L'evento causò circa 30.000 vittime e Ferdinando IV di Borbone, nel marzo 1784, emanò una legge con un regolamento per la ricostruzione che prevedeva regole per la scelta dei siti su cui riedificare, delle tipologie strutturali e dei dettagli costruttivi; fu confermato come idoneo il sistema "baraccato alla beneventana"; un documento illustrativo definiva l'altezza dello zoccolo di fondazione (fino a 130 cm), e lo spessore delle murature (65 cm) e imponeva l'uso di mattoni o di pietre piccole (abbracciabili dalla mano); la struttura di copertura doveva poggiare su cordoli alla sommità della muratura, collegati alla muratura in modo da formare "quasi un telaro".

Il 22 agosto 1859 un violento terremoto colpì Norcia. Pio IX emanò norme piuttosto severe che regolarono la ricostruzione: l'altezza massima delle nuove costruzioni era fissata pari a 2 piani o 8,5 m; lo spessore delle murature interne ed esterne doveva essere non inferiore a 60 cm; le murature esterne dovevano avere una scarpata di 1/20 dell'altezza; andavano previsti collegamenti tra muri interni ed esterni; le aperture dovevano essere allineate verticalmente e a distanza opportuna da spigoli e incroci.

L'unificazione dell'Italia purtroppo determinò un passo indietro nel progresso verso la sicurezza e le regole sismiche preesistenti furono rese meno stringenti in base al principio "liberi edifici in libera nazione". Lo stesso accadde anche dopo il Terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883 che causò circa 2000 morti: inizialmente fu definito un piano regolatore per la ricostruzione ed emanato il Regio Decreto n. 2600 del 29 agosto 1884 che stabiliva le altezze massime delle nuove costruzioni (10 m), vietava le strutture spingenti, limitava gli aggetti dei balconi (60 cm), ma poi la necessità di favorire lo sviluppo turistico dell'isola ebbe il sopravvento e le norme furono disattese. Gli eventi del passato rappresentano dei precedenti significativi con conseguenze sulla qualità del costruito che abbiamo ereditato e che tuttora pesano sulla sicurezza delle nostre costruzioni.

La classificazione sismica

Il Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909 elencava qualche centinaio di Comuni in Sicilia e Calabria, nei quali era posto l'obbligo di rispettare le norme tecniche per l'edificazione delle nuove costruzioni e per la riparazione di quelle danneggiate dal sisma. Fu il primo caso di classificazione sismica del territorio nazionale e riguardava soltanto Comuni dove il terremoto si era recentemente verificato. Così si è operato fino a tempi recenti e, inseguendo gli eventi accaduti, si è arrivati alla fine degli anni settanta con soltanto il 25% del territorio nazionale classificato sismico. Un significativo balzo in avanti si ebbe a seguito del terremoto Campano-Lucano del 23 novembre 1980, quando il 43% del territorio nazionale fu classificato sismico, anche grazie all'introduzione della zona 3, che includeva diversi Comuni delle province di Napoli e di Salerno e, in seguito, anche il Comune di Roma.

Alla fine degli anni settanta si sentì la necessità di razionalizzare la zonazione sismica del territorio nazionale, costruita inserendo di volta in volta Comuni interessati da nuovi eventi sismici, con il risultato di creare "isole" non giustificabili. Fu istituita presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici una Commissione per la Riclassificazione Sismica che recepì i risultati del Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR e stabilì dei criteri generali con i quali provvedere all'iscrizione dei Comuni negli elenchi di classificazione. La definitiva applicazione di

tali concetti si è avuta soltanto con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, tutto il territorio italiano fu classificato sismico e fu inserita la zona 4, a sismicità molto bassa.

Oggi la norma fornisce i valori necessari per calcolare lo spettro elastico su suolo rigido in corrispondenza dei punti di una maglia sul territorio nazionale di lato pari a 5,5 km, per diversi valori della probabilità di superamento in 50 anni. Per i punti interni alla maglia si procede per interpolazione. In sostanza in qualsiasi punto del territorio nazionale è calcolabile lo spettro di risposta elastico. Si prescinde, quindi, dai confini amministrativi comunali, evitando così la presenza di innaturali salti e vuoti che erano presenti nella classificazioni precedenti. Va osservato che non può più parlarsi di classificazione, mancando le classi, sostituite da una rampa continua (a rigore, da gradini che differiscono di 0.001g).

Le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica

Le prime norme tecniche del Regno d'Italia erano nel già citato Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909 e già contenevano importanti concetti, tuttora alla base del buon costruire in zona sismica: si escludeva la possibilità di edificare su siti inadatti, quali terreni paludosi, franosi o molto acclivi; era consentito edificare nuove costruzioni solo con "una ossatura di legno, di ferro, di c.a. o di muratura armata" (muratura animata, muratura squadrata e listata, telai in c.a.); la muratura, in mattoni o in blocchi di pietra squadrata o listata, era limitata alle costruzioni ad un solo piano; si ponevano limiti all'altezza degli edifici (specialmente a particolare rischio per l'uso che ne veniva fatto o strategici), al numero di piani, alla larghezza minima delle strade e agli spazi tra gli edifici; si prescriveva di considerare forze statiche orizzontali e verticali proporzionali ai pesi, per tenere conto degli effetti dell'azione sismica, ma tali forze non erano quantificate; si imponeva il rispetto di regole costruttive (collegamenti fra le strutture, limitazione a 5 m della distanza fra muri portanti, cordoli, sbalzi non superiori a 60-70 cm, strutture non spingenti). Erano già noti anche i concetti alla base delle moderne tecnologie antisismiche, come l'isolamento sismico, ma non fu data fiducia a tale strada e le norme non ne tennero conto.

Fu proprio a seguito del terremoto di Avezzano del 1915 che, col Decreto Legge 5 novembre 1916 (TU) n. 1526, apparve una prima valutazione delle azioni sismiche da considerare nella progettazione, a ciascun piano pari a 1/8 dei pesi associabili al piano stesso, ad eccezione del primo impalcato per il quale erano 1/6 dei pesi. Erano anche fissate le componenti verticali delle azioni sismiche verticali, pari al 50% dei pesi relativi a ciascun impalcato.

Con il Regio Decreto del 3 aprile 1926 n. 705, venivano fissate anche l'altezza massima di interpiano (< 5 m), l'altezza massima edifici in muratura ordinaria (8 m), la distanza tra i muri portanti (≤ 7 m), lo spessore della muratura in mattoni (= 30 cm all'ultimo piano con aumento di 15 cm ad ogni piano inferiore). Molte di queste prescrizioni sono tuttora valide.

Con l'introduzione della zona sismica di seconda categoria (Regio Decreto n. 431 del 13 marzo 1927) furono differenziati i valori delle azioni sismiche (Figura 1) e stabilite nuove limitazioni sull'altezza: 3 piani in zona II, 2 piani in zona I per telai in c.a. e muratura animata, ossia costituita da intelaiature in legno riempite da muratura. Grazie ai progressi delle conoscenze sull'analisi strutturale furono introdotte regole per il dimensionamento degli elementi strutturali (dimensione minima pilastri in c.a. 30*30 cm).

Nel Regio Decreto 25 marzo 1935 n. 640 furono stabiliti nuovi valori delle forze sismiche, ridotti rispetto ai precedenti, e vennero considerati, oltre ai carichi permanenti nella loro interezza, un'aliquota dei carichi variabili pari al 33% del valore di progetto (Figura 2). Veniva fissata anche la luce massima dei balconi, pari a 1 m.

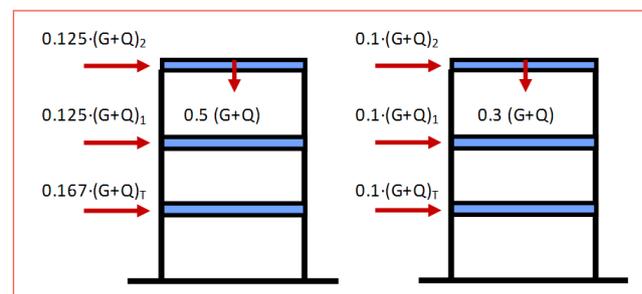


FIGURA 1 Forze statiche simulanti l'azione sismica in zona I (sx) e zona II (dx) secondo il R.D. n. 431 del 13.03.1927

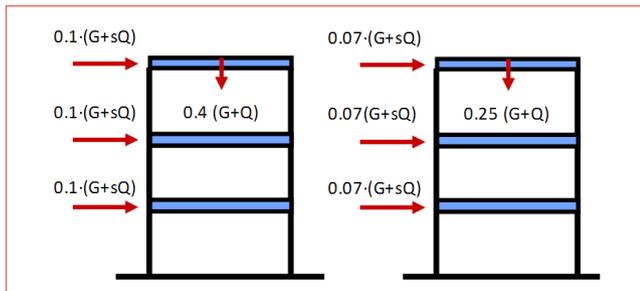


FIGURA 2 Forze statiche simulanti l'azione sismica in zona I (sx) e zona II (dx) secondo il R.D. 25 marzo 1935 n. 640

Una prima idea di prevenzione apparve nel Regio Decreto 22 novembre 1937 n. 2105, che definì le norme del buon costruire anche per Comuni non sismici, ma soltanto dopo il terremoto dell'Irpinia del 21 agosto 1962, di intensità pari al grado IX, si stabilì, con la Legge 25 novembre 1962 n. 1684, che le norme sismiche erano applicate ai Comuni "soggetti ad intensi movimenti sismici" e non più solo a quelli già colpiti dal terremoto. Inoltre: le azioni sismiche erano ridotte in presenza di situazioni geologiche e morfologiche favorevoli; i limiti delle altezze degli edifici erano definiti in funzione della loro tipologia costruttiva e della larghezza delle strade; era possibile realizzare edifici in muratura, c.a., acciaio e legno; erano vietate strutture spingenti; le forze sismiche orizzontali, applicate nelle due direzioni, erano valutate tenendo conto di sovraccarichi ridotti tramite un coefficiente $s = 0,33 \div 1$; la luce massima dei balconi era di 1,5 m.

Il 2 febbraio 1974 viene emanata la Legge n. 64, che rappresenta una pietra miliare nella storia normativa italiana: stabiliva alcuni principi generali, anche di carattere tecnico, e affidava ad appositi Decreti Ministeriali il compito di disciplinare i diversi settori delle costruzioni, garantendo inoltre un più agevole aggiornamento successivo delle norme stesse nonché della classificazione sismica che doveva procedere sulla base di comprovate motivazioni tecnico scientifiche. Così, negli anni seguenti, sono state prodotte norme tecniche relative ad edifici, ponti, dighe e alle indagini sui terreni di fondazione, senza dover ricorrere allo strumento della Legge. È stato inoltre previsto un sistema di controlli e di repressione delle violazioni particolarmente incisivo nelle zone sismiche, la cui efficacia tuttavia si è progres-

sivamente ridotta a seguito della possibilità introdotta dalla Legge 741/81 di snellire le procedure di controllo attraverso metodi a campione.

Va osservato che gran parte degli edifici esistenti in Italia è stato costruito prima del 1974, pertanto non risponde nominalmente a criteri antisismici perché in zona non classificata all'epoca della costruzione o perché progettato in campo elastico con azioni certamente inferiori a quelle reali.

Il Decreto Ministeriale 3 marzo 1975

Il Decreto Ministeriale del 3 marzo 1975, che seguì la legge 64 del 1974, recepì tutte le indicazioni precedenti e introdusse lo spettro di risposta in termini di accelerazione (Figura 4) $a/g=C \cdot R$, con $C=(S-2)/100$ ($S=12$ in zona I, $S=9$ in zona II e, dal 1981, $S=6$ in zona III) e $R=1$ per $T \leq 0,8$ sec e $R=0,862 \cdot T^{2/3}$ per $T > 0,8$ sec. Gli effetti delle azioni sismiche potevano essere valutati con l'analisi dinamica, tenendo conto almeno di tre modi di vibrazione i cui effetti andavano sovrapposti secondo la relazione $\alpha = \sqrt{\sum \alpha_i^2}$, o mediante analisi statica applicando forze parallele all'azione del sisma e distribuite proporzionalmente alle masse presenti con risultante pari a $F_h=C \cdot R \cdot W$ (W = peso totale). Gli effetti delle azioni sismiche verticali, valutati con forze $F_v=m \cdot C \cdot W$ (in genere $m=2$) e da considerare soltanto per luci maggiori di 20 m, strutture spingenti e sbalzi, andavano composti con la radice quadrata della somma dei quadrati.

Per le verifiche era consentito soltanto il metodo delle tensioni ammissibili sommando gli effetti delle azioni sismiche a quelli delle altre azioni. Gli spostamenti sismici effettivi, invece, che sommati a quelli dovuti alle altre azioni non dovevano compromettere il mantenimento delle connessioni né dare luogo a martellamenti fra strutture adiacenti, andavano valutati amplificando quelli ottenuti dall'analisi dinamica per un coefficiente pari a 4 ovvero quelli dell'analisi statica per un coefficiente pari a 6.

Per gli edifici con strutture intelaiate le azioni sismiche orizzontali si schematizzavano con due sistemi di forze orizzontali agenti non contemporaneamente secondo due direzioni ortogonali e applicate in corrispondenza dei baricentri dei pesi, ossia alle quote dei solai. L'analisi dinamica, obbligatoria per periodi di vibrazione

maggiori di 1,4 sec, richiedeva l'adozione di uno spettro di risposta di espressione $a/g = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta$, dove: ε = coefficiente del suolo (variabile tra 1,0 e 1,3 per terreni particolarmente compressibili); β = fattore di struttura (normalmente = 1,0 ma che si assumeva = 1,2 se l'azione sismica era interamente affidata ad elementi irrigidenti verticali).

Per l'analisi dinamica le forze da applicare erano pari a $F_h = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot W_i$, con W_i = peso del piano i-esimo, somma dei pesi fissi G_i e un'aliquota (variabile da 0,33 a 1,0) dei carichi accidentali Q_i e $\gamma_i = z_i \sum_j W_j / \sum_j z_j W_j$ = coefficiente di distribuzione con z_i = quota piano i-esimo dalle fondazioni (Figura 3).

Per gli edifici in muratura si limitava l'altezza (per la muratura ordinaria: 7,5 m in zona I, 11 m in zona II e, dal 1981, 16 m in zona III) ed erano fornite prescrizioni geometriche su spessori, distanze tra i muri e posizione e dimensioni delle aperture, senza richiedere un calcolo ad hoc, nonché la predisposizione di cordoli in c.a. in corrispondenza dei solai.

Il Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996

L'ultimo decreto fu il Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996 che conteneva le modifiche introdotte dai precedenti e alcune importanti novità:

- fu introdotto il coefficiente di importanza I (all'epoca detto di protezione sismica), che amplificava le azioni sismiche per 1,2 o 1,4 per le opere rilevanti e necessarie per la protezione civile, rispettivamente;

- si raccomandava di distribuire la forza sismica in modo da simulare gli effetti dinamici del sisma;
- fu introdotta la possibilità di eseguire le verifiche con il metodo agli stati limite combinando le azioni secondo l'espressione simbolica: $\gamma_G G + \gamma_q (Q_{1k} + \sum_2^n \psi_{0i} Q_{ik}) + \gamma_E E$ (con $\gamma_E = 1,5$ e per gli altri i valori più sfavorevoli nei rispettivi intervalli: $\gamma_G = 1 \div 1,4$ e $\gamma_q = 0 \div 1,5$; inoltre, $\gamma_G = \gamma_q = \gamma_E = 1$ per la verifica delle fondazioni) e adottando i valori delle resistenze ridotti rispetto a quelli caratteristici dei materiali ($\gamma_c = 1,6$ e $\gamma_s = 1,15$ per calcestruzzo e acciaio per c.a., e $\gamma_m = 1,12$ per l'acciaio, $\gamma_m = 3,0$ per la muratura);
- gli spostamenti relativi erano calcolati con la formula: $d = (d_{st} \pm \lambda \cdot d_E) / \chi$, con $\lambda = 2$ o 3 o 4, rispettivamente per I=1,0, 1,2 e 1,4; $\chi = 1,0$ o 1,5 rispettivamente per t.a. e s.l.; per gli spostamenti totali: $d_{tot} = (d_{st} \pm 9 \cdot d_E) / \chi$ (tiene conto del moto effettivo del terreno durante un terremoto di forte intensità e del comportamento non lineare della struttura);
- si introdusse un capitolo dedicato agli interventi su edifici esistenti, distinguendo l'adeguamento dal miglioramento sismico.

Inoltre, nella successiva Circolare Ministero Lavori Pubblici 10 aprile 1997 n. 65/AA.GG., venivano fornite istruzioni anche per i dettagli costruttivi necessari per garantire la buona riuscita dell'opera e, in particolare, quella duttilità necessaria per fronteggiare le azioni sismiche dissipando energia ed evitando il collasso.

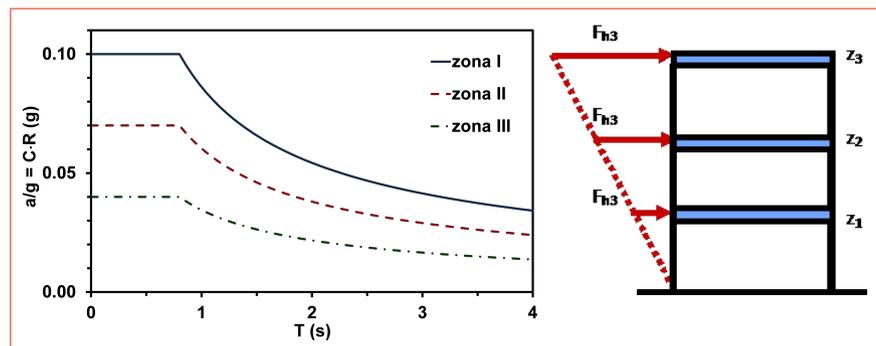


FIGURA 3 Spettro di risposta e forze statiche simulanti l'azione sismica secondo il Decreto Ministeriale 3 marzo 1975 (la zona III fu aggiunta successivamente, nel 1981)

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Con l'OPCM n. 3274/2003, successivamente aggiornata con l'OPCM 3431/2005, le norme furono modificate significativamente, inglobando in pratica l'Eurocodice 8, ma non divennero mai obbligatorie. Nel 2005 il Ministero delle Infrastrutture pubblicò anche il Decreto Ministeriale Infrastrutture 14 settembre 2005, che rap-

presentò il primo tentativo di raccogliere in un unico volume tutte le norme tecniche, ma in realtà contribuì ad aumentare il caos.

Le varie proposte trovarono finalmente la sintesi nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" introdotte con il DM Infrastrutture 14 gennaio 2008, cui hanno fatto seguito le "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14.01.08" (Circolare 02.02.09 n. 617), entrate in vigore, in sostituzione di tutte le precedenti, soltanto a seguito del terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009. Ai fini di un confronto con le norme precedenti si evidenziano i seguenti aspetti:

- la pericolosità sismica è descritta da un insieme di mappe che forniscono, su tutto il territorio nazionale, i valori della massima accelerazione orizzontale PGA , della massima amplificazione F e del periodo T_{CA} che segna la fine del tratto orizzontale nello spettro in accelerazione su suolo rigido, ciascuna relativa a una probabilità di superamento P_{NRC} in 50 anni (o a un tempo di ritorno T_{NRC}); per suoli non rigidi vengono forniti valori amplificativi di a_g e di T_C^* ; per tener conto dell'importanza dell'opera si assume un evento sismico con P_{NRC} minore fino al minimo del 2% in 50 anni;
- vanno considerate azioni sismiche orizzontali che agiscono contemporaneamente secondo due direzioni ortogonali, al 100% nella direzione principale e ridotte al 30% nell'altra;
- l'importanza della struttura è valutata amplificandone la vita nominale (generalmente pari a 50 anni, ma che può assumersi anche pari a 100 anni per opere particolari) per un fattore d'uso pari a 1,5 o 2,0, rispettivamente per le opere di particolare rilevanza e necessarie per la protezione civile; dal valore ottenuto dipende l'entità delle azioni sismiche; ciò equivale a fare riferimento a eventi meno probabili e, quindi, più gravi;
- si tende ad un approccio prestazionale con il criterio della gerarchia delle resistenze;
- le verifiche vanno eseguite con il metodo agli stati limite, combinando gli effetti delle azioni secondo l'espressione simbolica $G + \sum_2^o \psi_{0i} Q_k + E$ e adottando i valori delle resistenze ridotti rispetto a quelli caratteristici dei materiali ($\gamma_c = 1,5$ e $\gamma_s = 1,15$ per calcestruzzo e acciaio per c.a., $\gamma_m = 1,05$ per l'acciaio, $\gamma_m = 2,0 + 3,0$ per la muratura);

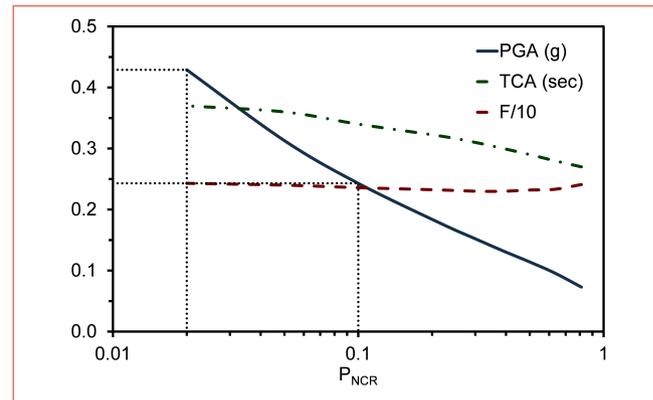


FIGURA 4 Valori dei parametri spettrali al sito di Avezzano

- è distinto lo SLU della struttura (STR) da quello del terreno (GEO);
- è ammesso l'utilizzo delle moderne tecnologie antisismiche, quali l'isolamento e la dissipazione di energia.

Spunti per le norme future

Il confronto tra la mappa di pericolosità relativa al minimo P_{NRC} ($= 2\%$, ossia $T_{NRC} = 2475$ anni) con quella relativa ai massimi eventi credibili mostra che la prima fornisce valori maggiori quasi ovunque (Zuccolo et al., 2011) e, pertanto, va considerata a vantaggio di sicurezza. Nella pratica non è richiesto di progettare con riferimento a tali azioni ma a quelle con probabilità di superamento del 10% ($T_{NRC} = 475$ anni), che sono mediamente la metà di quelle del 2% (Figura 5). Quindi non proteggiamo le nostre costruzioni e le nostre vite rispetto all'azione sismica massima che può verificarsi ma rispetto a un'azione ridotta. Ma c'è di più: rispetto a questa adottiamo un fattore di comportamento q (con valori anche pari a 3-4) affidando la capacità della struttura di non collassare alla sua duttilità. In definitiva, le nostre costruzioni dovrebbero essere in grado di sopportare sismi medio-deboli, con accelerazioni pari al 25-30% di quello di progetto, senza subire danni importanti; per eventi maggiori e fino a quello di progetto dovrebbero danneggiarsi in modo intelligente, ossia senza collassare; infine, in caso di sisma

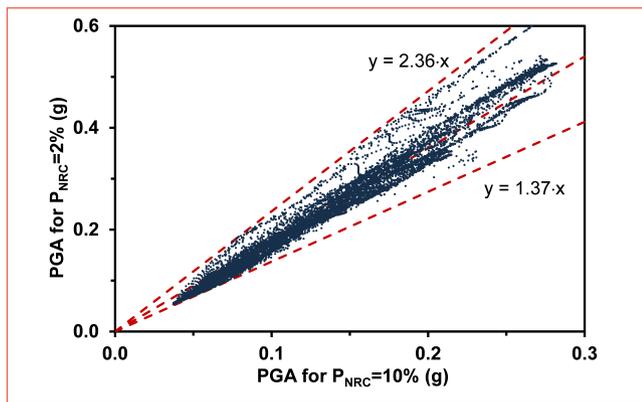


FIGURA 5 Coppie di valori PGA relative a $P_{NCR} = 10\%$ e $P_{NCR} = 2\%$ sul territorio italiano

di intensità maggiore di quello di progetto la struttura dovrebbe crollare.

Una corretta prevenzione dovrebbe, invece, imporre la costruzione di edifici che siano in grado di sopportare senza crollare, pur danneggiandosi, il massimo evento credibile al sito e di fronteggiare un evento di maggiore probabilità, per esempio quello relativo a $P_{NCR} = 10\%$, in campo elastico senza alcun danno. Così facendo la duttilità richiesta sarebbe quasi mediamente pari a 2, valore certamente ottenibile e affidabile.

Nelle aree a maggiore pericolosità sismica e in presenza di sottosuoli amplificativi, laddove questo comporti costi eccessivi o notevoli vincoli architettonici, si potrebbe accettare un fattore di comportamento maggiore, garantendo l'assenza di danni fino ad un evento con probabilità di superamento maggiore del 10%. In alternativa si potrebbero imporre limiti sull'altezza anche per gli edifici a struttura intelaiata o l'adozione di moderne tecnologie antisismiche.

In gran parte del territorio nazionale sarebbe possibile progettare in campo elastico e un'analisi economica ha dimostrato che una tale assunzione com-

porterebbe costi certamente accettabile specie se confrontati con i costi di riparazione e ricostruzione dei recenti eventi sismici.

Conclusioni

“Ho desiderato accennare al tecnicismo perché con esso in qualche aspetto si può collegare la tendenza alla proliferazione delle norme. È chiaro che le regole hanno nobili motivazioni: l'intento di tutelare la sicurezza strutturale e porgere un aiuto; di portare coerenza e sicurezza in un quadro frammentario e alle volte confuso. Ma un numero di regole eccessivo comporta vari inconvenienti: l'impoverimento dell'autonomia e della creatività, in quanto l'opera del progettista è irretita dalle norme; la difficoltà di discernere ciò che veramente conta; la sensazione di avere al riparo delle norme, responsabilità assai alleviate; la difficoltà non infrequente di rendersi conto dei ragionamenti che giustificano certe regole, rischiando di considerare queste alla stregua di algoritmi, ossia di schemi operativi che, una volta appresi, il pensiero non è più chiamato a giustificare. Ma tra le varie conseguenze, una delle più temibili è l'attenuazione del senso di responsabilità, mentre questa costituisce uno dei diritti fondamentali dell'uomo, violando il quale la vita si appiattisce e si rafforza, attraverso il costituirsi di una società iperorganizzata, il sistema tecnocratico in grado di diventare, come dice Konrad Lorenz, il tiranno della società umana, anche perché la tecnocrazia si giova di un patrimonio di informazioni scientifiche che il singolo non può conoscere se non in minima parte” (Pozzati, 1993).

La parole di Pozzati, molto attuali, non hanno bisogno di alcun commento. ●

Paolo Clemente, Giovanni Bongiovanni,
Giacomo Buffarini, Fernando Saitta

ENEA, Laboratorio ingegneria sismica e prevenzione dei rischi naturali



From Avezzano (1915) to L'Aquila (2009) earthquake: evolution of design criteria

The paper analyzes the evolution of the anti-seismic design criteria presenting and discussing the changes in the seismic code in Italy. A brief presentation of the main earthquakes that hit the peninsula in the 20th century is given, and the subsequent evolution of the code. The first law, which gave rules for buildings, was issued by Ferdinand IV de Bourbon, king of the Two Sicilies, in the 1784, after the seismic event in the Calabria and Sicily regions in 1783, Macro-seismic Intensity XI. Already other significant earthquakes were remembered at that date, especially the one of 1693 in Val di Noto, Sicily, with a 7,4 estimated magnitude. According to the above mentioned law, rules for minimal dimensions of structural elements, masonry walls and foundations, were given, as well as specific prescriptions on the connection between walls and roof. Interesting regulations for reconstruction were also given by pope Pio IX after the earthquake of 1859 in Norcia. The first severe earthquakes after the creation of the Italian Kingdom were the Messina and Reggio Calabria earthquake with magnitude 7.1 (1908), and the Marsica earthquake (1915) with magnitude 7.0. In the Regio Decreto n. 193 of April 18th 1909, a list of municipality classified as seismic ones was proposed. This list was progressively updated but only after earthquakes. Seismic forces in structural design were introduced by the D.L. n. 1526 of November 5th 1916, after the Marsica earthquake, with an almost constant distribution of the acceleration along the building height, not accounting for the actual dynamic behavior of the structures. Only after the n. 64/1974 law and the subsequent seismic code (DM of March 3rd 1975), modal and spectrum analyses appeared. Seismic check could be carried out by means of the static analysis, with horizontal acceleration linearly increasing along the height simulating the first mode of a cantilever beam, or by the dynamic analysis, with modal contributions combined according with the SRSS rule. The DM 16/01/1996 introduced important innovations, such as the importance factor and the possibility of using the limit state design in seismic areas, and the coefficients for load combinations and material strengths were fixed. Furthermore, a specific section was dedicated to existing buildings, in which the seismic improvements and the complete seismic upgrading were distinguished. Finally, in the wake of the more recent earthquake, the OPCM 3274/2003 and then the DM 14/01/2008 aligned the Italian rules to those of the Eurocode 8. The old classification of the territory, based on administrative boundaries, was substituted by a punctual definition in the territory of the seismic parameters needed to plot the elastic spectra. Some observations about the current code and some suggestions to improve the prevention efforts both for new and existing structure are given.

- Bongiovanni G., Buffarini G., Clemente P., Saitta F. (2012). "Building in seismic areas: towards a new prevention policy". *15th World Conf. on Earth. Eng., 15WCEE*, (Lisbon, 24-28 Sept.), Paper 0672, ISBN 9789892031828
- Bongiovanni G., Clemente P., Forni M., Hailemikael S., Martini G., Paciello A., Rinaldis D., Verrubbi V., Zini A. (2013). "Valutazione della pericolosità sismica: considerazioni". *Energia, Ambiente e Innovazione*, No. 3-4, 2-9, ENEA, Roma, DOI: 10.12910/EAI2013-01
- Clemente P. (2010). *Azione sismica sulle strutture*. Appunti del corso di Modellazione dinamica delle strutture, Sapienza Univ. di Roma, Fac. di Architettura
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G. & Saitta F. (2015). "Seismic input in the structural design: considerations and application to the Italian territory". *Int. J. of Safety and Security Eng.*, WIT Pres, DOI: 10.2495/SAFE-V5-N2-101-112
- Goretti A. (2007). *Storia delle norme tecniche e della classificazione sismica*. Seminario su Linee guida per la valutazione della resistenza sismica degli edifici strategici e rilevanti. Regione Abruzzo e Univ. L'Aquila
- Pozzati P. (1993). "Proliferazione delle normative e tecnicismo", *Notiziario AICAP* allegato a *L'industria Italiana del Cemento*, n. 3
- Zuccolo E., Vaccari F., Peresan A., Panza G. (2011). "Neo-deterministic and probabilistic seismic hazard assessment: a comparison over the Italian territory". *Pure Appl. Geophys.*, 168, 69-83