

LA REVISIONE DELL'EUROCODICE 8 ALLA LUCE DELLO STATO DELL'ARTE DELL'INGEGNERIA SISMICA ITALIANA

Iunio Iervolino

Professore di Dinamica delle Costruzioni e Ingegneria Sismica, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II
iunio.iervolino@unina.it

SOMMARIO

Gli Eurocodici sono da almeno circa un ventennio un riferimento, non solo europeo, per la progettazione costruzioni. In particolare, l'Eurocodice 8 (EC8), dedicato agli effetti sismici, ha avuto il grandissimo merito di costringere l'ingegneria europea, e di conseguenza gli stati nazionali, a fare i conti con l'approccio prestazionale alla progettazione e alla analisi delle strutture. L'Italia è probabilmente il paese che più di tutti ha beneficiato della spinta propulsiva degli Eurocodici, grazie alla preparazione sia della comunità professionale sia di quella scientifica. Ora è in corso un processo di revisione degli Eurocodici, in cui sta emergendo una certa asincronia della cultura tecnica in Europa in materia sismica, con una chiara distinzione tra i paesi (più sismici) del sud e quelli (meno sismici) del nord del continente. Si tratta, quindi, di un passaggio molto delicato e la rappresentanza italiana sta lavorando attivamente perché anche questa volta la norma europea rappresenti quel progresso della cultura tecnica che è stato in passato. Si discutono in questa breve nota il processo di revisione dell'EC8, la situazione dell'ingegneria sismica italiana e, a titolo di esempio, due aspetti su cui si è molto dibattuto in sede europea e che possono determinare il giudizio italiano complessivo sull'Eurocodice.

FIGURA IN APERTURA. Mappa dell'impatto mondiale degli Eurocodici.

ABSTRACT

EUROCODE 8 REVISION FROM THE ITALIAN STANDPOINT

Eurocodes have been a reference for structural design, not only in Europe, in the least twenty years. Eurocode 8, dealing with the earthquake effects, had the great merit of forcing European engineering, and consequently the nations, to deal with the performance-based approach to design and assessment of structures. Italy is probably the country that most of all benefited from the cultural boost of Eurocode 8 (EC8), thanks to the education of both the professional and scientific communities. A revision of the Eurocodes is now underway, where some misalignment of seismic technical culture among Europe is emerging, with a clear distinction between the relatively more seismically hazardous countries of the south and those relatively less seismically active in the north of the continent. This is therefore a very delicate situation, and the Italian delegation is actively working to ensure that even this time the Eurocode represents a progress of technical culture, as it has been in the past. This brief note discusses the revision of the Eurocodes, the situation of earthquake engineering in Italy and examples of issues on which there has been a hot debate at European level, explaining why the Italian overall judgment on the EC8 is not determined yet.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

*progettazione sismica, pericolosità, duttilità, sicurezza strutturale, costruzioni
seismic design, hazard, ductility, structural safety, buildings*

INTRODUZIONE

L'era moderna dell'ingegneria sismica italiana si fa cominciare con il terremoto di Messina del 1908 (di magnitudo, M , stimata 7.1) che – insieme allo tsunami che ne conseguì – fece alcune decine di migliaia di vittime. Nel 1909 fu emanato quella che si considera come la prima norma sismica nazionale; essa prescriveva alcuni requisiti per gli edifici costruiti nelle aree affette dal terremoto. Da allora e fino a oggi, prevalentemente sull'onda – anche emotiva – di terremoti distruttivi, c'è stata una evoluzione costante (non senza alcune involuzioni) delle norme sismiche italiane. Alcuni passaggi rilevanti (per una disamina più dettagliata si veda [2,3] e i riferimenti bibliografici in esso contenuti) sono il Decreto Legge 1526 del 1916, a seguito del terremoto di Avezzano del 1915 ($M7$); esso faceva esplicitamente riferimento al concetto di *taglio alla base*. Nel 1935, il Regio Decreto 640 faceva riferimento a zone a diversa pericolosità sismica. La Legge 40 del 1975 di fatto introduceva lo *spettro di risposta*. Nel 1996 fu introdotto il concetto di *stati limite*, ma siccome le *tensioni ammissibili* rappresentavano l'approccio seguito fino ad allora, e ancora permesso, praticamente gli stati limite non furono utilizzati fino a molto dopo. La OPCM 3274 del 2003 rappresenta l'inizio dell'era contemporanea delle norme sismiche in Italia, con l'introduzione di un approccio alla progettazione strettamente imparentato col coevo Eurocodice 8 [4] poi confluito nelle norme tecniche (NTC) del 2008 [5]. Tuttavia, ancora una volta, è stato necessario un evento catastrofico, come il terremoto di L'Aquila del 2009 ($M6.3$) perché le NTC diventassero l'unica norma cogente. Sono queste ora le norme in vigore, solo aggiornate nel 2018 [6]. E' utile, per quanto detto nel seguito, notare che dal 2003 in poi, le azioni sismiche per la progettazione in Italia sono basate sulla cosiddetta *analisi probabilistica di pericolosità sismica* (APPS) del sito di costruzione (e.g., [7]). La APPS è un metodo scientifico rigoroso, affermatosi nel mondo a partire dagli anni Settanta, e che l'Italia ha pionieristicamente introdotto in Europa a livello normativo.

L'Eurocodice, che rimane un elemento di integrazione continentale molto importante, per comprensibili ragioni descritte nel seguito, passa per un processo di approvazione molto lungo che interessa tutti gli stati membri della unione europea e oltre (come Svizzera e Regno Unito) e per lo stesso motivo non può avere una evoluzione con la stessa velocità delle norme nazionali. Anche la diversa sismicità dei vari paesi, intesa come frequenza di occorrenza di terremoti dannosi, fa sì che la sensibilità sulle norme sismiche sia molto diversa, come anche il livello di cultura tecnica. Per tutti questi motivi gli Eurocodici sono ora, dopo due decenni, in revisione. Nel frattempo buona parte del gruppo che aveva partecipato alla sua redazione è stato rimpiazzato, sia per un fisiologico ricambio generazionale, sia per un generale allargamento delle entità coinvolte. Come anticipato sopra, non bisogna neanche nascondere come i vari paesi europei siano portatori di cultura sismica, esperienza di terremoti dannosi, e interessi professionali/industriali molto diversi. Tutto ciò fa sì che elemento centrale del processo di revisione, al pari se non di più delle questioni tecniche, sia la mediazione tra queste differenze. Il veloce progredire dell'ingegneria sismica italiana, per contro, fa sì che possano nascere alcuni nodi critici che rischiano di determinare una dannosa, se non pericolosa, discrasia tra le norme europee e quelle italiane. Nel seguito, dopo avere brevemente discusso il processo di revisione degli Eurocodici e la situazione dell'ingegneria sismica italiana, si discutono, a titolo di esempio, due questioni, una legata alla progettazione per duttilità e una alla pericolosità sismica probabilistica, che rappresentano aspetti potenzialmente negativi o positivi del nuovo Eurocodice. Alcune considerazioni finali chiudono la nota.

IL PROCESSO DI REVISIONE DELL'EC8

La revisione degli Eurocodici, e in particolare dell'Eurocodice 8 (EC8), è stata commissionata dal CEN (l'organo di standardizzazione europeo) attraverso il *Technical Committee 250* al *Sub Committee 8* (SC8) (c'è un SC per ogni eurocodice). Lo SC8 è il luogo in cui si incontrano le delegazioni nazionali per governare il processo di revisione, votando le risoluzioni relative alle bozze delle varie parti dello EC8 (ci sono sei parti: (1.1) generale (1.2) edifici, (2) ponti, (3) strutture esistenti, (4) serbatoi, silos, tubazioni, etc., (5) opere geotecniche). Le bozze sono di fatto prodotte in outsourcing dai cosiddetti *project team* (PT), cioè gruppi di esperti messi sotto contratto proprio col mandato di sviluppare le revisioni discusse dallo SC8. Le delegazioni nazionali nello SC8 sono definite dagli organismi di standardizzazione nazionale; per l'Italia è compito dell'UNI, attraverso la sua commissione strutture e le sottocommissioni. Per facilitare le discussioni all'interno dello SC8 esistono anche dei *workgroup* (WG) che hanno il compito di istruire le questioni relative ad argomenti specifici. Va detto che la presenza di esperti italiani è nutrita sia nei PT che nei WG per motivi che si approfondiranno nella sezione successiva.

Formalmente la revisione dell'Eurocodice è cominciata nel 2010 con la predisposizione del mandato allo SC8, ma la revisione tecnica vera e propria è cominciata nel 2015, e sta finendo in questi mesi. Una volta che le bozze definitive saranno approvate, ci vorrà ancora più di un anno affinché esse siano messe a disposizione degli organi nazionali i quali, a quel punto, avranno alcuni anni per preparare i cosiddetti *annessi nazionali*. Essi sono quelle parti della norma europea che necessitano di declinazione a livello dei singoli stati. Per esempio, si considerano scelte degli stati sovrani quelle in materia di livelli di affidabilità/sicurezza per le costruzioni e la determinazione dei cosiddetti *nationally-determined parameters* (NDP). È anche facoltà degli stati nazionali sostituire alcune informazioni fornite dall'Eurocodice a scala europea con quelle provenienti da studi più accurati sviluppati per paesi specifici, come la *pericolosità sismica* territoriale. L'obiettivo è di avere, circa intorno al 2027, il ritiro della versione attuale degli Eurocodici, che saranno rimpiazzati da quelli revisionati.

I principi ispiratori della revisione dello EC8 sono la semplicità di utilizzo (*ease of use*) e la riduzione al massimo possibile del numero degli NDP.

L'INGEGNERIA SISMICA ITALIANA DEL XXI SECOLO

L'ingegneria sismica italiana è oggi, senza dubbio, tra le più attive del mondo. Essa è quella che produce, in proporzione alla estensione della comunità scientifica e al livello di finanziamento, tra le più grandi quantità di risultati di ricerca. Indipendentemente dalla qualità media della ricerca in ingegneria sismica, che può anche soffrire del grande costo delle prove sperimentali e della relativa rarità dei fenomeni di interesse, è chiaro che la grande quantità di risultati di ricerca porti con se un certo numero di contributi di particolare rilevanza. Questa è la situazione dell'inizio del XXI secolo, mentre in quello precedente gli Stati Uniti d'America sono stati trainanti, ma ora la generazione dei grandi maestri è tramontata e anche le priorità di ricerca degli USA hanno deviato dalla sismica, considerando forse la progettazione un problema sostanzialmente risolto (ci sono molti motivi che qui non si possono discutere nel dettaglio per cui questa valutazione potrebbe essere errata) o comunque a priorità secondaria rispetto ad altri.

Ci sono molte ragioni concorrenti per cui l'ingegneria sismica italiana è a questo livello. Prima di tutto, una forte tradizione nelle università e nei centri di ricerca del sistema pubblico. Non meno importante è lo stimolo che viene dai terremoti dannosi

che colpiscono, con grande frequenza, praticamente tutto il paese (a differenza degli USA dove le zone sismiche sono relativamente concentrate). Se si pensa ai terremoti da magnitudo sei in poi, che sono quelli che in Italia sistematicamente causano vittime, essi ricorrono in Italia mediamente ogni otto anni circa (con illustri eccezioni di magnitudo molto inferiore, come il terremoto di magnitudo 3.8 di Casamicciola del 2017).

Certamente negli ultimi due decenni un ruolo fondamentale l'ha avuto il Consorzio della *Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica* (ReLUIS) che, riunendo praticamente tutta la comunità scientifica nazionale, ha permesso di canalizzare gli sforzi di ricerca creando un linguaggio comune e una unità di intenti, oltre che una razionalizzazione delle risorse e delle infrastrutture di ricerca. ReLUIS è stato fondato grazie alla *Presidenza del Consiglio dei Ministri*, attraverso il *Dipartimento della Protezione Civile* (DPC). Questa è stata un'occasione unica perché il DPC ha finanziato a ReLUIS, a partire dal 2005 e senza soluzione di continuità, una serie di progetti di ricerca proprio esplicitamente finalizzati allo sviluppo normativo. D'altra parte, il DPC ha coinvolto ReLUIS, quale *centro di competenza* per l'ingegneria sismica, nella gestione delle emergenze e delle ricostruzioni delle maggiori sequenze sismiche degli ultimi vent'anni (L'Aquila 2009, L'Emilia 2012, e il centro Italia 2016-2017). La possibilità di avere a che fare con evidenze di vari terremoti molto dannosi in pochi anni, a fianco della ricerca teorica opportunamente finanziata e coordinata, è stata una congiuntura unica nel panorama internazionale, certamente a livello europeo.

Un altro motivo essenziale dello sviluppo dell'ingegneria sismica italiana viene dalla interlocuzione con la comunità geofisico-sismologica e dal bagaglio di conoscenze e di dati da questa messa a disposizione. Questo avviene ed è avvenuto principalmente grazie all'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* (INGV) e al suo estesissimo sistema di monitoraggio sismico che si estende ben oltre i confini nazionali. L'INGV, anch'esso finanziato dal DPC, ha realizzato con ReLUIS la scomposizione razionale del rischio sismico, cioè per competenza, scisso tra analisi e monitoraggio della *pericolosità* del territorio (INGV) e valutazione e controllo della *vulnerabilità* dell'ambiente costruito (ReLUIS).

Per tutti questi fattori e probabilmente altri, come i finanziamenti alla ricerca della commissione europea attraverso i *programmi quadro* (VI e VII) prima e *Horizon 2020* dopo, si può concludere che l'ingegneria sismica italiana sia la più avanzata in Europa (pure seguita da altre comunità autorevoli come, per esempio, quella greca, portoghese, slovena, etc.) e quindi anche più generalmente attenta alla questione dello sviluppo normativo. Questo perché avendo una norma nazionale sismica e una valutazione della pericolosità del territorio di grande dettaglio, è preoccupata da un eventuale scostamento delle norme europee dai principi dell'ingegneria sismica italiana, che di fatto riflettono lo stato dell'arte della ricerca internazionale. Altri paesi, invece, anche perché molto più raramente interessati da fenomeni sismici largamente dannosi, possono avere minore sensibilità al tema e sono forse principalmente guidati da altri interessi, come la semplificazione della progettazione sismica, che consentirebbe una più facile apertura a scala europea del mercato professionale della progettazione e della produzione industriale legata alla sismica. Queste divergenze hanno portato la rappresentanza italiana nello SC8 a contestare fortemente alcune proposte per la revisione dell'Eurocodice, ma anche a plaudirne altre, anche se – come si vedrà nel seguito – alcuni chiari progressi del nuovo EC8 sono già realtà consolidata nella pratica italiana.

DUE PUNTI CRITICI

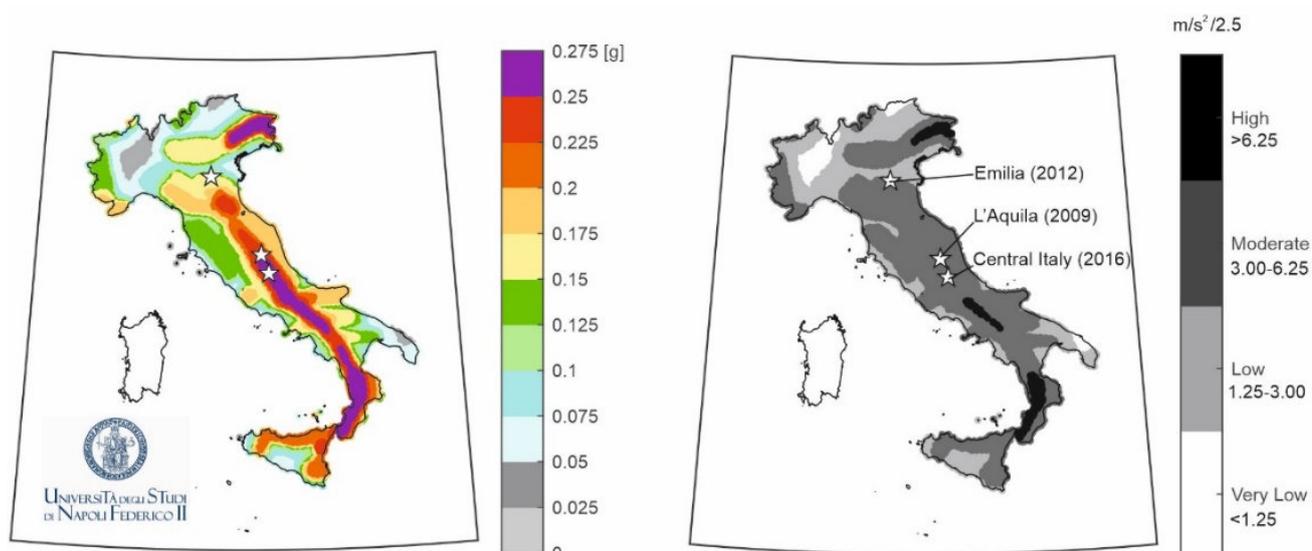
La progettazione per duttilità

Una delle bozze discusse nel 2020 della parte 1.1 (parte generale) dello EC8 conteneva, nelle prime pagine una clausola che recitava:

"(7) In caso di classi di azione sismica bassa o moderata, o per strutture specifiche come specificato nella parte pertinente della EN1998, le strutture progettate secondo gli altri Eurocodici possono essere verificate [...] con proprietà dei materiali per la situazione accidentale e con fattore di comportamento unitario, mentre le altre condizioni dello EC8 possono essere omesse."

Ricordando che fattore di comportamento unitario significa progettazione di fatto elastica per le azioni di progetto, sostanzialmente questa clausola consentirebbe la progettazione senza alcun principio di ingegneria sismica (e.g., *progettazione per duttilità e gerarchia delle resistenze*) per classi di *azione sismica* fino a moderata. Essa, inoltre, elimina anche un'importante fonte di sovra-resistenza, prescrivendo l'uso di fattori parziali per una situazione accidentale.

Per capire meglio la portata potenzialmente dirompente di questa clausola, nella figura 1 (a sinistra) si trova la mappa italiana dell'accelerazione di picco al suolo su roccia (PGA) con un periodo di ritorno di superamento di 475 anni, ottenuta dalla APPS; tale mappa è alla base della progettazione secondo le NTC. A destra, nella stessa figura, sono approssimativamente delineate le classi di azione sismica, secondo lo EC8, per una costruzione ordinaria. Si vede che le classi fino a moderata coprono la maggior parte del paese (e quindi, con un conto molto semplicistico, più del novantotto per cento dell'Europa), includendo le aree dei già menzionati recenti terremoti catastrofici. Anche se non ce n'era di fatto bisogno, le sequenze di L'Aquila 2009 (terremoto principale M6.3, circa trecento vittime), Emilia 2012 (terremoto principale M6.1, circa trenta morti), e Centro Italia 2016 (terremoto principale M6.5, circa trecento vittime), hanno tutte fatto emergere chiaramente la necessità di progettazione per duttilità (figura 2). Questo perché il superamento delle azioni sismiche di progetto nelle aree epicentrali dei terremoti di magnitudo medio-alta è molto probabile [8], per cui è necessaria una riserva di capacità di dissipazione dell'energia sismica, che dipende appunto dalla duttilità. A ciò si aggiunge che la ricerca ha confermato che l'attuale declinazione dell'approccio prestazionale, basato sul periodo di ritorno del superamento dell'intensità del movimento del suolo, non garantisce sicurezza uniforme per strutture simili progettate in siti caratterizzati da diversa pericolosità sismica [9]. Ciò è principalmente dovuto al fatto che nei siti (relativamente) a bassa pericolosità, la vulnerabilità sismica è determinata dalla progettazione per carichi gravitazionali e da altri requisiti minimi di norma, mentre nei siti ad alta pericolosità, i livelli di scuotimento per periodi di ritorno oltre quelli considerati nel progetto sono più grandi, in maniera non proporzionale, rispetto ai siti a bassa pericolosità [10]. Come risultato di queste questioni, la sicurezza sismica nelle varie classi di sismicità può risultare pericolosamente fuori controllo.



1. PGA su roccia con 475 anni di superamento del periodo di ritorno (sinistra) [11] e classe (approssimativa) di azione sismica per le costruzioni ordinarie secondo la revisione dello EC8 (a destra).



2. Esempio di piano sovraccato in un edificio residenziale in cemento armato nel terremoto di L'Aquila del 2009 (sinistra) [12]. Esempio di collasso di un edificio industriale nella sequenza sismica emiliana del 2012 (destra) [13].

In conclusione, si può dire che questa clausola rappresenti un pericolosissimo cortocircuito dello Eurocodice 8, che eviterebbe la progettazione sismica alla stragrande maggioranza del continente, rinnegando i principi che la guidano e che sono consolidati in tutte le più avanzate normative internazionali come quella italiana. Conseguentemente, la delegazione italiana nello SC8 ritiene incompatibile questa clausola con l'approvazione da parte del nostro paese della revisione delle norme europee.

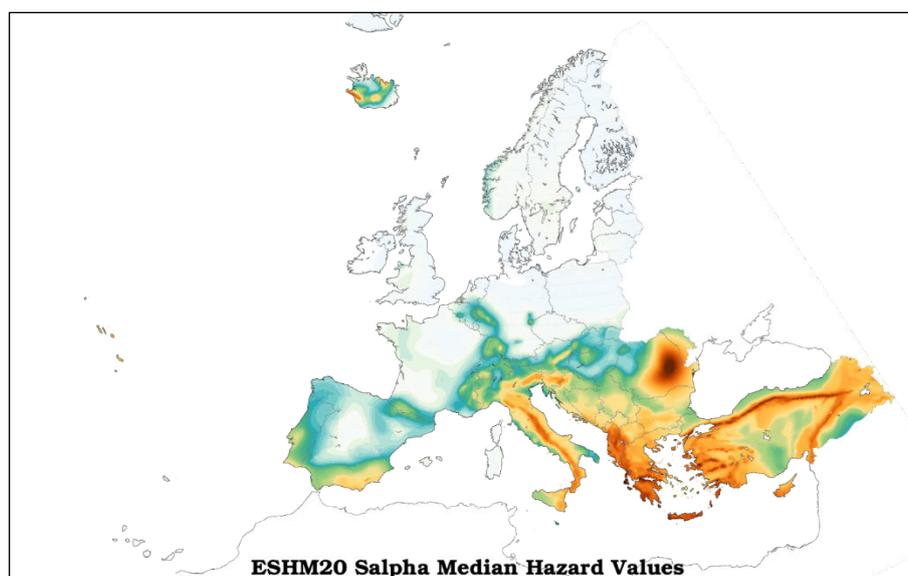
LA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA EUROPEA

Per quale scuotimento si debbano progettare le costruzioni, cioè le azioni sismiche di progetto, è un elemento altrettanto essenziale per la sicurezza sismica, al pari della progettazione per duttilità, se non di più. Il tema è scientificamente relevantissimo soprattutto per la limitatissima conoscenza del fenomeno sismico che abbiamo che

ne impedisce la prevedibilità. Per questo, il modo scientificamente consolidato, e con un largo consenso internazionale, è quello di tenere conto delle large incertezze coinvolte nella analisi dei terremoti attraverso la già citata analisi probabilistica di pericolosità sismica. La APPS consente la determinazione di livelli di scuotimento che sono superati, al sito della costruzione, mediamente in un prefissato numero di anni. Non esistono allo stato altri metodi, pronti all'applicazione normativa, che consentano di fornire maggiori informazioni e su cui ci sia lo stesso livello di consenso della comunità internazionale.

Sebbene il principio della valutazione probabilistica delle azioni sismiche di progetto sia presente già nell'Eurocodice attuale, lo SC8 sta lavorando perché la revisione contenga, per la prima volta, un annesso informativo che includa una mappa di APPS per tutta l'Europa, figura 3. Tale mappa, denominata *European Seismic Hazard Model (ESHM) 2020* è stata prodotta nell'ambito di un recentissimo progetto di ricerca finanziato dalla comunità europea nell'ambito del programma Horizon 2020, a cui hanno contribuito ricercatori di tutto il continente e che è durato più di tre anni (<http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard-models/europe/eshm2020-overview/>).

Sebbene l'Italia già da quasi vent'anni utilizzi mappe probabilistiche (verosimilmente a maggiore contenuto informativo, essendo prodotte specificatamente per il paese) per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, che lo EC8 sia corredato da una mappa derivante da APPS per tutta l'Europa, è da considerarsi certamente un progresso per l'ingegneria sismica europea. Essa mostra come la ricerca in tema di ingegneria sismica e sismologica in generale, e finanziata a livello europeo in particolare, non solo contribuisca a creare una comunità integrata a livello continentale ma fornisca anche risultati di immediata ricaduta per i cittadini. Inoltre, essa consente a tutto il continente di allinearsi su una questione così importante per la gestione del rischio sismico. Infine, afferma come la valutazione probabilistica delle azioni sismiche sia l'unica attualmente praticabile, un principio scientifico che può sembrare ovvio, ma che non lo è in un ambito – come quello sismico – in cui è facile trovare teorie pseudo-scientifiche o debolmente scientifiche, che possono raccogliere (come accade in medicina per i vaccini) facili consensi da chi non vuole, non può, o non sa approfondire a sufficienza.



3. Mappa di pericolosità europea che sarà inclusa nella revisione dello EC8.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In Italia, da sempre la ricerca in ingegneria sismica è molto attiva e questo, insieme ad altri motivi, ha determinato una rapida evoluzione normativa nazionale e il corrente posizionamento all'avanguardia in Europa.

Gli Eurocodici, che all'inizio del secolo hanno rappresentato una grande innovazione, sono ora in fase di revisione e aggiornamento. Questo è un processo necessariamente molto complesso e relativamente lento. Infatti, si osservano forti differenze della cultura sismica e di interessi tra i vari paesi, in particolare tra sud e nord Europa. Una delle spinte più pericolose è quella relativa alla sovra-semplificazione degli approcci progettuali, che, rinnegando principi consolidati, rischia di far trovare l'Eurocodice in una posizione di subalternità tecnica rispetto alle norme nazionali di paesi come l'Italia.

Tuttavia è pure vero che processi di standardizzazione e integrazione a livello continentale sono intrinsecamente positivi, e le norme sismiche non fanno eccezione in tal senso. Per questo la comunità italiana, coinvolta a vario titolo nella revisione, sta lavorando al massimo delle sue possibilità perché ancora una volta gli Eurocodici rappresentino un impulso per l'avanzamento continuo della tecnologia per la gestione e mitigazione del rischio sismico attraverso la progettazione delle costruzioni.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

- [1] Rovida A, Locati M, Rovida A, Locati • M. Archive of Historical Earthquake Data for the European-Mediterranean Area. *Geotech Geol Earthq Eng* 2015;39:359–69. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16964-4_14.
- [2] Petruzzelli F, Iervolino I. NODE: a large-scale seismic risk prioritization tool for Italy based on nominal structural performance. *Bull Earthq Eng* 2021;19:2763–96. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01093-1>.
- [3] Guzzoni D, Pizzigoni G. La nuova classificazione sismica della Lombardia. *Structural* 2014;190. <https://doi.org/10.12917/Stru190.23>.
- [4] CEN. EN 1998-1 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, Belgium: 2004.
- [5] CS.LL.PP. Norme Tecniche per le Costruzioni. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 29, 2008.
- [6] CS.LL.PP. Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni. *Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana*, 42, 2018.
- [7] Iervolino I. *Dinamica delle strutture e ingegneria sismica. Principi e applicazioni*. Milano: HOEPLI; 2021.
- [8] Iervolino I, Giorgio M. È possibile evitare il superamento delle azioni di progetto nell'area epicentrale di terremoti forti? *Progett Sismica* 2017;8:25–32. <https://doi.org/10.7414/PS.8.3.25-32>.
- [9] Iervolino I, Spillatura A, Bazzurro P. Seismic Reliability of Code-Conforming Italian Buildings. *J Earthq Eng* 2018;22:5–27. <https://doi.org/10.1080/13632469.2018.1540372>.
- [10] Cito P, Iervolino I. Peak-over-threshold: quantifying ground motion beyond design. *Earthq Eng Struct Dyn* 2020;49:458–78.
- [11] Stucchi M, Meletti C, Montaldo V, Crowley H, Calvi GM, Boschi E. Seismic hazard assessment (2003-2009) for the Italian building code. *Bull Seismol Soc Am* 2011;101:1885–911. <https://doi.org/10.1785/0120100130>.
- [12] Verderame GM, Iervolino I, Ricci P. Report on the damages on buildings following the seismic event of 6th of april 2009, V1.20. Naples, Italy: 2009.
- [13] Parisi F, De Luca F, Petruzzelli F, De Risi R, Chioccarelli E. Field inspection after the May 20th and 29th 2012 Emilia-Romagna earthquakes. Naples: 2012.