Maria Grazia Giardinelli
Email: mariagrazia.giardinelli@unifi.it

Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Architettura
Via della Mattonaia, 14 – 50121 Firenze
Tel. +39 055 2055323 | Fax +39 055 2055338 | posta certificata: dida@pec.unifi.it
P.IVA | Cod. Fis. 01279680480
www.arch.unifi.it

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

Tutti i diritti riservati Università degli Studi di Firenze, 2014.

Coordinatore del dottorato: prof. Antonio Lauria

A mia madre,
perché è il suo ricordo che mi ha dato forza.

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

SI RINGRAZIANO PER I SUGGERIMENTI, I CONSIGLI E LA DISPONIBLITA':

ing. Marco Andreini (UNIPI)

arch. Marco Tanganelli (UNIFI)

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Abstract

La ricerca affronta la questione della riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico, analizzando principalmente le problematiche relative ai consumi energetici e alle vulnerabilità sismiche.
Di fronte all'urgenza di mettere in sicurezza il patrimonio edilizio scolastico esistente ed alla necessità di adeguare gli stessi edifici alle prescrizioni imposte dalla normativa energetica, risulta necessario operare per una integrazione tra le due discipline, al fine di garantire scelte operative efficaci, e conseguenti risparmi dei tempi e dei costi necessari.
Tale approccio implica la riconsiderazione di tutte le fasi in cui si articola il processo di recupero, a partire dalla fase conoscitiva, fondamentale per la programmazione degli interveti e la gestione delle risorse disponibili. E' questa la fase in cui vengono coinvolte in primo luogo le Pubbliche Amministrazioni, alle prese con la gestione di un vasto patrimonio da riqualificare, e da portare a precisi livelli di prestazione energetica e sicurezza strutturale.
Gli strumenti attualmente a disposizione delle Pubbliche Amministrazioni per promuovere ed agevolare una riqualificazione sistematica, risultano essere ancora insufficienti, o comunque in grado di affrontare singole problematiche (miglioramento energetico o sicurezza strutturale), determinano, in alcuni casi, una sovrapposizione degli interventi, con conseguente aumento dei costi e dei tempi necessari.

Risulta dunque necessario poter disporre, nella fase di programmazione degli interventi, di uno strumento di sintesi delle problematiche energetiche e strutturali rilevate su vasta scala, al fine di individuare le misure di intervento necessarie e di indirizzare efficacemente le risorse economiche disponibili.
La ricerca intende dare un contributo alla questione della "riqualificazione energetica e strutturale" dell'edilizia esistente, attraverso la definizione di uno strumento operativo, per la valutazione preliminare delle problematiche energetiche e strutturali, rilevate su un campione di più edifici.
Per la definizione degli indicatori, sono state utilizzate metodologie consolidate, basate su procedure semplificate, in grado di valutare lo stato di criticità di edifici appartenenti a grandi patrimoni immobiliari.
In particolare, per la definizione dell'Indice di Rischio Sismico, si fa riferimento alla procedura presente in letteratura nel testo "Defining Priorities end Timescales for Seismic Intervention in School Buildings in Italy", Grant D., Bommer J.J., Pinho R., Calvi G.M.
Si tratta di una metodologia di tipo qualitativo, basata su un "giudizio di esperti", in grado di analizzare i principali fattori che incidono sul comportamento strutturale (ad esempio l'efficienza dei collegamenti, la resistenza dei materiali, la regolarità morfologica), comprendendo nella valutazione anche l'influenza degli elementi non strutturali.
Per la definizione dell'Indice dei Consumi Energetici, è stata utilizzata la metodologia messa a punto dall'Enea nella "Guida per il contenimento della Spesa Energetica nelle scuole", basata sull'analisi dei consumi reali "normalizzati" rispetto ad alcuni fattori valutazione che influenzano il comportamento del sistema considerato.
Gli indicatori individuati sono stati confrontati con degli indicatori limite e messi a sistema mediante rappresentazione grafica. In base alla collocazione dell'edificio analizzato nel grafico di riferimento, sono state individuate quattro macrocategoie di intervento:

- Verifiche integrate
- Verifiche sismiche
- Interventi locali integrati
- Interventi locali di miglioramento

In particolare per quanto riguarda le verifiche integrate, la ricerca dedica un intero capitolo all'analisi delle procedure per la verifica sismica e la diagnosi energetiche, individuando i "punti di contatto" e dimostrando la fattibilità operativa di un approccio integrato e sinergico.

Per quanto riguarda gli interventi integrati invece, la ricerca mette in evidenza alcuni criteri di "compatibilità" che devono essere posti alla base della scelta delle soluzioni tecnologiche.

Lo strumento così come concepito consente, con il dispiego di risorse limitate rispetto all'obiettivo prefissato, di definire con giusto grado di approssimazione la propensione delle strutture a subire danni sotto l'effetto delle azioni sismiche, e le problematiche energetiche ad esse associate. L'approccio è pienamente scalabile e connesso al livello di accessibilità della struttura e consente di coprire anche esigenze connesse ad analisi di dettaglio. Le specificità del nostro territorio e le risorse disponibili, possono diventare il punto di partenza per lo sviluppo di una "filiera della qualità" per il settore della riqualificazione edilizia, attraverso una pianificazione globale e multi - scalare delle attività, ed una gestione integrata del processo di recupero, finalizzata a garantire sicurezza, sostenibilità e qualità per i nostri centri abitati.

Abstract

Considering the urgent need to adequate the historical building heritage in terms of seismic security and through measures improving its energy efficiency according to the latest EU directives, structural and energy performance retrofitting of existing buildings must be integrated creating synergy, by combining both technical approaches for an efficient decision-making process during the different phases of the refurbishment. Thus, saving time and money is possible. This integrated methodology involves also a re-consideration of the design process starting from the cognitive-analytical phase, crucial for the correct planning and management of the available economical resources. Public Administrations have the responsibility, as main actors of state-of-the-art refurbishment interventions regarding the existing public building stock, by giving good examples. Nevertheless, the tools that Public Administrations have to promote and facilitate a design process towards structural security or energy-consumption related retrofitting, often resolve an issue at a time only (energy improvement or structural safety), and consequently lead to expensive and time-intensive overlapping of projects and building processes. Consequently, in the planning phase, a tool that evaluates a synthesis of the existing buildings' seismic and energy deficiencies is needed in order to identify the necessary actions and their priorities towards an effectively use of the economic resources available.

The research aims to contribute to the complex issue of "energy and structural retrofit" of existing buildings, through the definition of an operational tool for the preliminary assessment of structural and energetic issues, through analyzing a sample of public buildings.

Methodologies used to define indicators refer to existing simplified procedures, capable of evaluating the critical aspects related to a large number of monitored existing building stocks. In particular, to define the Seismic Risk Index, the procedure refers to the method developed in, "Defining Priorities end Timescales for Seismic Intervention in School Buildings in Italy" by Grant D., Bommer JJ, Pinho R., Calvi GM. This method is based on the preliminary evaluation of the overall vulnerability of the building, followed by the estimation of the Seismic Risk Index,

To define the Energy Consumption Index, the procedure refers to the method developed by ENEA (National Energy Agency) on the "Guidelines for the abatement of Energy Use in schools." The method is based on the monitoring of the real data referred to energy consumption of carburant for each school, concerning the last three years of heating period.. These values are being related

to the size of building heated, considering specific Degree-Days (GG) data [regarding their geo-climatic situation], and to the hours of operation of the heating systems.

After the confrontation indicators of limit and their graphical elaboration, the following macro-categories for intervention have been defined:

Integrated Seismic verifications, (including energy efficiency aspects)
Seismic Verifications
Integrated interventions (including energy efficiency aspects)
Local seismically reinforcing interventions

This evaluation tool is able to define [within one single evaluation], through a simplified procedure and with affordable economic resources, the ability of a school to resist earthquake, combining the related energy efficiency issues of the building. The approach is fully scalable and connected to the level of accessibility of the structure. It can be also used for more detailed analysis. The specific characteristics of the Italian territory and available resources can become the starting point for the implementation of a "quality chain" for the field of building refurbishment, through a comprehensive planning and multi-scale approach, and integrated management of the process of rebuilding taking into account safety, sustainability and quality for our built environment.

Breve profilo

Maria Grazia Giardinelli nasce nel 1981 a Massafra (Taranto), studia architettura presso l'Università degli Studi di Firenze dove si laurea con lode, nel novembre del 2009, con una tesi in Progettazione Ambientale che ha come tema il recupero della città di Salemi, piccolo comune della provincia di Trapani, danneggiato durante il terremoto del Belice.
Nel Gennaio 2011 consegue il master in "Architettura Bioecologica e Tecnologie Sostenibili per l'Ambiente" presso l'Università degli Studi di Roma "la Sapienza", la cui tesi finale ha come tema: "Progetto per un Museo della Memoria nel quartiere di San Lorenzo (Roma) e riqualificazione energetica dell'esistente". Nello stesso periodo svolge uno stage presso il III Municipio di Roma.
Da gennaio 2011 a dicembre 2013 ha collaborato, come vincitrice di assegno di ricerca, con il Centro Interuniversitario ABITA per il progetto di ricerca "Abitare Mediterraneo".

Pubblicazioni

- Giardinelli M.G. (2012), *Strumenti di supporto decisionale nella programmazione degli interventi sul costruito*, in Bolici R., Gambero M., Tartaglia A. (a cura di), La ricerca tra innovazione, creatività e progetto, Firenze, Firenze University Press, pp. 203-219.

In fase di pubblicazione

- Romano R., Giardinelli M.G., Di Zenzo A., (2012) *TEENERGY SCHOOL. GUIDELINES.Selection and design of materials and construction technologies. Renewable energy and Control Sistem. Guide Lines*. pp. 1-56.
Giardinelli M.G. (2013), *La gestione integrata del sistema delle infrastrutture per l'emergenza*. In Ferlenga A., Valente I. (a cura di), Architettura del mondo. Ricerche e progetti dal mondo universitario, Milano, 5/6 Febbraio 2013

Tutti i diritti riservati Università degli Studi di Firenze 2014

Introduzione

0.1 Caratteristiche generali della ricerca 2
0.2 Delimitazione del problema scientifico 2
0.3 Obiettivi specifici 3
0.4 Descrizione del programma di ricerca 3

PARTE I
EDIFICI SCOLASTICI: LETTURA DELLA PROBLEMATICA SISMICA ED ENERGETICA

Cap. I.1
Inquadramento

I.1.1 Il territorio italiano tra varietà e vulnerabilità 7
I.1.2 Caratteristiche climatiche e sismiche del territorio 8
I.1.3 Evoluzione della Classificazione sismica e climatica in Italia 12
I.1.3.1 Evoluzione della classificazione sismica 12
I.1.3.2 Evoluzione della classificazione climatica 15
I.1.4 Evoluzione della normativa sismica e della normativa per il contenimento dei consumi energetici 16
I.1.4.1 Norme di I generazione (fino al 1970) 16
I.1.4.2 Norme di II generazione (dal 1970 al 1980) 18
I.1.4.3 Norme di III generazione (dal 1980 al 2000) 20
I.1.4.4 Norme di IV generazione (successive al 2000) 21

CAP. I.2
Analisi del patrimonio edilizio scolastico esistente: problematiche relative ai consumi energetici e alla vulnerabilità sismica

I.2.1 Edifici Scolastici e contesto 29
I.2.2 Consistenza del patrimonio edilizio scolastico esistente 33
I.2.3 Le principali vulnerabilità e carenze sismiche 36
I.2.4 Le principali problematiche relative ai consumi energetici 40
I.2.5 Considerazioni conclusive 42

CAP. I.3
Lettura dei principali fattori responsabili della vulnerabilità sismica e dei consumi energetici

I.3.1 Caratteristiche generali dell'edilizia scolastica 50
I.3.2 Epoca costruttiva 51
I.3.3 Caratteristiche costruttive 55
I.3.3.1 Caratteristiche degli edifici in muratura. 55
I.3.3.2 Caratteristiche degli edifici in cemento armato 62
I.3.4 Caratteristiche morfologiche 64
I.3.4.1 Influenza della forma sul comportamento sismico 68
I.3.4.2 Influenza della forma sul comportamento energetico 69

PARTE II
ANALISI DEI POTENZIALI PER L'INTEGRAZIONE

CAP II.4
La valutazione sismica ed energetica: analisi dei potenziali per l'integrazione

II.4.1 La procedura per la valutazione della sicurezza sismica e delle prestazioni energetiche 77
II.4.2 Le verifiche sismiche 78
II.4.2.1 La normativa 78
II.4.2.2 Ruoli e competenze dei soggetti coinvolti 79
II.4.2.3 Oggetto delle verifiche 81
II.4.2.4 Il percorso della conoscenza 81
II.4.2.5 Gli strumenti della conoscenza 86
II.4.3 La diagnosi energetica 89
II.4.3.1 La normativa 89
II.4.3.2 Ruoli e competenze dei soggetti coinvolti nella programmazione ed attuazione della diagnosi energetica 91
II.4.3.3 Oggetto della diagnosi 91
II.4.3.4 Il percorso della conoscenza 92
II.4.3.5 Gli strumenti della conoscenza 96
II.4.4 Analisi dei potenziali per l'integrazione 99
II.4.5 Gli interventi per la sicurezza sismica 107
II.4.5.1 Criteri per la scelta degli interventi 108
II.4.6 Gli interventi per l'efficienza energetica 112
II.4.6.1 Criteri per la scelta degli interventi 115

II 4.7 Compatibilità tra gli interventi di miglioramento energetico e sismico 115
II.4.7.1 Un esempio applicativo 118

PARTE III
PROPOSTA DI UNO STRUMENTO DI SINTESI A SUPPORTO DELLA PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI PER L'EDILIZIA SCOLASTICA ESISTENTE

Cap III.5
Piani e Programmi per la riqualificazione dell'Edilizia Scolastica

III.5.1 La programmazione dell'edilizia scolastica 131
III.5.2 Gli strumenti conoscitivi sullo stato dell'edilizia scolastica 133
III.5.2.1 Anagrafe dell'Edilizia Scolastica 133
III.5.2.2 Schede di valutazione della Vulnerabilità sismica 135
III.5.2.3 Schede di valutazione della vulnerabilità non strutturali negli edifici scolastici 136
III.5.3 I finanziamenti a supporto della messa in sicurezza dell'edilizia scolastica esistente 140
III.5.4 Bandi e programmi per l'efficientamento energetico negli edifici scolastici 142
III.5.4.1 Programma nazionale "tetti fotovoltaici" 142
III.5.4.2 Programma Nazionale per la promozione dell'Energia Solare 143
III.5.4.3 Il programma Analisi Energetica nel settore dei servizi 144
III.5.4.4 Il programma PON e POIN FESR 2007-2013 145
III.5.5 Considerazioni conclusive 147

Cap. III.6 Strumento di sintesi

III.6.1Proposta per uno strumento a supporto della programmazione integrata degli interventi di riqualificazione 153
III.6.2 Caratteristiche dello strumento 155
III.6.3 Metodologia per la valutazione del rischio sismico e dei consumi 157
II.6.3.1 Metodologia per la valutazione dei consumi 157
II.6.3.2 Metodologia per la valutazione del Rischio Sismico 158
III.6.4 L'Unità minima di analisi 162
III.6.5 Definizione degli "indicatori limite" 164

III.6.6 Descrizione della scheda di valutazione 166
III.6.6.1 Indice dei consumi energetici 167
III.6.6.2 Indice di Rischio Sismico 169
III.6.7 Le macrocategorie di intervento. 177
III.6.8 Un esempio applicativo 182
III.6.8.1 Il Liceo Classico "G. Carducci", Viareggio 182
III.6.8.2 I.P.S.C.T "G.Marconi" – Sede Centrale 187
III.6.8.3 I.T.C.G "A. Benedetti" 193
III.6.8.4 Sintesi dei risultati

Conclusioni 201
Appendice 207
Bibliografia generale 209

INTRODUZIONE

0.1 Caratteristiche generali della ricerca

Le attività di recupero del patrimonio esistente si muovono necessariamente dalle condizioni di partenza dell'oggetto su cui intervenire[1].
Nel caso di intervento su larga scala di un patrimonio pubblico, la conoscenza delle condizioni dell'edificio deve essere impostata su strumenti di valutazione speditiva, finalizzati non tanto alla conoscenza reale dello "stato" degli edifici esistenti, quanto alla quantificazione del grado di rischio, necessario per un preliminare confronto tra gli edifici analizzati.
Si tratta, nello specifico, di elaborare un "progetto della conoscenza su larga sala", quale sistema informativo preliminare capace di gestire contemporaneamente l'urgenza di intervenire per la stabilità degli edifici, con le esigenze di migliorarne l'efficienza energetica.
In questo modo, s'imposta un progetto intenzionale, quindi articolato, aperto, che può avere sviluppi pluridisciplinari, con l'obiettivo di determinare la propria riorganizzazione con l'aumentare dell'informazione acquisita[2].
I parametri sismici ed energetici, rappresentano gli input decisionali fondamentali nella programmazione degli interventi, in grado di identificare preliminarmente i problemi e le decisioni strategiche iniziali.
La ricerca propone uno strumento in grado di agevolare l'attivazione di un processo integrato per il recupero energetico e strutturale degli Edifici Scolastici esistenti, attraverso la verifica della sussistenza delle due problematiche e dell'incidenza dell'una rispetto all'altra. Vengono quindi riprese alcune metodologie esistenti e consolidate, e sintetizzate in un unico strumento di rilievo speditivo in grado di definire due indicatori per la comparazione delle problematiche su larga scala.

0.2 Delimitazione del problema scientifico

La sicurezza strutturale degli edifici scolastici costituisce un'emergenza per un territorio vulnerabile come l'Italia, continuamente messo alla prova dagli eventi sismici che fanno emergere, ogni volta, la fragilità del patrimonio edilizio esistente, nonché di tutto il sistema delle reti e dei servizi.
Oltre alle problematiche legate alla sicurezza strutturale, gli edifici scolastici presentano anche elevati consumi energetici, inadeguatezza alle normative specifiche, e scarsa qualità edilizia.
La difficoltà di gestire una riqualificazione sistematica, unitamente al parziale fenomeno del calo demografico che ha ridotto sensibilmente la pressione di richiesta di nuovi spazi educativi, hanno ridisegnato negli ultimi anni il quadro dell'edilizia scolastica in Italia: un patrimonio prevalentemente costituito da edifici esistenti, non sempre idonei dal punto di vista della sicurezza e della funzionalità e spesso fonte di notevoli sprechi energetici.
Lo "stato di fatto" in cui versa il patrimonio edilizio scolastico esistente rappresenta una realtà denunciata da diverso tempo, alla quale sono state date risposte frammentarie e, in alcuni casi, poco efficaci. Nonostante gli incentivi statali, le norme e le politiche comunitarie volte a promuoverne la riqualificazione e la rivitalizzazione, gli edifici scolastici presentano problematiche costanti, quali elevati consumi energetici, il rischio per l'incolumità e la salute degli studenti.
Tra i principali ostacoli al processo di riqualificazione energetico e strutturale degli edifici esistenti vi sono:

- Strumenti inadeguati o insufficienti. Gli strumenti a disposizione delle Pubbliche Amministrazioni per promuovere ed agevolare gli interventi di riqualificazione sul patrimonio

[1] Civiero P., approccio sostenibile al recupero dell'edilizia residenziale, documento disponibile alla pagina http://www.vg-hortus.it/index.php?option=com_content&view=article&id=420:approccio-sostenibile-al-recupero-delledilizia-residenziale&catid=2:scritti&Itemid=15
[2] Ibidem

edilizio di propria competenza, non sono in grado di affrontare la questione relativa alla riqualificazione in un ottica di integrazione, ovvero attraverso una lettura sinergica delle problematiche da affrontare ed individuazione della principali azioni da intraprendere.
Gli stessi strumenti, affrontando una sola problematica per volta (miglioramento energetico o sicurezza strutturale), determinano, in alcuni casi, una sovrapposizione degli interventi di riqualificazione, con conseguente aumento dei costi e dei tempi necessari.

- Complessità procedurale relativa alla realizzazione delle opere pubbliche, che contribuisce ulteriormente all'allungamento dei tempi realisticamente necessari al completamento degli interventi.

- Necessità di portare a termine (o in alcuni casi di attivare) le costose verifiche sismiche, introdotte con l'OPCM n.3274 del 2003.
Non tutti gli Enti Pubblici, date le limitate risorse finanziarie, sono in grado di attivare o comunque portare a termine le verifiche sismiche.
Le conseguenze sono molteplici: da un lato una buona parte degli Edifici Scolastici risulta ancora non adeguato alla normativa sismica, dall'altro lato, continuano ad essere realizzati, sugli stessi edifici, altri interventi finanziati ad hoc per rispondere a nuove problematiche emergenti (quali gli interventi per il miglioramento energetico). Questi ultimi interventi, se non vengono opportunamente inquadrati in una valutazione più ampia dell'edificio che coinvolge anche la vulnerabilità strutturale, potrebbero peggiorare la stabilità della costruzione.

0.3 Obiettivi specifici

L'obiettivo principale è quello di fornire uno strumento in gradi di valutare comparativamente lo stato di criticità degli edifici scolastici esistenti, appartenenti a grandi patrimoni immobiliari pubblici, consentendo quindi la definizione di una priorità di "verifica", ovvero di intervento. La procedura, traendo spunto da metodi sviluppati in letteratura per la valutazione della vulnerabilità sismica e dei consumi energetici, è finalizzata alla definizione uno "strumento aperto" per la valutazione speditiva e multi criterio degli edifici scolastici esistenti. Gli indicatori che entrano in gioco nella valutazione, sono stati scelti in base agli ambiti scientifici in cui si colloca la ricerca ovvero efficienza energetica ed antisismica. Lo strumento tuttavia, per com' è stato concepito, può essere adattato a diverse tipologie di edifici e integrato con nuovi indicatori, in relazione alle problematiche da affrontare nel progetto di recupero.

0.4 Descrizione del programma di ricerca

La ricerca ha previsto uno studio di tipo documentale, partecipazione a convegni e seminari specifici, sopralluoghi negli edifici scolastici. Le attività sono state finalizzate all'acquisizione delle conoscenze delle problematiche connesse al comportamento energetico e strutturale degli edifici ed alle modalità di gestione da parte delle Pubbliche Amministrazioni, nonché all'approfondimento dalla normativa di settore.

La ricerca è strutturata in tre principali parti: una fase analitico conoscitiva, una fase valutativa ed una fase propositiva.
- La prima parte della ricerca è finalizzata a restituire l'immagine dello stato di fatto in cui versa il patrimonio edilizio scolastico esistente, e ad individuare delle correlazioni tra le due problematiche. In particolare l'analisi delle specificità del territorio ha messo in evidenza come quasi sempre in Italia alla sismicità di alcune zone corrisponde anche un clima più rigido.

- La seconda parte della ricerca ha l'obiettivo di verificare la "fattibilità" di una possibile integrazione tra le due discipline. Dal momento che le attività di recupero del patrimonio esistente non possono prescindere dall'analisi delle condizioni di partenza dell'oggetto su cui

intervenire, l'analisi si focalizza sulle due procedure relative alle verifiche sismiche ed alle indagini energetiche, al fine di individuare alcune fasi e strumenti "integrabili". Questa seconda parte è stata necessaria per dimostrare la "fattibilità" di un approccio integrato alla riqualificazione.

- la terza parte è dedicata alla messa a punto dello strumento di sintesi che deve agevolare l'"attivazione" del processo integrato, individuando in primo luogo la sussistenza delle due problematiche e l'incidenza dell'una rispetto all'altra.
Lo strumento, definendo gli ambiti principali di intervento in cui ricade l'edificio, consente di selezionare gli edifici che necessitano di interventi integrati da quelli che presentano invece un'unica problematica (elevati consumi energetici o vulnerabilità).

PARTE I

EDIFICI SCOLASTICI: LETTURA COMPARATA DELLE PROBLEMATICHE SISMICHE ED ENERGETICHE

Capitolo I.1
Inquadramento

Il primo capitolo fornisce un inquadramento generale della problematica affrontata nella presente ricerca. Dopo una lettura preliminare sulle specificità climatiche e geomorfologiche del territorio nazionale, viene analizzato il contesto normativo di riferimento.
La lettura dell'evoluzione della normativa sismica e del contenimento dei consumi energetici, unitamente all'analisi della classificazione sismica e climatica, mettono in luce alcune corrispondenze e interconnessioni significative tra i due settori. Entrambe le discipline, seguono un percorso simile di definizione delle norme, e di perfezionamento della conoscenza dell'organismo edilizio oggetto di analisi. Le prime normative, emanate all'inizio del secolo scorso, trattavano perlopiù prescrizioni descrittive riferite alle regole del "buon costruire", mentre la ricerca scientifica aveva compiuto pochi passi sulla conoscenza del comportamento strutturale e termofisico dell'edificio, e si aveva una scarsa consapevolezza del rischio sismico e delle specificità climatiche del territorio.
Col tempo, gli sviluppi operati nelle discipline relative all'analisi del comportamento degli edifici (dal punto di vista strutturale e termo-fisico), hanno evidenziato l'importanza del concetto di "prestazione", relativo da un lato alle strutture (capacità di resistenza e duttilità) dall'altro al sistema edificio-impianto.

I.1.1 Il territorio italiano tra varietà e vulnerabilità

La penisola italiana occupa una posizione geografica centrale all'interno del bacino del mediterraneo collocandosi come cerniera fra l'Europa Meridionale e L'Africa del Nord.

La collocazione geografica rappresenta il principale fattore costitutivo di un contesto climatico e geomorfologico variegato e complesso. Tale varietà determina da un lato la "diversità del sistema" intesa come abbondanza, distribuzione e interazione tra le diverse componenti (ambientali e antropiche), dall'altro lato la "vulnerabilità" del sistema[1] stesso.

L'Italia è infatti tra i Paesi europei più ricchi di biodiversità. La varietà di condizioni bio-geografiche, geo-morfologiche e climatiche fa del territorio italiano, una straordinaria area di concentrazione sia di specie, sia di *habitat*[2]. Ma la varietà caratterizza anche il sistema antropico. La lunga e complessa continuità storica dell'insediamento umano su un territorio relativamente "contenuto" e fortemente eterogeneo dal punto di vista climatico e geomorfologico ha prodotto una notevole quantità di beni e un mosaico di paesaggi di notevole importanza storico-culturale[3].

Alla varietà del sistema naturale e antropico tuttavia corrisponde un' elevata "vulnerabilità", intesa come potenzialità o possibilità che un determinato sistema possa essere danneggiato rispetto ad una certa perturbazione, possibilità determinata essenzialmente dalla incapacità di tollerare quella perturbazione. L'Italia (e tutta l'area mediterranea) sia a causa della complessità

[1] Con il termine "sistema" si intende sia l'insieme delle componenti ambientali (il sistema idrologico, l'ecosistema marino costiero il territorio urbano, ecc.) che l'insieme delle componenti antropiche (il sistema economico, il sistema dei trasporti, il sistema produttivo, ecc.).

[2] Secondo il rapporto redatto dall'Agenzia Nazionale per le nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile (ENEA) "Evoluzione del Clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia", in Italia esistono diversi punti "ad alta densità" di biodiversità di importanza planetaria (chiamati *hot spot* in termini scientifici), come quelli localizzati nelle isole tirreniche, nelle Alpi Marittime e Liguri, senza contare altre aree, quale ad esempio la catena appenninica, caratterizzate da un elevato numero di specie endemiche.

[3] Paesaggio e patrimonio culturale, http://www.istat.it/it/files/2013/03/9_Paesaggio-e-patrimonio-cult.pdf (rilevato il 23/08/2013).

dei sistemi ambientali, umani, sociali ed infrastrutturali, sia a causa della peculiarità delle caratteristiche degli ecosistemi naturali e del patrimonio storico, artistico e culturale, possiede una vulnerabilità accentuata nei confronti degli eventi estremi non solo di tipo meteorologico (alluvioni, inondazioni, siccità, ecc), ma anche di tipo naturale quali terremoti, instabilità geologica ed idrogeologica, ecc..[4]
Pertanto nelle attività di pianificazione del territorio non si può prescindere dal binomio "vulnerabilità e varietà", espressione che spiega come ogni parte del sistema territoriale sia legata ad una precisa collocazione geomorfologica e specificità climatica.

I.1.2 Caratteristiche climatiche e sismiche del territorio

L'Italia è uno dei principali paesi a rischio sismico del Mediterraneo, per la frequenza ed intensità dei terremoti che hanno storicamente interessato il territorio, determinando un impatto sociale ed economico rilevante.

Geograficamente l'Italia è situata nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica, ed è sottoposta ciclicamente a forti spinte compressive, che determinano l'accavallamento dei placche tettoniche. Per tale ragione, i fenomeni sismici più importanti si concentrano soprattutto lungo la catena degli Appennini e nella fascia vulcanica tirrenica, coinvolgendo in particolare le regioni della Sicilia, Campania e Calabria seguite dal Lazio, Marche, Emilia Romagna e Toscana[5].Un altro punto di importante sismicità è il promontorio del Gargano, sede di notevole attività sismica[6].

Tuttavia il rapporto tra i danni prodotti dai terremoti e l'energia rilasciata nel corso degli eventi è molto più alto rispetto a quello che si verifica normalmente in altri Paesi ad elevata sismicità, quali la California o il Giappone. La pericolosità sismica del territorio italiano può considerarsi medio- alta nel contesto del mediterraneo e addirittura modesta rispetto ad altre zone del pianeta[7].
La ragione dei danni provocati dagli eventi sismici è strettamente collegata all'elevata vulnerabilità[8] e fragilità del patrimonio edilizio, nonché del sistema infrastrutturale, industriale, produttivo e delle reti dei servizi. Gli edifici dei centri storici sono quelli caratterizzati da più elevati livelli di vulnerabilità per densità e consistenza e perché presentano, nella maggior parte dei casi, gravi carenze strutturali associate a fenomeni di varia natura, quali abbandono, superfetazioni, interventi inadeguati operati nel tempo. Oltre al rischio naturale, dunque, un

---

[4] Ferrara V. 2003. Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia. Energia, Ambiente e Innovazione, documento disponibile alla pagina

[5] Cfr. protezione civile, Il rischio sismico, http://archivio.protezionecivile.it/minisite/index.php?dir_pk=249&cms_pk=14839 (rilevato) 13/03/2012.

[6] Secondo l´INGV «È evidente una elevata sismicità crostale al largo delle coste settentrionali della Sicilia mentre la zona del Tirreno meridionale è caratterizzata anche da sismicità profonda (fino a 600 km), dovuta al processo di subduzione della litosfera ionica al di sotto della Calabria. Sul Monte Etna è stata registrata una notevole attività sismica con frequenti terremoti di magnitudo superiore a 4.0. In Italia settentrionale la sismicità si concentra principalmente lungo la fascia prealpina orientale».

[7] Cfr. protezione civile, Il rischio sismico, http://archivio.protezionecivile.it/minisite/index.php?dir_pk=249&cms_pk=14839 (rilevato) 13/03/2012.

[8] Per vulnerabilità sismica si intende "la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze che ci si deve aspettare in seguito alle oscillazioni cui la struttura sarà sottoposta. Il territorio italiano infatti è caratterizzato da una massiccia presenza di insediamenti umani e delle relative infrastrutture, e da caratteristiche costruttive degli edifici tali da determinare un livello elevato di vulnerabilità" (http://archivio.protezionecivile.it/minisite/index.php?dir_pk=249&cms_pk=14839).

fattore da cui dipende l'effettiva condizione di rischio delle strutture è lo stato di conservazione degli edifici.

Alla vulnerabilità del territorio va aggiunta l'elevata esposizione a rischio dovuto all'alta densità abitativa ed alla presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale di rilevante importanza. La consistenza dei beni potenzialmente in pericolo e la conseguente probabilità di subire un danno, rappresentano la misura dell'esposizione a rischio di un determinato territorio. L'architettura mediterranea, insieme al fenomeno sismico, deve misurarsi e confrontarsi anche con un clima caratterizzato da una notevole varietà stagionale e con le diverse condizioni microclimatiche dei siti, che sollecitano la costruzione differentemente e impongono strategie e soluzioni progettuali sempre diverse[9].

La globalizzazione del settore delle costruzioni e la delega totale del comfort interno all'impiantistica hanno determinato, nell'ultimo secolo, la realizzazione di edifici sempre meno "contestualizzati", e non adeguati alle caratteristiche del territorio (sismiche e climatiche). La sismicità ed il clima rappresentano dunque i principali fattori costitutivi di un'architettura caratterizzata, a seconda dei luoghi, da diversi livelli di adeguamento in termini di sicurezza e consumi energetici. La realizzazione di costruzioni "omologate" su tutto il territorio nazionale a partire dal dopoguerra e la mancanza di una tradizione costruttiva basata sui criteri antisismici, hanno contribuito ad ereditare un patrimonio edilizio energivoro e non sicuro sismicamente.Dal punto di vista dei consumi energetici, la problematica coinvolge prevalentemente il settore pubblico e terziario.

Il Rapporto sull'efficienza energetica messo a punto dall'Energy & Strategy Group della School of Management del Politecnico di Milano, ha messo in evidenza come il 36% del totale dei consumi energetici del nostro paese è dovuto agli sprechi negli edifici pubblici e nel terziario. Secondo lo stesso rapporto, il potenziale teorico di risparmio energetico che si avrebbe mediante l'adozione di soluzioni di efficientamento energetico nel settore pubblico in Italia, valutato fino al 2016 è pari a circa 44 mln Tep.

Gli edifici pubblici, oltre a rappresentare un potenziale di risparmio energetico, rispetto al quale è necessario intervenire da subito con politiche ed azioni mirate alla riduzione dei consumi energetici, rappresentano una priorità da salvaguardare in caso di sisma per il numero di vite coinvolte e perché possono diventare dei luoghi strategici per le finalità della Protezione Civile in caso di sisma. Da queste opere ci si aspetta che siano in grado di fornire prestazioni superiori a quelle delle costruzioni ordinarie in caso di sisma. In particolare le scuole rappresentano gli edifici strategici di primaria importanza, e pertanto dovrebbero costituire non semplicemente un luogo di istruzione, ma anche un rifugio sicuro per la cittadinanza in caso di disastro naturale.

[9] Lavagna M., Progettare con il clima, progettare nel contesto: tipologie, tecnologie e cultura materiale. In il Progetto Sostenibile, mediterraneo tra mito e risorsa, XVI, 2010, pp 14-15,

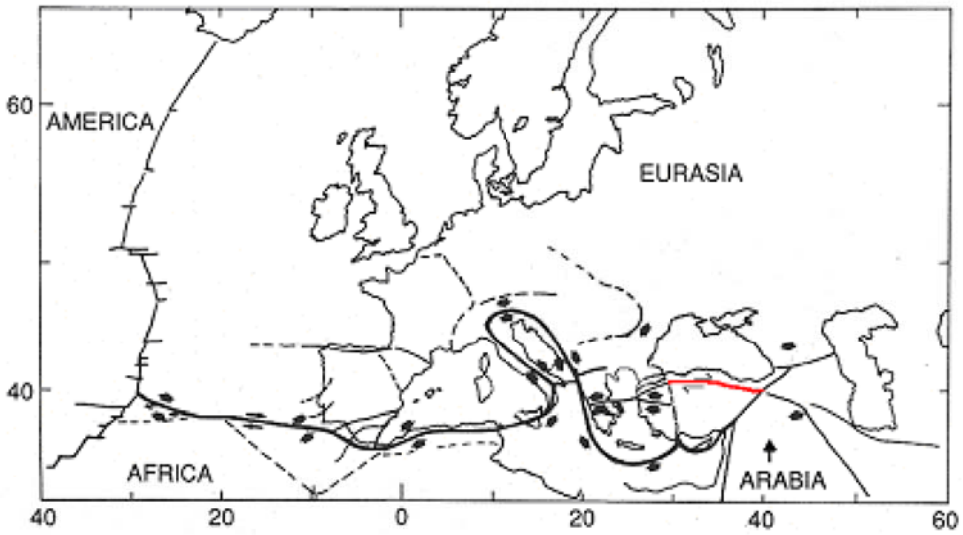


Fig. I.1.1 Le placche tettoniche nel bacino del mediterraneo. (Fonte: SED, Servizio Sismico Svizzero)

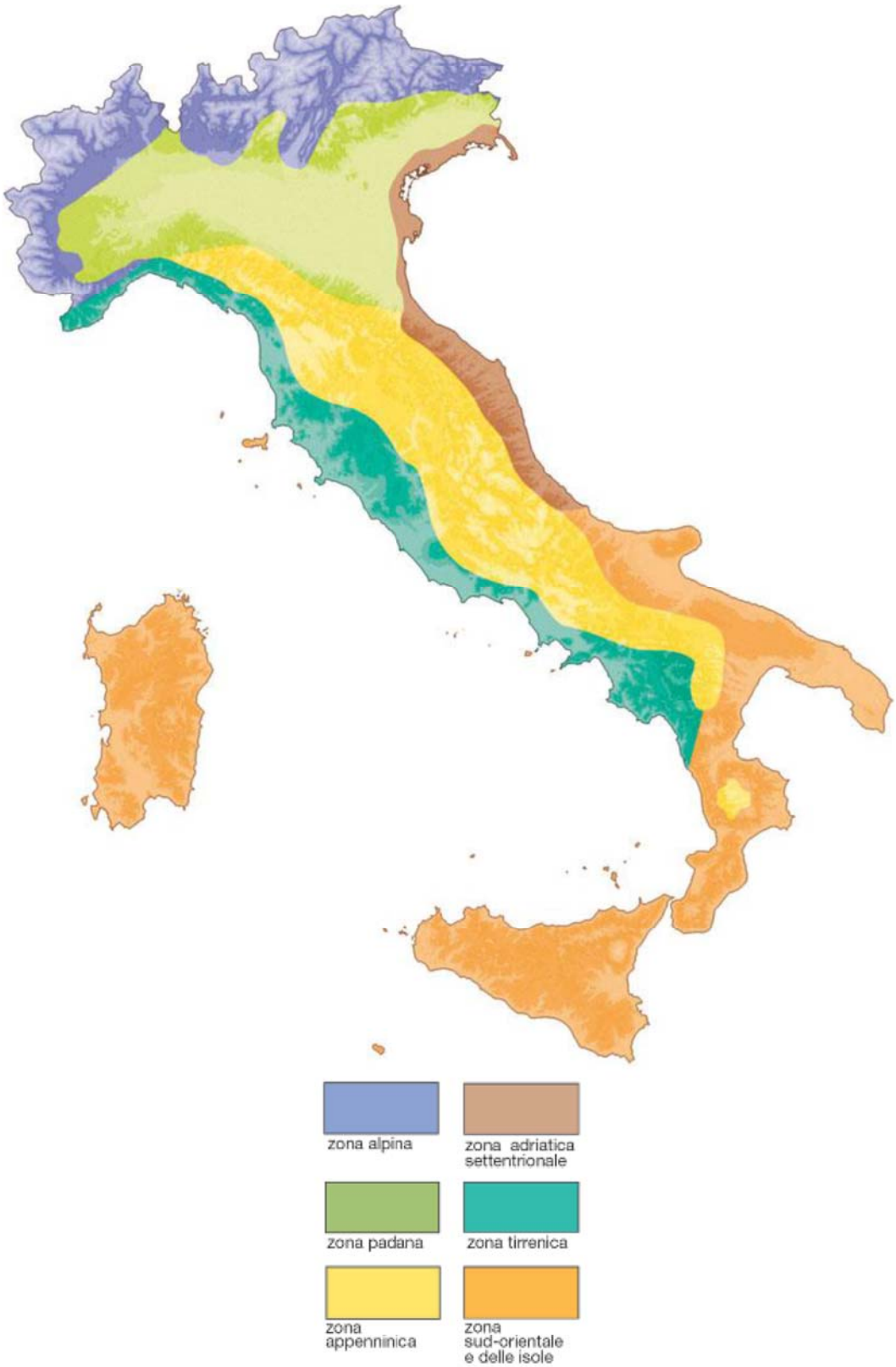


Fig. I.1.2 Zone climatiche in Italia (Fonte: Palmieri L., Scienze naturali, Zanichelli, 2011).

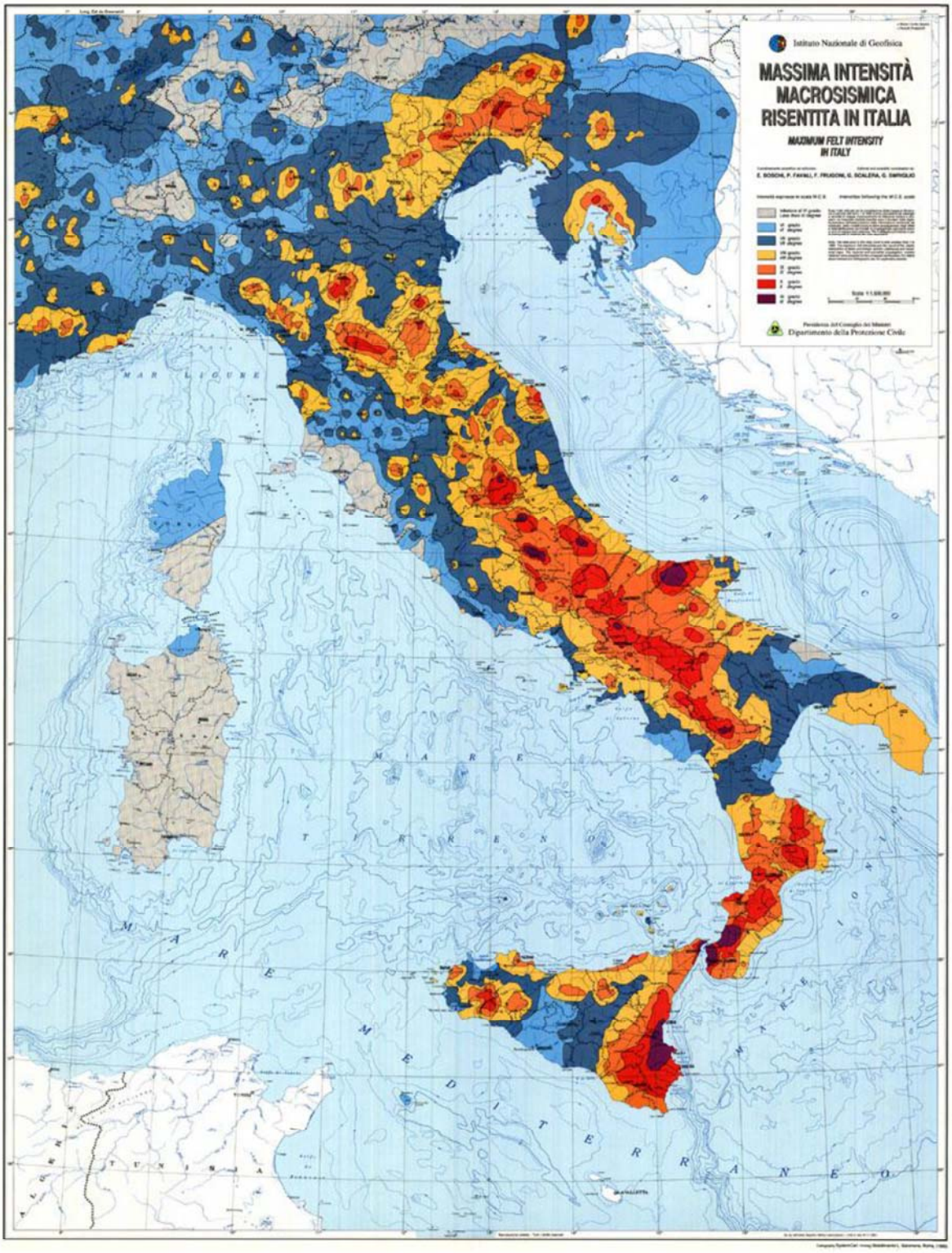


Fig. I.1.3 Massima intensità macrosismica sentita in Italia (Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica, Dipartimento della Protezione Civile, 1995).

I.1.3 Evoluzione della Classificazione sismica e climatica in Italia

Il territorio italiano è stato suddiviso, dalle recenti legislazioni, in zone caratterizzate da specifici valori della pericolosità sismica e rilevanza climatica. La pericolosità sismica di un determinato sito è dipendente dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali, e dai relativi fenomeni di amplificazione. Allo stesso modo le zone climatiche, dipendono dalle temperature di ciascun sito, dall'altimetria, dalla posizione, dall'esposizione ecc.

Si può quindi in definitiva affermare che ciascun comune è situato in una determinata zona sismica ed appartiene ad una specifica fascia climatica. L'unità di misura per la definizione della pericolosità sismica Il *Peak ground acceleration* (PGA)[10], ovvero la domanda sismica (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006). L'unità di misura per la definizione delle zone climatiche sono i Gradi Giorno (GG), ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente e la temperatura media esterna giornaliera.

I.1.3.1 Evoluzione della classificazione sismica

La prima classificazione sismica del territorio nazionale risale al Regio Decreto 13 marzo 1927, n.431, che definì, per le zone colpite dal terremoto, due categorie di pericolosità, in relazione al "grado di sismicità" ed alla costituzione geologica del sito. In quell'occasione venne introdotto il concetto di "zona sismica", suddividendo il territorio nazionale in modo empirico in due principali categorie, a ciascuna delle quali competevano diverse forze sismiche di progetto ed erano associate diverse prescrizioni relative alle altezze massime ed al numero dei piani degli edifici.

Fino al 1980 la classificazione sismica era basata sull'aggiornamento delle mappe attraverso l'inserimento di nuovi comuni colpiti dai terremoti. Pertanto solo le aree che avevano subito danni significativi durante il XX secolo (ossia solo il 25% del territorio italiano) erano classificate in zona sismica. Nel 1981, a seguito del terremoto dell'Irpinia e Lucania, fu elaborata una zonizzazione più razionale, basata sulla storia sismica di diversi secoli, che portò a classificare circa il 45% del territorio nazionale, distinguendo le varie zone in "prima, seconda e terza categoria", mentre le costruzioni appartenenti al rimanente 55% del territorio nazionale, rimanevano ancora non soggette a provvedimenti antisismici.

L'implementazione degli studi sulla sismicità storica del territorio e sulla conoscenza delle zone sismogenetiche, portò nel 1998 alla messa a punto di una proposta di nuova classificazione, che considerava sismico circa il 70% del territorio italiano. Tutto ciò rimase, purtroppo, solo al livello di proposta, fino al 2003, quando si è proceduto alla classificazione dell'intero territorio nazionale che ha comportato un nuovo incremento delle zone a maggiore rischio sismico. L'introduzione della nuova classificazione nazionale riconosceva tutto il territorio nazionale soggetto ad eventi sismici, classificando in una nuova zona 4[11] il rimanente 30% del territorio nazionale non incluso nelle zone 1, 2.

"In quel periodo le esperienze nazionali ed internazionali, dimostrarono con estrema chiarezza che in concomitanza di eventi sismici, l'intrinseca eterogeneità delle caratteristiche geometriche, fisiche, idrauliche e meccaniche dei terreni può indurre danni all'ambiente fisico ed all'ambiente

[10] Il *Peak ground acceleration* (PGA) è la misura della massima accelerazione del suolo indotta del terremoto e registrata dagli accelerometri. Diversamente dalla scala Richter, che misura l'ampiezza globale di un terremoto, il PGA misura l'intensità di un terremoto in una singola area geografica. La misura del PGA può essere vista come una misura strumentale di ciò che la scala Mercalli misura con quanto riportato da persone sulla gravità del sisma.

[11] Secondo l' OPCM n. 3274 del 2003, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

costruito, variabili anche in siti posti a breve o brevissima distanza. La valutazione della pericolosità sismica a scala locale non può prescindere dalle caratteristiche e dagli studi di tipo geologico, geofisico e geotecnico finalizzati alla valutazione dei fenomeni di amplificazione del moto sismico, alla valutazione della suscettibilità alla liquefazione, al potenziale innesco di frane."[12] Di conseguenza l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 emanata nel 2003, e le seguenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/9/2005 e il D.M. 14/01/2008) richiesero che per la valutazione dell'azione sismica fossero adeguatamente considerate le condizioni geologiche e geomorfologiche attraverso dettagliati studi di microzonazione sismica.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, ogni costruzione è caratterizzata da un'accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione delle caratteristiche dell'edificio.

I dati, oggetto dell'Allegato B delle nuove NTC e pubblicati sulle mappe interattive dell'INGV (Istitito Nazionale di Geologia e Vulcanologia http://esse1.mi.ingv.it), si riferiscono a ciascun punto del territorio nazionale, attraverso un reticolo di riferimento di 10751 nodi con una maglia di passo 5,5 km circa. La pericolosità sismica di base, definita in funzione di nove periodi di ritorno TR, per undici periodi strutturali e tre livelli di affidabilità, viene caratterizzata mediante i parametri:

- accelerazione massima orizzontale al sito, ag;
- valore massimo del fattore di amplificazione Fo per lo spettro in accelerazione orizzontale;
- periodo TC* corrispondente al punto iniziale del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale[13].

La microzonazione sismica rappresenta inoltre uno strumento importante anche per la pianificazione dal momento che, individuando le aree a diversa pericolosità sismica, consente di indirizzare le scelte di pianificazione verso gli ambiti a minore rischio.

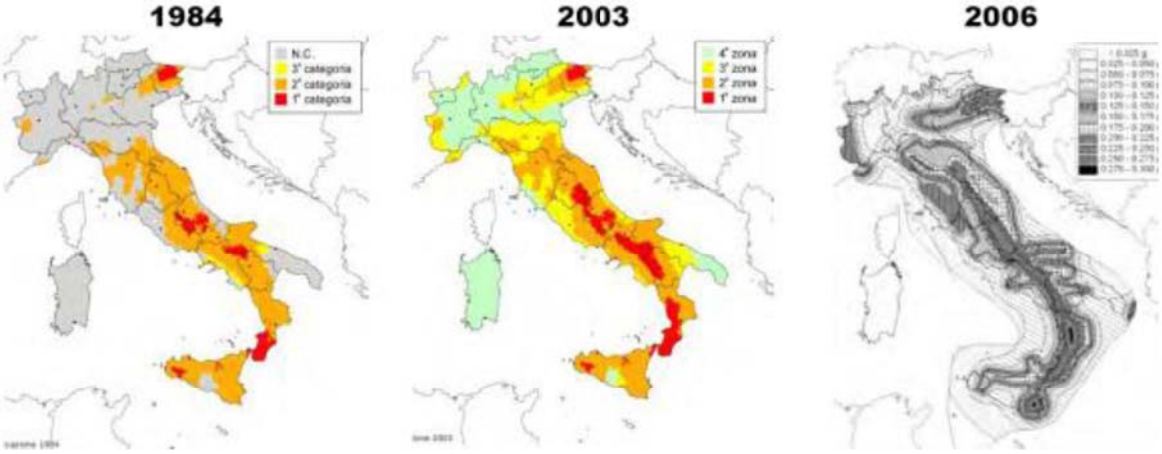


Fig. I.1.4 Evoluzione della classificazione sismica del territorio italiano (Fonte: Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della protezione Civile).

[12] Amra, http://www.acca.it/Default.aspx?TabId=80&ItemId=1051&view=Details, sottosuolo e risposta sismica (rilevato 23/03/2014).
[13] Di Fusco A., (2009) Sicurezza e sisma in Edlizia, http://costruire.laterizio.it/costruire/_pdf/n131/131_83.pdf (Rilevato: 17/06/2013)

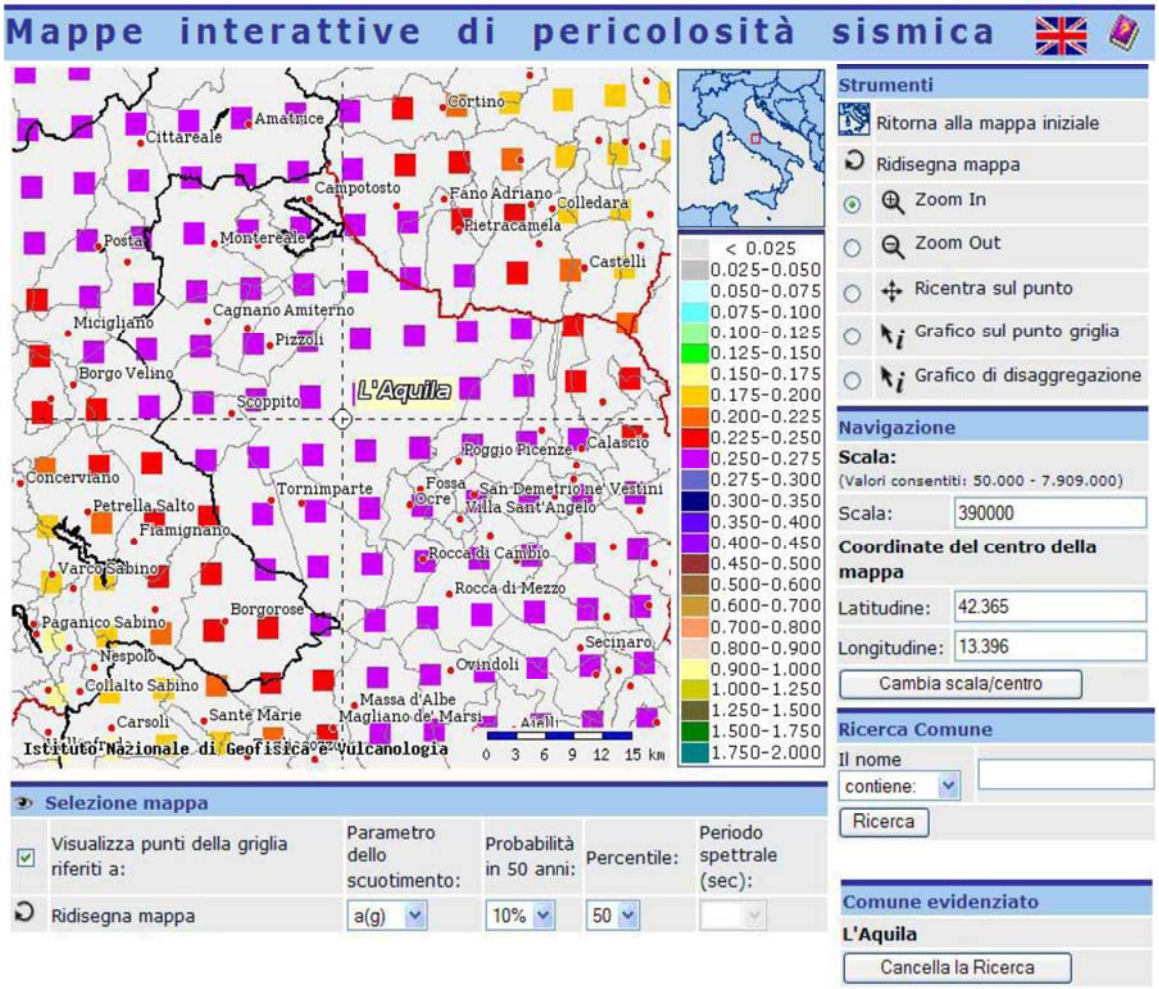


Fig. I.1.5 Mappe interattive di pericolosità sismica. (Fonte: www.Ingv.it)

I.1.3.2 Evoluzione della classificazione climatica

Prima del D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, l'Italia era classificata secondo il metodo proposto dal climatologo tedesco Wladimir Köppen, il quale propose nel 1918 un nuovo sistema, che definiva le diverse varietà climatiche in base alle caratteristiche della temperatura e delle precipitazioni, ed al regime annuo di questi due elementi. Koppen avevai individuato cinque principali classi di clima (dalla A alla E), distribuite secondo latitudini crescenti dall'equatore ai poli. In base a tale schema, la penisola italiana rientrava completamente nell'"area mediterranea", appartenente ai climi mesotermici e più precisamente al "clima subtropicale con estate asciutta".[14]

Il primo tentativo di definire una classificazione del territorio Italiano in base alle caratteristiche climatiche risale al DM 10/3/1977, ma la definitiva suddivisione in "zone climatiche" è da attribuirsi al DPR n°412 del 1993.[15], secondo il quale il territorio nazionale è suddiviso in sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dalla loro ubicazione geografica. Le zone climatiche sono definite in base al "grado-giorno", ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura degli ambienti interni (convenzionalmente fissata a 20°C) e la temperatura media esterna giornaliera. La temperatura media esterna giornaliera è influenzata dai fattori geografici, dall'altezza sul livello del mare, dalla protezione dai venti dominanti, dalla vicinanza al mare o a specchi d'acqua, ecc.

Zona CLIMATICA	GRADI GIORNI
Zona A	>600
Zona B	600 - 900
Zona C	900 - 1.400
Zona D	1.400 - 2.100
Zona E	2.100 - 3.000
Zona F	>3.000

Tab I.1.1 Classificazione delle Zone Climatiche in Italia in base ail numero di Gradi Giorni.

[14] In realtà, a causa di numerosi fattori (come l'ubicazione del territorio rispetto ai mari ed al continente europeo, la struttura orografica e l'influenza della latitudine), accanto al tipico clima mediterraneo vi sono aree con altri climi mesotermici o con situazioni di clima microtermico e di altitudine.

[15] DPR n°412 del 26-08-1993, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, un decreto attuativo della legge 10/91, la legge quadro in materia di uso razionale dell'energia e di risparmio energetico sul territorio nazionale.

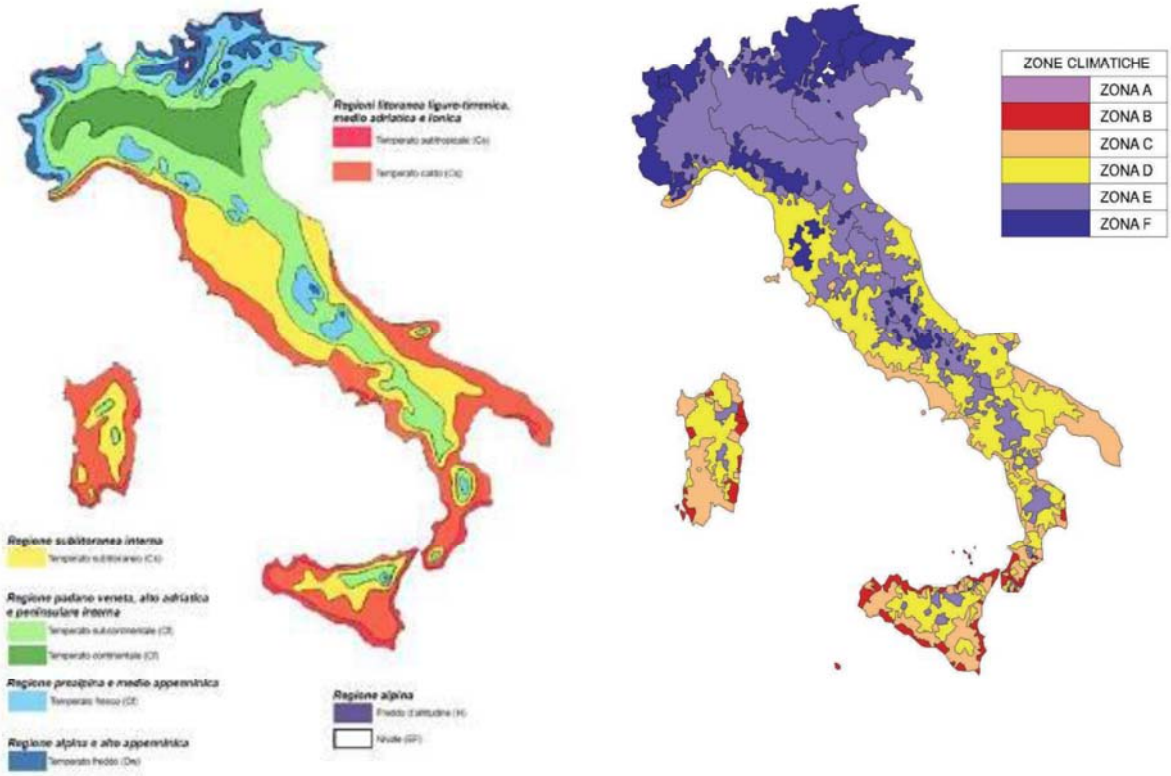


Fig. I.1.6 , Fig I.1.7 La Classificazione climatica secondo la metodologia proposta da Wladimir Köppen, messa a confronto con la Classificazione Climatica secondo il DPR n°412 del 1993.

I.1.4 Evoluzione della normativa sismica e della normativa per il contenimento dei consumi energetici

Sia la normativa sismica che la normativa relativa al contenimento dei consumi energetici, rappresentano una risposta necessaria a problematiche urgenti, connesse in primo luogo all'uso ed alla gestione del territorio e delle risorse naturali. L'evoluzione della normativa simica infatti, è legata al fenomeno dei terremoti che, a partire dai primi anni del secolo scorso, si sono susseguiti con una certa frequenza, evidenziando l'urgenza di adottare nuovi criteri per la progettazione delle costruzioni esistenti.

Similmente, la normativa sul contenimento dei consumi energetici si sviluppa a partire dalla presa di coscienza, da parte dell'opinione pubblica nazionale ed internazionale, degli effetti legati ad un uso inconsapevole delle risorse naturali e del territorio.

La storia evolutiva delle due normative dunque, segue un percorso simile: dopo una prima fase caratterizzata dall'emanazione di prescrizioni di carattere puramente descrittivo, o legate al "buon senso costruttivo", a partire dagli anni 70, vengono emanate le norme la cui metodologia costituirà la base dell'attuale quadro normativo. Sono state individuate quattro fasi temporali di emanazione delle principali normative:

- Norme di I generazione (fino al 1970)
- Norme di II generazione (dal 1970 al 1980)
- Norme di III generazione (dal 1980 al 2000)
- Norme di IV generazione (successive al 2000)

I.1.5.1 Norme di I generazione (fino al 1970)

Le norme sismiche di I generazione, sono caratterizzate da un approccio di tipo descrittivo, limitato a regolamentare la progettazione degli edifici situati in zone definite " a rischio", perché

oggetto di precedenti terremoti. Le prime norme sismiche, vennero emanate subito dopo il terremoto avvenuto a Messina nel 1908, con R.D del 18 Aprile 1909. Il decreto conteneva una serie di prescrizioni riferite agli edifici situati in zone colpite dagli eventi sismici, e relative a:
. scelta del sito su cui costruire
· regole di buona costruzione;
· regole di carattere urbanistico;
· regole relative ai calcoli di stabilità.

Tali prescrizioni erano inderogabili per gli edifici aventi particolari destinazioni d'uso come gli ospedali, gli edifici scolastici, le caserme, gli alberghi, etc., mentre per le altre categorie di edifici potevano essere concesse deroghe per speciali esigenze, previo parere del Consiglio Superiore dei LL.PP. Le direttive contenute nei codici di prima generazione erano rivolte agli edifici in muratura, i quali costituivano la stragrande maggioranza del patrimonio edilizio. Ad esempio nelle istruzioni per la ricostruzione di Reggio Calabria, si fornirono alcune norme di edificazione necessarie a garantire la regolarità strutturale (aspetto dell'edificio semplice ed elegante), la riduzione delle sollecitazioni e delle spinte (altezza limitata ai due piani fuori terra e divieto di realizzare balconi e cupole), il controllo del comportamento scatolare, e la riduzione dell'eccentricità tra il baricentro delle masse e rigidezze.

Fino agli anni 30 del secolo scorso la realizzazione degli edifici scolastici secondo criteri antisismici era dunque limitata alle sole aree dichiarate sismiche che corrispondevano ad una minima parte del territorio Italiano. Una regolamentazione più ampia, si ebbe con il decreto regio del 23 marzo 1935, n. 640, "Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti", attraverso il quale si stabilirono nuove regole anche per la costruzione di edifici situati in zone non sismiche. In particolare, la nuova normativa obbligava i comuni ad adottare regolamenti edilizi contenenti le regole dell'arte del costruire, in relazione anche ai materiali ed ai sistemi costruttivi adottati nei rispettivi territori. A partire da questo momento, la progettazione degli edifici scolastici (e degli edifici pubblici in generale), tiene conto quindi di una serie di indicazioni e prescrizioni di carattere generale riguardo alla idoneità dei siti scelti, alle modalità di esecuzione delle fondazioni e dei solai, alla qualità dei materiali, etc. Tali prescrizioni valevano per tutte le località, mentre nelle zone sismiche, furono stabiliti nuovi limiti e prescrizioni più restrittive.

Per quanto riguarda la normativa sul risparmio energetico negli edifici pubblici, fino al 1970 non vi era alcuna prescrizione per la riduzione delle dispersioni termiche dell'edificio, o indicazioni efficaci sulla scelta del sito e dell'orientamento in ragione delle caratteristiche climatiche. Per la riduzione dei consumi energetici negli ambienti pubblici, la progettazione era demandata al buon senso, essendo regolamentati soltanto gli impianti termici e la durata delle ore di accensione degli impianti stessi. I primi provvedimenti in materia di risparmio energetico risalgono alla legge n.615[16] "Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico", emanata dal ministero della sanità il 13 Luglio 1966, e basati sulla suddivisione del territorio italiano in due zone di controllo A e B (località più abitate e meno abitate). Secondo la normativa, per i consumi superiori alle 30.000 kcal/h, era necessaria l'approvazione dei VVFF . Venivano inoltre posti dei limiti all'utilizzo degli oli combustibili pesanti ed erano previsti dei controlli sui fumi emessi.

[16] A seguito della crisi energetica degli anni '70 in Italia viene emanata la prima legge sul risparmio energetico: la legge n.373/76. Prima del 30 aprile 1976, data di emanazione della legge n.373, non esistevano obblighi.

Fig.I.1.8 Terremoto di Reggio Calabria 1783. (Fonte: Wikimedia Commons)

I.1.4.2 Norme di II generazione (dal 1970 al 1980)

Le attuali legislazioni antisismiche e sul contenimento dei consumi energetici sono essenzialmente basate sull'apparato normativo costituito a partire dagli anni 70 del secolo scorso. Dal punto di vista sismico si tratta di norme prestazionali "a singolo livello", ovvero viene valutata principalmente la risposta della struttura soltanto nei confronti dei terremoti rari, con periodi di ritorno di 500 anni. Per tali eventi violenti le strutture devono avere prestazioni tali da arantire la salvaguardia della vita umana (ovvero evitare il crollo della struttura). Il limite di tale normativa sta evidentemente nel non prendere in considerazione quelle che sono le conseguenze di terremoti più frequenti ma meno violenti.
La legge quadro del 2/02/1974 n.64 recante "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche", ha dato origine alla seconda generazione di normative sismiche, innovando il quadro di leggi e regolamenti che attiene alla sicurezza delle costruzioni, insieme all'introduzione di una nuova metodologia per l'individuazione delle zone sismiche. Vengono inoltre definiti i criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni, e viene data una nuova spinta alle indagini sui terreni e sulla relativa stabilità.[17]
L'approccio metodologico relativo alla classificazione sismica del territorio venne innovato, stabilendo la necessità di un aggiornamento continuo e costante delle mappe, in base all'evoluzione degli eventi sismici. Nel 1975, con decreto del 3 marzo, è stata emanata la prima normativa sismica. Tale normativa si distingue per l'introduzione di una nuova microzonazione di I livello, che tiene conto degli effetti amplificativi del terreno di fondazione sulle onde elastiche prodotte dal terremoto, e la possibilità di studiare la risposta della struttura in regime dinamico, attraverso l'analisi modale in alternativa all'analisi statica equivalente. Viene inoltre introdotto lo

[17] Landolfo R. (2005) L'evoluzione della normativa sismica. In Costruzioni Metalliche, LVII , pp. 54-58

spettro di progetto in termini di accelerazioni, ricavato al variare dello smorzamento del sistema ed in funzione del periodo proprio di vibrazione della struttura[18].

Il contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici è stato regolamentato, per la prima volta, dalla Legge 373/76 e dai relativi decreti di accompagnamento.
Il criterio seguito era di limitare la potenza dell'impianto, attraverso l'introduzione di un coefficiente di dispersione volumico. Il successivo DM 30/7/1986, ha aggiornato la metodologia di calcolo del coefficiente di dispersione termica (Cd), sulla base del rapporto di forma S/V (superficie disperdente/volume riscaldato) dell'edificio e della fascia climatica di riferimento.

L'Obiettivo era quello di calcolare la massima potenza consentita per il generatore, misurata in funzione dei Gradi Giorno, del fattore Forma e del coefficiente globale di scambio termico. Le prestazioni dell'involucro erano valutate solo in funzione dell' "energia dispersa", senza tenere conto del possibile contributo all'efficienza energetica dell'edificio, ed alla riduzione della potenza dell'impianto. Per quanto riguarda la regolamentazione, con l'introduzione delle fasce climatiche vennero regolamentati gli orari di funzionamento degli impianti termici stabilendo, per gli ambienti pubblici, temperature massime di 20°C.

La limitazione della potenza della caldaia, prescritta dal DPR 1052/77, ha costituito un vincolo più dannoso che utile, in quanto il rendimento dell'impianto di produzione dipende da molteplici fattori, di cui la potenza rappresenta solo uno di questi. La regolazione automatica avrebbe comunque adattato la potenza installata all'effettivo fabbisogno dell'edificio, aumentando i consumi energetici. La limitazione più evidente e più importante era il fatto che questa legge con i suoi limiti interessava solamente le caratteristiche costruttive dell'involucro edilizio senza considerare minimamente il sistema edificio-impianto[19].

[18] Cfr. Landolofo R., op. cit.
[19] Efficienza e risparmio energetico nei luoghi di lavoro
http://media.scuolaradioelettra.it/PLATFORM/MULTIMEDIA/RISPARMIO_ENERGETICO/Riferimenti_normativi_Italia.pdf (rilevato il 23/09/2012)

Fig I.1.9 Terremoto dell'Irpinia 1980. (Fonte: INGV)

I.1.4.3 Norme di III generazione (dal 1980 al 2000)

Le norme di terza generazione sono caratterizzate dalla valutazione delle prestazioni dell'edificio, dall'elaborazione di calcoli più evoluti, e dall'inclusione nella verifica delle prestazioni, oltre che delle nuove costruzioni, anche degli edifici esistenti. In questo periodo inoltre, la normativa in entrambi i settori opera una distinzione tra le varie tipologie di edifici, in base alla destinazione d'uso ed all'importanza strategica.

Per quanto riguarda la sicurezza strutturale, le norme di III generazione sono definite anche norme "doppio livello", e la sicurezza strutturale è valutata attraverso il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite (MSSL). La risposta del sistema è analizzata con riferimento a due eventi sismici caratterizzati da distinti periodi di ritorno (Tr): il terremoto di servizio con Tr pari a 100 anni ed il terremoto distruttivo con Tr pari a 500 anni. A tali eventi sono associati due distinti livelli prestazionali o obiettivi di progetto, riferiti agli Stati Limite di Esercizio e Ultimo. La verifica allo stato limite di esercizio consiste nell'accertarsi che il sistema subisca, per effetto del terremoto di servizio, un ridotto danneggiamento alle parti strutturali e non, tale cioè da non compromettere la funzionalità della costruzione. Il parametro di controllo è costituito dalla rigidezza della costruzione[20].

La verifica dello Stato Limite Ultimo consiste nell'accertarsi che il sistema, in corrispondenza del terremoto distruttivo, pur subendo danni di grave entità agli elementi strutturali, sia in grado di offrire una residua resistenza e rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali e l'intera capacità

[20] Landolfo, op. cit.

portante nei confronti dei carichi verticali, in modo da salvaguardare la vita umana. Il parametro di controllo è rappresentato dalla resistenza dell'intero sistema strutturale che deve essere superiore alle sollecitazioni di progetto. Il DM 19 giugno 1984 ha riproposto il concetto di differenziare il livello di protezione sismica per particolari categorie di edifici.
Questa differenziazione viene fatta in base all'importanza della funzione svolta del singolo edificio, ed a ciascuna di queste viene attribuito un coefficiente maggiorativo dell'azione sismica, pari a 1,2 per le opere di importanza pubblica e strategica rilevante, come gli edifici scolastici, e un coefficiente pari a 1,4 per gli edifici importanti per le necessità della protezione civile[21].

Negli stessi anni aumentano le politiche di sensibilizzazione sulle tematiche dell'inquinamento prodotto dai combustibili fossili, e sulla necessità di ridurre il consumo di risorse energetiche a favore delle fonti rinnovabili. Negli anni Novanta la problematica dell'effetto serra dovuto all'aumento di anidride carbonica, le conflittualità nelle aree di estrazione del petrolio e la forte crescita della domanda mondiale di energia danno la spinta decisiva per l'emanazione di un nuovo ed innovativo ciclo di norme e prescrizioni finalizzate all'uso consapevole di energia nel settore pubblico, alla promozione delle fonti rinnovabili e dei sistemi impiantistici alternativi. A questi principi si ispirava la legge 9/01/1991 n. 10, che rappresenta la prima legge quadro che regolava, ed in parte ancora regola, le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio-impianto. La legge aveva compiuto un primo passo verso la "certificazione energetica" degli edifici, una procedura di informazione dell'utente delle caratteristiche energetiche del sistema.

Il principale decreto attuativo della legge n.10/91 è il D.P.R. n.412 del 1993, recante norme e disposizioni per gli adempimenti del settore impiantistico. Nella L.10/91 veniva introdotto il criterio di limitare i consumi di energia primaria utilizzati dal sistema edificio-impianto, e non più la potenza del generatore installato. Si definiva dunque un limite per i consumi di energia primaria espresso mediante l'indicatore del "Fabbisogno Energetico Normalizzato" (FEN)[22], espresso in chilojoule per metro cubo e per grado giorno. Nel calcolo del FEN, oltre a prendere in considerazione i flussi uscenti per dispersione e ventilazione, si valutavano con maggiore dettaglio le perdite energetiche dell'edificio, andando a quantificare l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione, mentre per gli impianti era valutata l'energia dispersa per la produzione- distribuzione- regolazione-emissione. Il Fen doveva essere utilizzato quale elemento di riferimento e guida per l'analisi, la valutazione e la convalida delle scelte progettuali effettuate.[23]

In altri termini, la legge 10/91, ed il relativo regolamento di esecuzione, il DPR 412/93, concepiscono il sistema edificio-impianto come un'unica unità funzionale, per cui la progettazione dell'edificio e la progettazione dell'impianto devono procedere in maniera integrata. Per quanto riguarda gli Edifici Pubblici come le scuole, due aspetti fondamentali hanno caratterizzato questa fase normativa: l'ammodernamento delle Centrali Termiche che fornivano il calore per il riscaldamento degli Edifici Pubblici e l'uso più razionale dell'energia termica, decisivi per il risparmio energetico.

"A partire dal 1991 con l'emanazione della Legge 9.1.1991 n. 10, "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di

[21] Ibidem
[22] Il FEN, "fabbisogno energetico convenzionale" è definito come la quantità di energia primaria normalmente necessaria in un anno per la climatizzazione invernale, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura costante di 20°C, con un adeguato ricambio d'aria. Tale valore era inversamente proporzionale ai gradi Giorno ed al Volume riscaldato.
[23] Efficienza e risparmio energetico nei luoghi di lavoro
http://media.scuolaradioelettra.it/PLATFORM/MULTIMEDIA/RISPARMIO_ENERGETICO/Riferimenti_normativi_Italia.pdf

sviluppo delle fonti rinnovabili di energia“ le scuole, come tutti gli Edifici Pubblici nuovi o in ristrutturazione, avrebbero dovuto integrare il risparmio energetico e le fonti rinnovabili negli edifici dichiarati interventi di pubblica utilità e di pubblico interesse. La mancata applicazione della norma in tutto il territorio nazionale ha portato ad un parco edilizio scolastico di gran lunga lontano dagli standard qualitativi della media europea”(La Gioia V., 2009).

I.1.4.4 Norme di IV generazione (successive al 2000)

L’aggiornamento della normativa sismica in Italia avviene nel 2003 con l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, emanata a seguito del tragico crollo della scuola di San Giuliano di Puglia (CB) avvenuto durante il terremoto del Molise del 31 Ottobre del 2002.
La necessità di definire, oltre ai due stati limite di danno ed ultimo, una soglia ammissibile di danneggiamento delle parti strutturali e non strutturali anche per livelli intermedi dell'intensità sismica, ha determinato la nascita di una nuova generazione di codici. Tale necessità scaturisce dall'esigenza di combinare considerazioni di carattere economico a quelle di sicurezza e salvaguardia della vita, dal momento che una corretta valutazione del rischio sismico consente di quantificare esattamente sia i costi iniziali di costruzione che quelli legati ad eventuali danneggiamenti. In tale ottica è possibile individuare, per ogni sistema strutturale, un livello o un range di livelli di prestazione ottimale, ottenuti minimizzando il costo totale della struttura[24].
Uno dei fattori più importanti di questa quarta generazione di normative ai fini della presente ricerca, sta nella definizione operata con il Decreto N. 19904 del 21/11/2003, degli Edifici ed opere rilevanti, definiti come “Edifici Pubblici o comunque destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane”.

Il concetto di sicurezza basato esclusivamente sulla “resistenza” della struttura portante, della precedente normativa (DM 16/01/1996), è sostituito al concetto di “prestazione”, e non solo della struttura portante ma di tutto l’organismo architettonico, comprensivo di parti non strutturali e degli impianti. L'approccio multilivello si basa sulla filosofia di progetto nota come *Performance Based Seismic Design*. Approccio ingegneristico nato negli USA durante gli anni Ottanta in seguito alla necessità di aumentare la precisione di calcolo per edifici alti in zone a rischio sismico elevato (come la città di San Fransisco, ad esempio) .

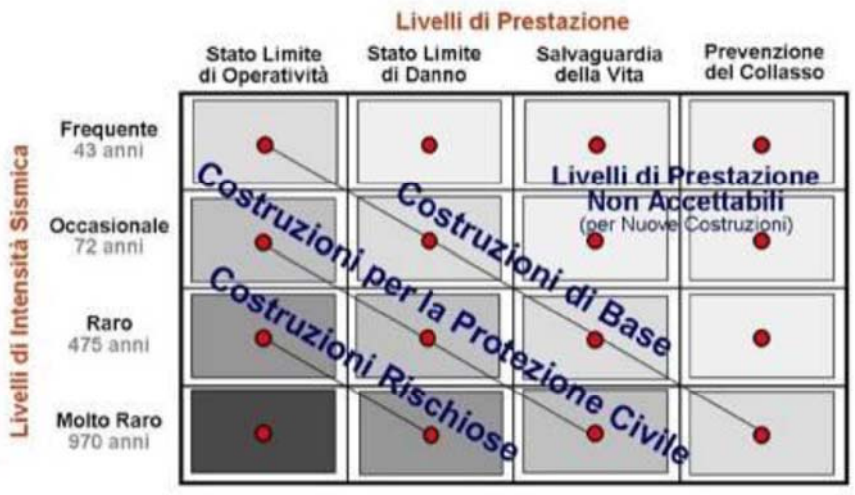
In sintesi, il metodo consiste nella scelta di un criterio di progetto tale da garantire , per uno specifico livello di intensità sismica, livelli opportuni di prestazione della costruzione. La scelta appropriata dei livelli di performance, associati a diversi gradi di intensità sismica, consente di governare la progettazione ovvero di definire gli obiettivi del progetto. Questi ultimi possono essere messi in relazione con la specificità della costruzione (costruzione di base, costruzione scolastica, ecc..). Per ogni sistema, definito un livello di performance associato ad un determinato evento sismico, deve essere quindi verificata la disequazione:

Demand (Richiesta) < *Capacity* (Prestazione)

Gli edifici esistenti devono dunque avere caratteristiche di duttilità ovvero, in presenza di azione sismica, avere capacità dissipativa. La progettazione antisismica, secondo le NTC e come suggerito dall’Eurocodice 8, prevede che le strutture debbano essere concepite secondo il “criterio della gerarchia delle resistenze”, ossia occorre prevedere che gli elementi strutturali a comportamento plastico raggiungano lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile sono ancora in fase elastica e ben lontani dal raggiungimento della rottura. Questo determina l’introduzione delle capacità dissipative di una struttura e le sue

[24] Londolfo R., op. cit.

capacità duttili con le classi di duttilità espresse attraverso il fattore di struttura "q" (definito nel capitolo 7 della normativa).



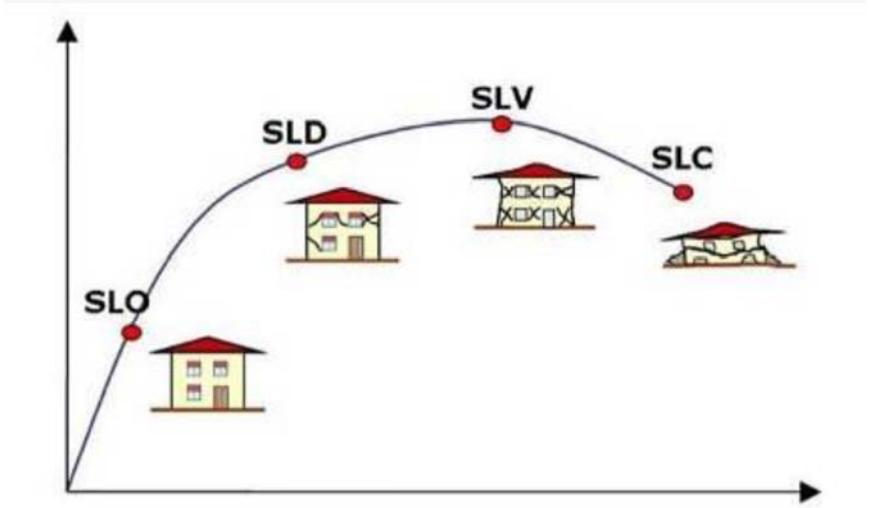


Fig.I.1.10 Livelli di prestazione e Stati Limite non lineari degli edifici sotto l'azione sismica (Fonte: Landolfo R. http://www.federica.unina.it/architettura/laboratorio-di-tecnica-delle-costruzioni/evoluzione-normativa/)

Per quanto riguarda l'aspetto energetico, l'emanazione dell'ultimo ciclo di normative è una diretta conseguenza del recepimento, alla fine degli anni '90, del Protocollo di Kyoto[25]. La direttiva Europea ha dato l'impulso a migliorare l'efficienza energetica negli Edifici Pubblici, riconosciuto come uno dei settori a cui imputare i maggiori consumi negli usi finali di energia e delle maggiori emissioni di CO_2. Sotto molti punti la L 10/91 era in anticipo sui tempi ed, infatti, il suo impianto generale venne ripreso dalla Direttiva 2002/91/CE sull'efficienza energetica nell'edilizia. Con la Direttiva si apre dunque un nuovo ciclo di leggi e prescrizioni in cui gli Edifici

[25] Il Protocollo di Kyoto è il trattato internazionale in materia di tutela ambientale e risparmio energetico sottoscritto da più di 180 Paesi.

Pubblici come le scuole, assumono un ruolo strategico per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti e dei consumi energetici, in ragione della consistenza e del ruolo dimostratore che assume per la diffusione dei principi di efficienza energetica[26].

La direttiva inoltre prevede la definizione di una metodologia per il calcolo della certificazione energetica degli edifici, e sottolinea come gli edifici occupati dalle Pubbliche Autorità o aperti al pubblico devono assumere un approccio esemplare nei confronti dell'ambiente e dell'energia, assoggettandosi alla certificazione energetica ad intervalli regolari ed affiggendo sull'edificio l'attestato di certificazione, oltre ad adottare misure di sensibilizzazione degli occupanti verso l'uso consapevole dell'energia.

Il problema è particolarmente sentito in Italia, notoriamente caratterizzata da un parco edilizio poco performante dal punto di vista energetico, se rapportato alla relativa mitezza del clima. La Direttiva ha così dato il via ad una serie di azioni e provvedimenti che, nel nostro Paese, si sono rivolte all'aggiornamento del quadro legislativo di riferimento e all'adeguamento delle relative norme tecniche[27]. "La necessità di regolare i flussi di energia che passano attraverso l'involucro ha influenzato la stesura delle recenti normative in materia di risparmio energetico, sia di matrice internazionale che di matrice nazionale. Isolamento termico e inerzia termica delle componenti costituenti il "limite" fisico tra ambiente interno ed esterno sono i parametri fondamentali su cui si basano tali riferimenti normativi. Alla luce della necessità di ridurre i carichi energetici dell'edificio è stato indispensabile individuare buone pratiche del costruire finalizzate all'implementazione delle caratteristiche tecnologiche dell'involucro edilizio, ridefinito come componente dinamica dal punto di vista energetico capace di regolare "positivamente" i flussi di energia entranti ed uscenti dall'ambiente edilizio"[28].

In questo panorama il Governo e le Regioni hanno emanato leggi e provvedimenti finalizzati al raggiungimento della massima efficienza energetica negli edifici.

Tra i provvedimenti, emanati dal Ministero dello Sviluppo Economico, si segnalano in particolare le Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica degli Edifici per l'attuazione del D. Lgs. 192/2005, che recepiscono la direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, la Direttiva 32/2006/CE sull'efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici (abrogata dalla dir. 2012/27/CE), che imponeva agli stati membri di dotarsi di un Piano di Azione per l'Efficienza Energetica (PAEE).

[26] DEA, Dipartimento di Energia e Ambiente, Evoluzione della normativa sul contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici, http://media.cism.it/attachments%2Fevol_norm_edifici.pdf (rilevato 13/12/2013).

[27] Fasano G. (a cura di), l'Efficienza Energetica nel settore civile (documento disponibile all'indirizzo http://www.enea.it/it/enea_informa/documenti/quaderni-energia/civile.pdf)

[28] www.wikipedia.it

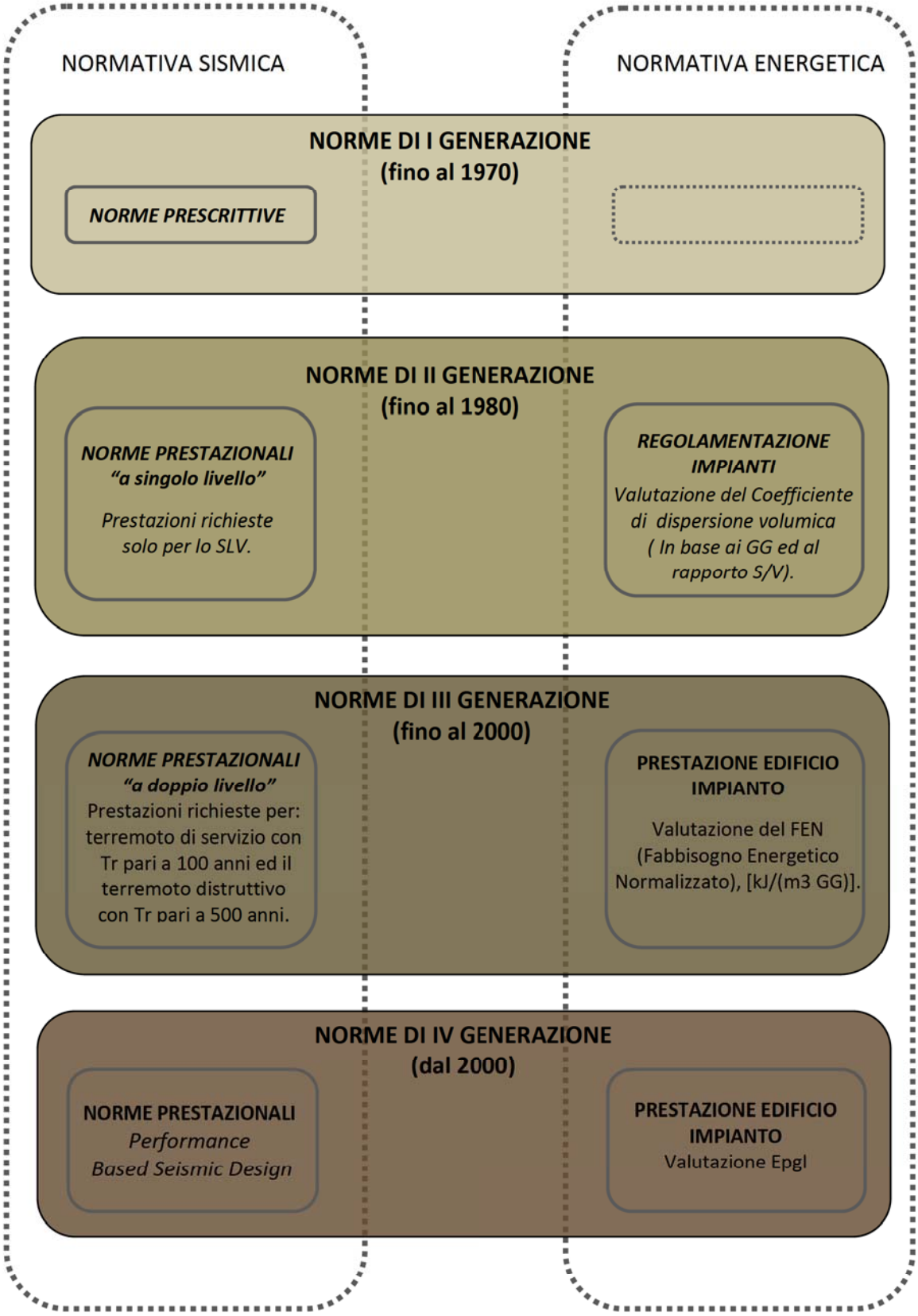


Fig.I.1.11 Sintesi dell'evoluzione della normativa sismica ed energetica.

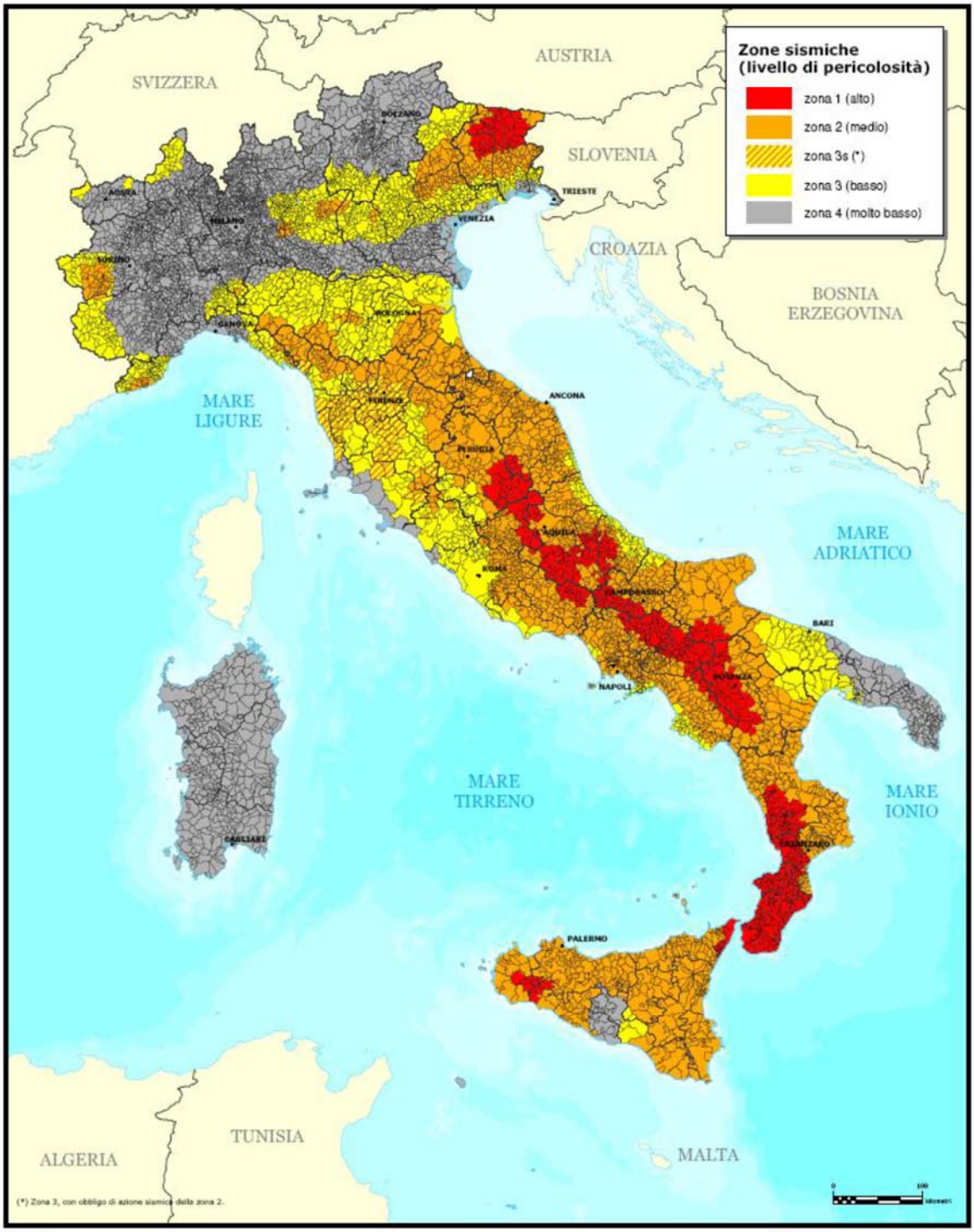


Fig.I.1.12 Classificazione delle zone sismiche con recepimento dell'Ordinanza OPCM n.3274/ 2003 e smi. (Fonte: Dipartimento della Protezione Civile)

Bibliografia

CEN (European Committee for Standardization). *Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures*, EN 1998-1, 2003.

Comini G., Croce G., Savino S. *Energetica Generale*, Padova: SGEditoriali, 2011.

Cresme, *Lo stato del territorio Italiano 2012, Insediamento e rischio sismico ed idrogeologico*, rapporto, Roma, 2012.

DEA, Dipartimento di Energia e Ambiente, *Evoluzione della normativa sul contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici,* http://media.cism.it/attachments%2Fevol_norm_edifici.pdf (rilevato 13/12/2013).

De Marco R., Martini M.G, Di Pasquale G., Fralleone A., Pizza G.A., Viola V., *La classificazione e la normativa sismica italiana dal 1909 al 1984*. Roma: Dipartimento per la Protezione Civile- Ufficio Servizio Sismico Nazionale, 2004.

Di Fusco A., (2009) *Sicurezza e sisma in Edlizia*, http://costruire.laterizio.it/costruire/_pdf/n131/131_83.pdf (Rilevato: 17/06/2013)

Fasano G. (a cura di), *l'Efficienza Energetica nel settore civile* (documento disponibile all'indirizzo http://www.enea.it/it/enea_informa/documenti/quaderni-energia/civile.pdf)
1 www.wikipedia.it

Ferrara V. 2003. *Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia. Energia, Ambiente e Innovazione, documento disponibile alla pagina* http://old.enea.it/produzione_scientifica/pdf_EAI/2003/EvoluzioneClima.pdf

Giangreco E. *La normativa sismica: tappe e prospettive*. In E. Giangreco (Ed.), *Fondamenti di Ingegneria sismica*. Bologna: Edizioni Tipografia Negri, 1983.

Giuffrè A. *Cento anni di norme sismiche*. Ingegneria sismico, Anno IV- n2, Bologna: Patron Editore, 1987.

Mammi S., Galbusera G. (a cura di). Vol.2 *Il DLGs 311, guida alla nuova legge 10. Guida pratica per capire e rispettare il decreto legislativo sull'efficienza energetica degli edifici*, Collana *L'isolamento termico e acustico* a cura di ANIT-Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico ed Acustico, Milano, TEP, 2007.

Marino F. P. R., Grieco M., *La certificazione energetica degli edifici ed il D.Lgs. 192 del 19/8/2005*, Roma, EPC Libri, 2006, pp.479.

Landolfo R. *L'evoluzione della normativa sismica*. In Costruzioni Metalliche, LVII, 2005.

La Gioia V., *Il retrofit tecnologico degli edifici scolastici,* Tesi di dottorato in Tecnologie dell'architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, a.a 2008/2009.

Lavagna M. *Progettare con il clima, progettare nel contesto: tipologie, tecnologie e cultura materiale*, In il Progetto Sostenibile, mediterraneo tra mito e risorsa, XVI, 2010, pp 14-15.

Lavagna M., *Costruire l'essenziale. Un approccio sostenibile al progetto*, in Alini L., Cupole per Abitare, Libellula, 2012, pp. 47-50.

ECCS (European Convention for Constructional Steelwork). *European Recommendations for Steel Structures in Seismic Zones* N.54, 1988.

Köppen W. *Geographisches System der Klimate* - Nendeln/Liechtenstein : Kraus-Reprint, Berlino, 1936.

Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) 2010. *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*. Report no.2010/05, University of Berkeley, Berkeley, 2010.

P.M.C. 2003. *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Ord. N. 3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche ed integrazioni.

Zecca F. 2012. Edifici, un futuro a basso impatto. Documento disponibile all'indirizzo http://www.energystrategy.it/assets/files/media_eventi/GreenBUsiness_EER.pdf

Sitografia

Dipartimento Protezione Civile, www.protezionecivile.gov.it

Associazione Nazionale Costruttori Edili, www.ance.it

Istituto agronomico per l'Oltremare IAO:
http://www.iao.florence.it/training/geomatics/BenSlimane/Marocco21_3_1_2.htm

National Information Service for Earthquake Engineering http://nisee.berkeley.edu/

Irmi Knowledgebase Education Community
http://www.irmi.com/expert/articles/2003/gould10.aspx

Servizio Sismico Svizzero http://www.seismo.ethz.ch/