



STRUCTURAL 246

MAGAZINE

MAGGIO
GIUGNO
2023

ISSN 2282-3794

All the articles of this issue have been submitted to peer-review

NEW CHALLENGES FOR STRUCTURAL MONITORING OF INFRASTRUCTURES

Modal analysis with distributed systems

NUOVE SFIDE PER IL MONITORAGGIO STRUTTURALE DI INFRASTRUTTURE

Analisi modale con architetture distribuite

di Dario La Mazza, Monica Longo, Paolo Chiarotti, Matteo Brambilla, Paola Darò, Alfredo Cigada, Giuseppe Mancini

DOI 10.12917/Stru246.013 – <https://doi.org/10.12917/STRU246.13>

PRELIMINARY RESULTS FROM THE ANALYSIS OF THE RECONSTRUCTION PROCESS IN UMBRIA AFTER 2016 EARTHQUAKE

ANALISI DEL PROCESSO DI RICOSTRUZIONE IN UMBRIA DOPO LA SEQUENZA SISMICA DEL CENTRO ITALIA 2016

Organizzazione della raccolta dati e risultati delle prime elaborazioni

di Romina Sisti, Giuseppina De Martino, Marco Di Ludovico, Andrea Prota, Emanuela Speranzini, Alessia Abbozzo, Federica Modesti, Gianluca Fagotti, Stefano Nodessi

DOI 10.12917/Stru246.14 – <https://doi.org/10.12917/STRU246.14>

ANALYSIS OF THE SEISMIC SEQUENCE OF 6TH FEBRUARY 2023 IN TURKEY AND ASSESSMENT OF THE EFFECTS ON THE BUILT ENVIRONMENT

DOSSIER TURCHIA, ANALISI DELLA SEQUENZA SISMICA DEL 6 FEBBRAIO 2023

E VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SUL COSTRUITO

di Silvia Bonetti, Davide Trutalli

DOI 10.12917/Stru246.15 – <https://doi.org/10.12917/STRU246.15>

RENOVATION AND DOUBLE EXPANSION OF THE CORSO MATTEOTTI HOTEL IN MILAN

RISTRUTTURAZIONE E DOPPIO AMPLIAMENTO DELL'HOTEL DI CORSO MATTEOTTI A MILANO

di Arturo Donadio

DOI 10.12917/Stru246.16 – <https://doi.org/10.12917/STRU246.16>

ANCHORAGES AND LAPS IN THE NEW EUROCODE 2 AND MODEL CODE 2020: REVISION OF THE DESIGN CRITERIA

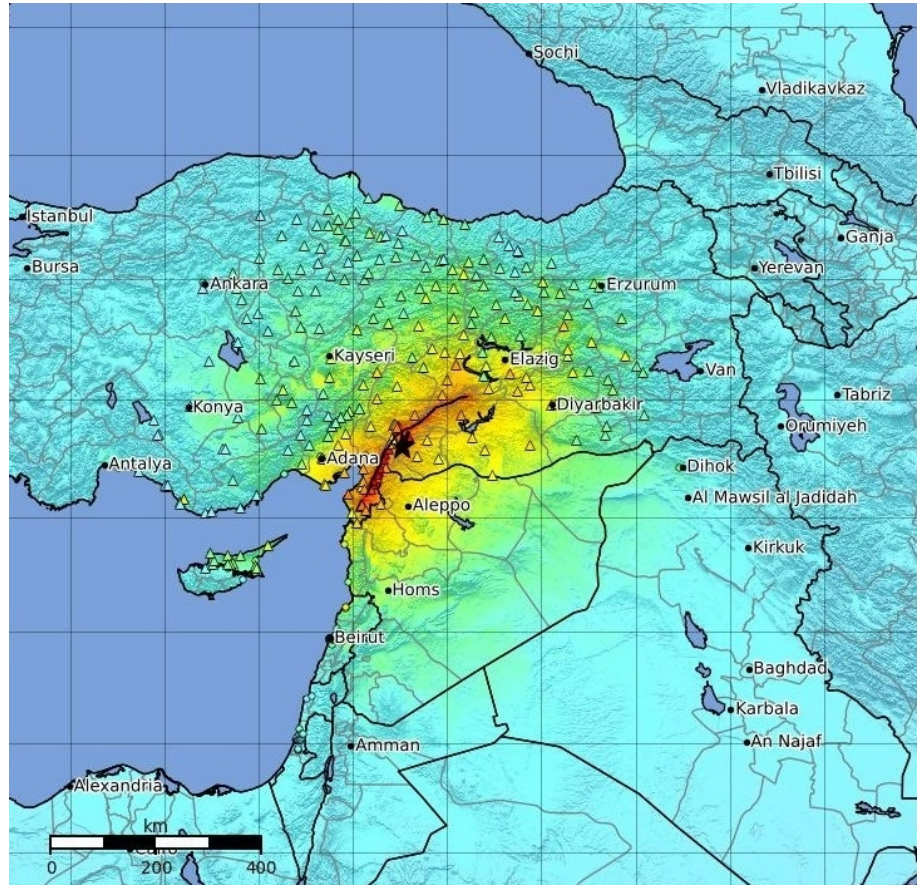
From the first evidence to the current monitoring issues

GLI ANCORAGGI E LE SOVRAPPOSIZIONI NEI NUOVI EUROCODICE 2 E MODEL CODE 2020:

REVISIONE DEL CRITERIO DI PROGETTAZIONE

di Giovanni Metelli, John Cairns, Giovanni Plizzari

DOI 10.12917/Stru246.17 – <https://doi.org/10.12917/STRU246.17>



ANALYSIS OF THE SEISMIC SEQUENCE OF 6TH FEBRUARY 2023 IN TURKEY AND ASSESSMENT OF THE EFFECTS ON THE BUILT ENVIRONMENT

Silvia Bonetti

Ingegnere, Consigliere Nazionale ISI - Ingegneria Sismica Italiana
silvia.bonetti@ingegneriasismicaitaliana.it

Davide Trutalli

Ingegnere, Direttore ISI - Ingegneria Sismica Italiana
direttore@ingegneriasismicaitaliana.it

ABSTRACT

The seismicity of Turkey is of particular importance, the territory is at the boundary of the African, Eurasian and Arabian plates through the Anatolian plate. The earthquake that occurred on February 6th, 2023 was located at the limit of the East Anatolian Fault system - EAF, and was associated with the activation of another rupture front

further south along the Dead Sea fault. The region crossed by the EAF is a very seismically active region. In the last 20 years, major earthquakes have been recorded especially in the eastern segment of the EAF, such as the 2003 Bingöl Mw 6.4 earthquake, the 2011 Van Mw 7.2 earthquake and the 2020 Elazığ Mw 6.8 earthquake. In particular, the Van earthquake has contributed to the updating of the Turkish seismic standard and to the updating of the technical regulations through the transition from TEC2007 to TBEC2018 which, as we will see later, allows a more in-depth assessment of the seismic hazard of the Turkish territory.

SOMMARIO

DOSSIER TURCHIA, ANALISI DELLA SEQUENZA SISMICA DEL 6 FEBBRAIO 2023 E VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SUL COSTRUITO

La sismicità della Turchia è di particolare rilievo, il territorio si trova infatti alla congiunzione delle placche africana, euroasiatica e arabica attraverso la placca anatolica. Il terremoto avvenuto il 6 febbraio 2023 si colloca all'estremità del sistema fagliante della Faglia Est Anatolica - EAF, ed è associato all'attivazione di un altro fronte di rottura più a sud lungo la faglia del Mar Morto. La regione attraversata dalla EAF è una regione molto attiva sismicamente. Negli ultimi 20 anni si sono registrati terremoti di particolare entità soprattutto nel segmento orientale della EAF, come il terremoto di Bingöl Mw 6.4 del 2003, il terremoto di Van Mw 7.2 del 2011 e il terremoto di Elazığ Mw 6.8 del 2020. In particolare, il terremoto di Van ha contribuito all'aggiornamento della norma sismica turca e all'aggiornamento della normativa tecnica attraverso il passaggio dal TEC2007 al TBEC2018 che, come vedremo in seguito, permette una valutazione più approfondita della pericolosità sismica del territorio turco.

KEYWORDS | PAROLE CHIAVE

Turkey earthquake 2023, seismic hazard, TEC2007, TBCE2018, Building stock
Terremoto Turchia 2023, pericolosità sismica, TEC2007, TBCE2018, patrimonio edilizio



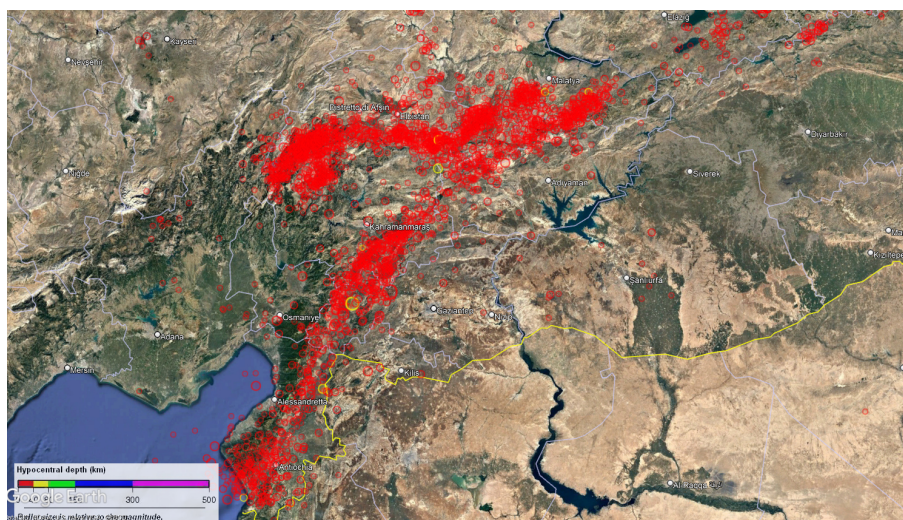
1. Mappa tettonica della Turchia [1] - fonte: <http://seismo.berkeley.edu/>

Evoluzione della sequenza sismica

A tre settimane esatte dall'evento sismico di Mw 7.8 del 06 febbraio 2023, sono oltre 3400 le scosse di magnitudo superiore a 2.5 registrate nelle regioni della Central Turkey, dell'Eastern Turkey, della Turkey-Syria Border Region e in Siria. Il sisma interessa una superficie di rottura lunga circa 300 km con l'attivazione di due piani di faglia, lungo la EAF per l'evento principale e lungo la Dead Sea Fault per l'evento successivo di magnitudo 7.5 Mw.

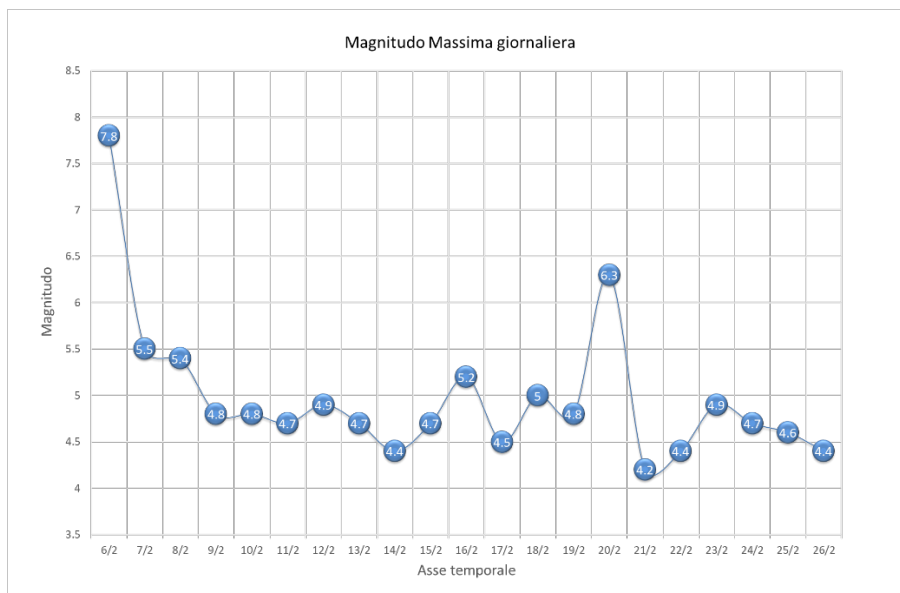
Gli eventi della sequenza registrati nei primi 21 giorni con magnitudo $M \geq 4$ sono circa **390** [2], di questi 35 hanno registrato una magnitudo superiore a 5 e due una magnitudo superiore a 7. L'andamento giornaliero della massima magnitudo registrata, si è mantenuta per le prime tre settimane della sequenza superiore a 4, con un valore di picco registrato il 20 febbraio pari a Mw 6.3.

La sequenza sviluppata dopo la scossa principale interessa una porzione di territorio molto vasta che si estende come detto lungo 3 distretti della Turchia, alla vicina Siria, con risentimento macrosismico importante anche in Grecia, Libano, Egitto Israele e Iran.

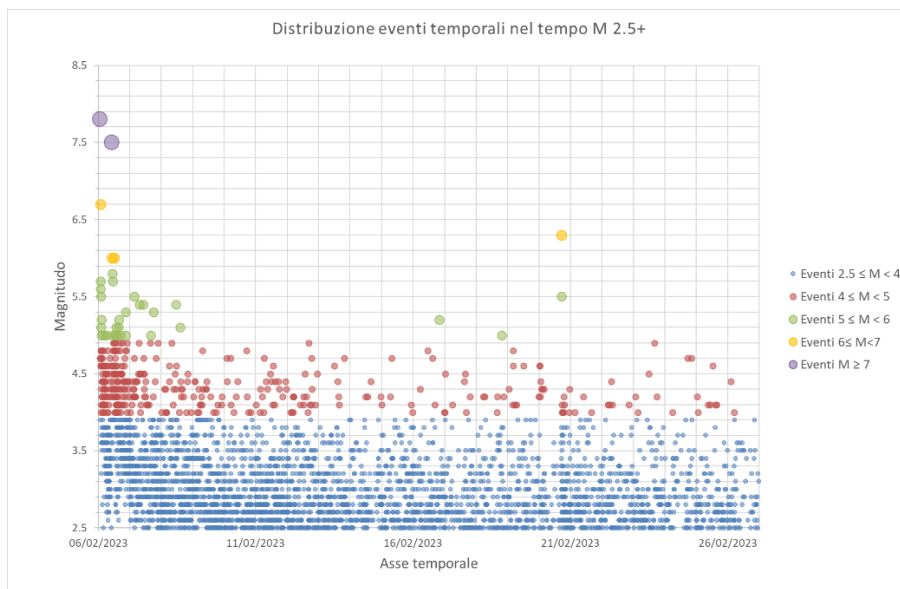


2. Ubicazione epicentri eventi da 06/02/2023 al 27/02/2023 - fonte dati <https://www.emsc-csem.org>, elaborazione degli autori.

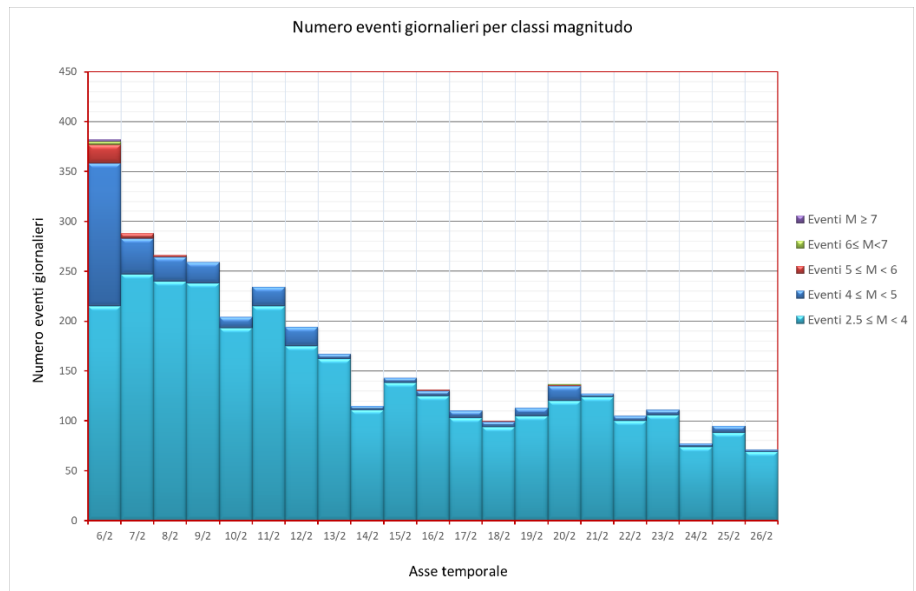
Di seguito, i grafici delle figure 3, 4 e 5 illustrano le peculiarità relative all'inviluppo degli eventi registrati dopo la scossa principale nelle successive 3 settimane. Nei grafici vengono riportate le peculiarità della sequenza sismica in termini di numero di eventi e magnitudo per i 21 giorni successivi all'evento principale. È da notare come la numerosità dei dati risenta inevitabilmente dell'inviluppo dei due eventi, di magnitudo 7.8 e 7.5 su differenti sistemi di faglia.



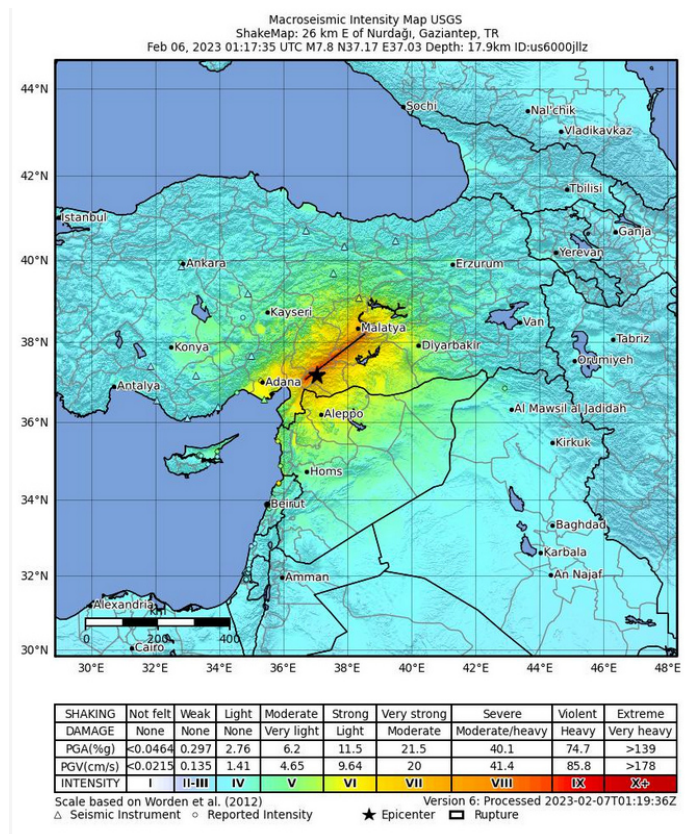
3. Magnitudo massima giornaliera – fonte dati <https://www.emsc-csem.org>, elaborazione degli autori.



4. Evoluzione degli eventi nel tempo - fonte dati <https://www.emsc-csem.org>, elaborazione degli autori.

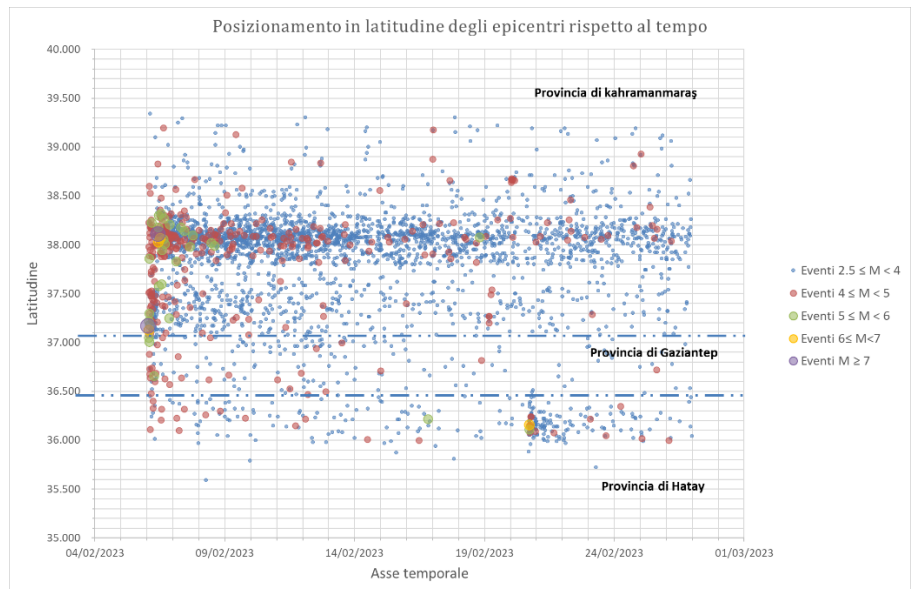


5. Numero di eventi per classi di magnitudo - fonte dati <https://www.emsc-csem.org>, elaborazione degli autori.



6. Mappa di risentimento macrosismico - fonte portale ESM -Engineering Strong Motion Database (<https://esm-db.eu/#/home>).

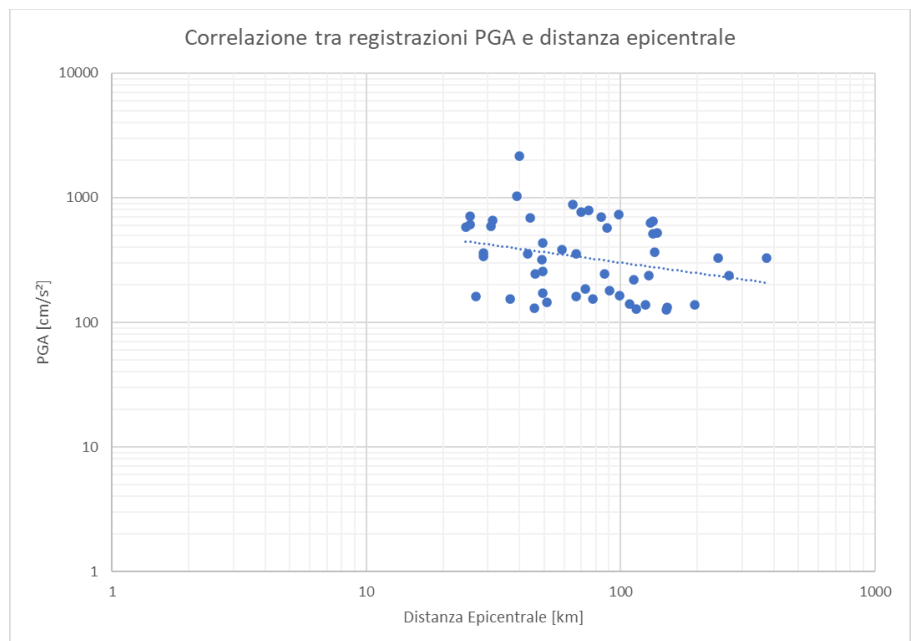
Riportando su un grafico a dispersione la collocazione degli epicentri in relazione alla latitudine (figura 7) , si nota come gli eventi di maggior impatto vadano ad interessare tre provincie e numerosi distretti, con maggior densità nella zona di Kahramanmaraş, ma con estensioni a sud fino a Hatay. L'impatto macrocosmico è stato di notevole effetto. Le autorità stimano oltre 110.000 edifici collassati e oltre 45.000 morti in uno scenario di danno esteso per oltre 400 km.



7. Distribuzione degli eventi per classi di magnitudo e latitudine – fonte dati: portale <https://www.emsc-csem.org>, elaborazione degli autori.

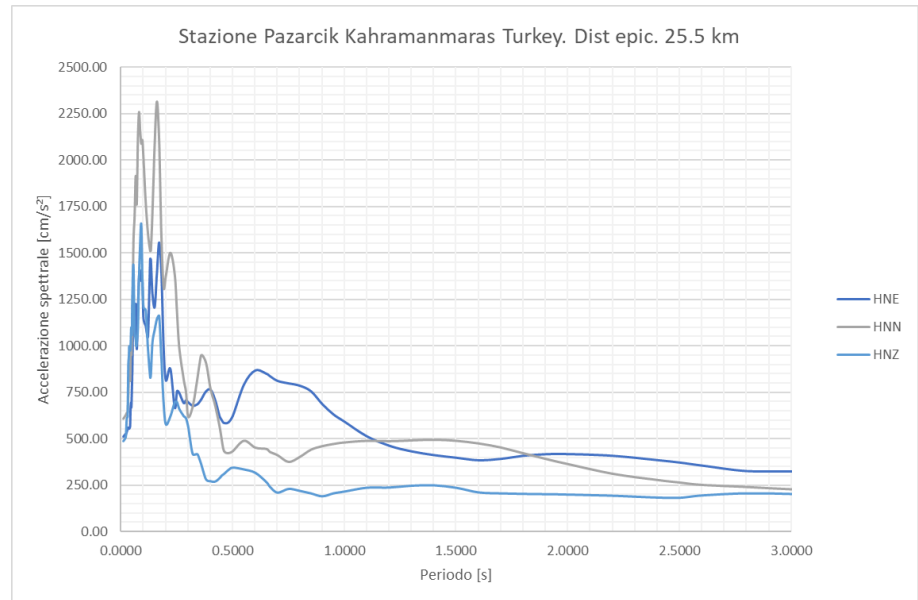
Forme d'onda

In corrispondenza dell'evento di Mw 7.8 il portale ESM -Engineering Strong Motion Database (<https://esm-db.eu/#/home>) ha raccolto 349 registrazioni dalle quali è possibile ricavare i dati elaborati lungo le tre direzioni principali e determinare le peculiarità dell'azione sismica in termini di accelerazione, velocità e spostamento spettrali. Riportando i dati a disposizione in ordine decrescente per valori di PGA (in cm/s^2) e impostando una relazione tra distanza epicentrale e accelerazioni si ottiene una possibile relazione tra l'attenuazione della PGA e la distanza, dato che dimostra come l'attenuazione del moto sismico, anche a distanze epicentrali rilevanti e superiori ai 100 km, determini comunque accelerazioni medie dell'ordine dei 300 cm/s^2 , molto vicine, come si vedrà in seguito, ai valori previsti dalla norma sismica turca per zone ad alta pericolosità e probabilità di non superamento del 10% in 50 anni.

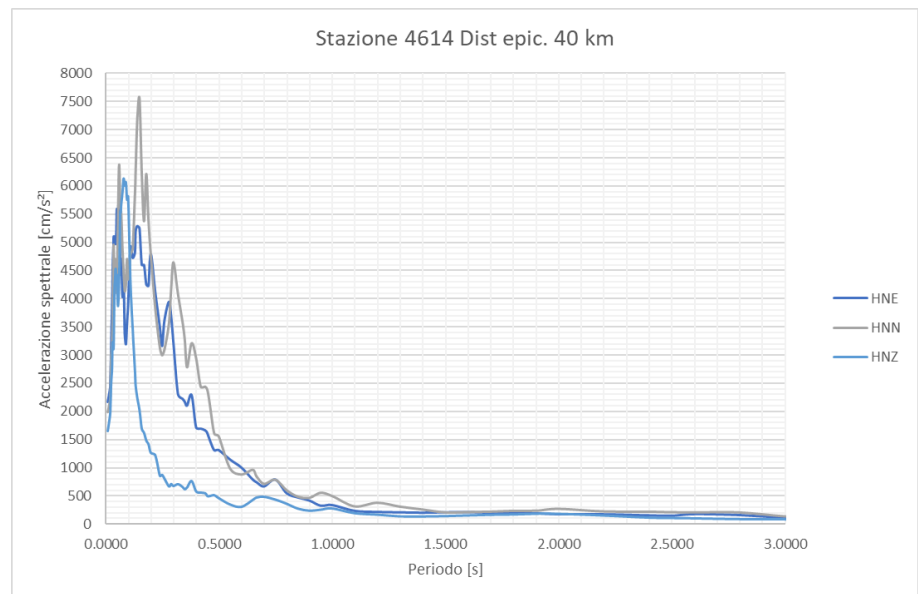


8. Valori di PGA (in cm/s^2) e distanza delle registrazioni evento Mw 7.8 del 06/02/2023 – fonte dati: portale ESM -Engineering Strong Motion Database, elaborazione degli autori.

A titolo di esempio si riportano nelle figure 9 e 10 le forme d'onda relative a due particolari records. Sono state riprese le registrazioni della stazione di Kahramanmaras in quanto più vicina all'epicentro (distanza di circa 25 km) e la stazione della rete turca TK 4614 (distanza epicentrale pari a circa 40 km) che risulta quella con i maggiori valori di PGA e di accelerazione.



9. Registrazioni spettrali stazione di Kahramanmaras. HNE East component; HNN North component; HNZ Vertical component - fonte dati: portale ESM -Engineering Strong Motion Database, elaborazione degli autori.



10. Registrazioni spettrali stazione TK 4614. HNE East component; HNN North component; HNZ Vertical component - fonte dati: portale ESM -Engineering Strong Motion Database, elaborazione degli autori.

Equazioni di attenuazione

Per la valutazione degli effetti delle componenti del moto sismico e relative forme spettrali in relazione alla distanza epicentrale, la letteratura tecnica fornisce una serie di funzioni empiriche basate sulle peculiarità tettoniche e la natura sismogenetica del sito.

Le equazioni di attenuazione legate alla sismicità del territorio turco possono essere dedotte dallo studio di P. Gülkan e E. Kalkan [3] che determinarono i parametri mediante analisi di regressione a partire dal modello proposto da Boore et al nel 1997 [4].

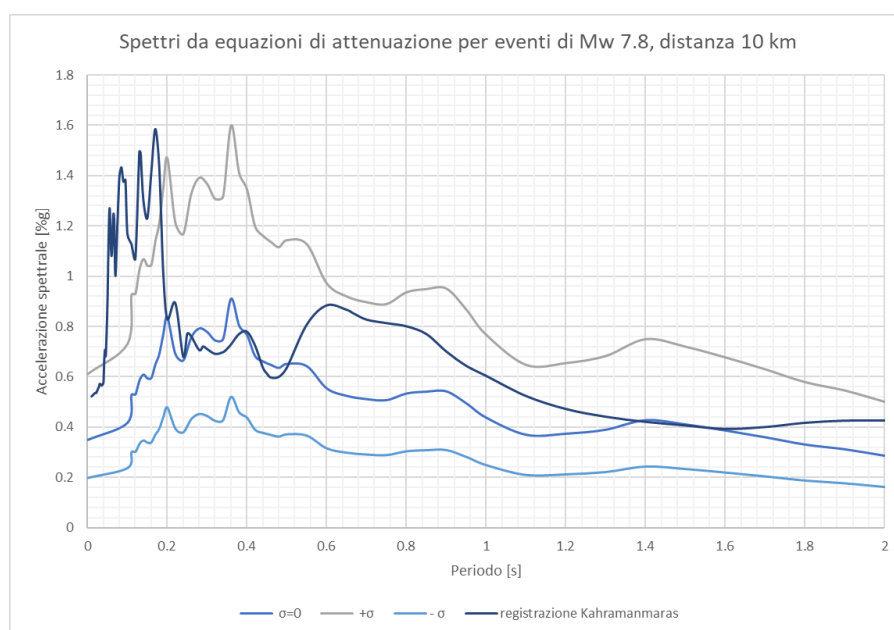
L'equazione generale di attenuazione proposta da Boore sul modello californiano è piuttosto complessa e dipende da diversi parametri:

$$\ln(Y) = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_v \ln\left(\frac{V_S}{V_A}\right) \pm \sigma$$

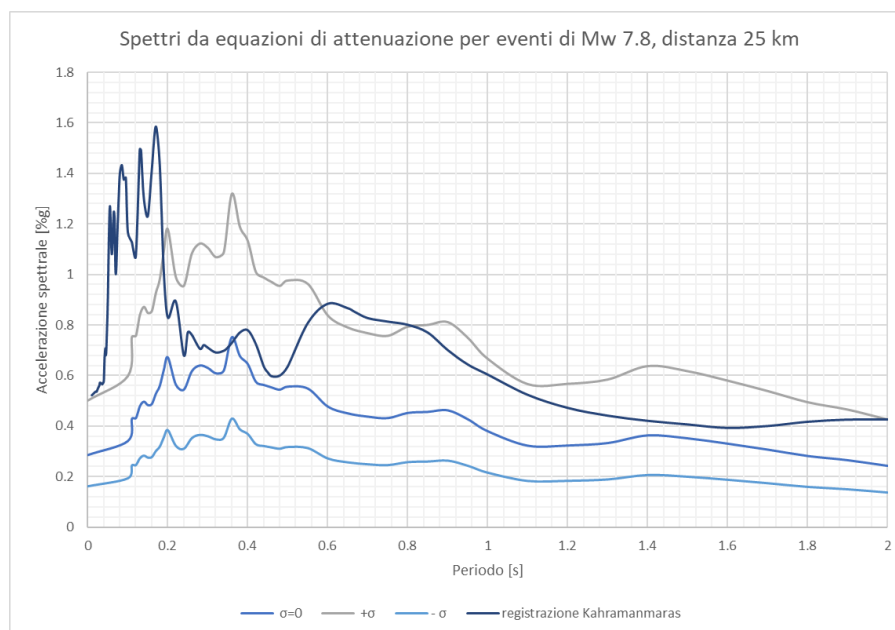
Lo studio di Gülkan e Kalkan attraverso una analisi del *"Turkish strong motion data"* per eventi di moderata e severa entità, ha consentito la determinazione dei parametri delle equazioni di attenuazione b_1 , b_2 , b_3 , b_5 , b_v , V_A , e della deviazione standard σ . Le equazioni di attenuazione, per ogni coppia di variabili indipendenti r (funzione della distanza epicentrale) e M , individuano valori di PGA e relative accelerazioni spettrali, all'interno di un range di variabilità definito da σ .

Lo studio ha permesso lo sviluppo in Turchia di un aggiornamento della mappa di pericolosità sismica, pubblicato nel 2018. Si nota come nelle equazioni gli effetti di sito contribuiscano direttamente mediante il valore della velocità delle onde di taglio V_s . La trattazione teorica sviluppata da Gülkan e Kalkan identifica la validità delle equazioni di attenuazione per eventi di magnitudo M_w compresa tra 5 e 7.5. Per ciascuna distanza si riportano tre curve

Si riportano a titolo di esempio, gli spettri ottenuti mediante le equazioni di attenuazione sopra descritte per l'evento di magnitudo 7.8 del 06/02/2023, con distanze epicentrali pari rispettivamente a 10 e 25 km (figure 11 e 12). Le curve vengono sovrapposte con le forme d'onda spettrali della registrazione di Kahramanmaras.



11. Accelerazioni spettrali ottenute da equazioni di attenuazione per magnitudo 7.8, distanza 10 km.



12. Accelerazioni spettrali per magnitudo 7.8, distanza 25 km.

Al di là dei valori di picco, è interessante notare come le curve presentino una forma che si amplifica su intervalli di periodo compresi tra 0.2 e 0.4 s, mentre le registrazioni degli eventi indicano picchi su periodi inferiori a 0.2 s. Nei paragrafi che seguono si approfondirà l'evoluzione della definizione degli spettri di risposta secondo gli ultimi aggiornamenti della Normativa Turca.

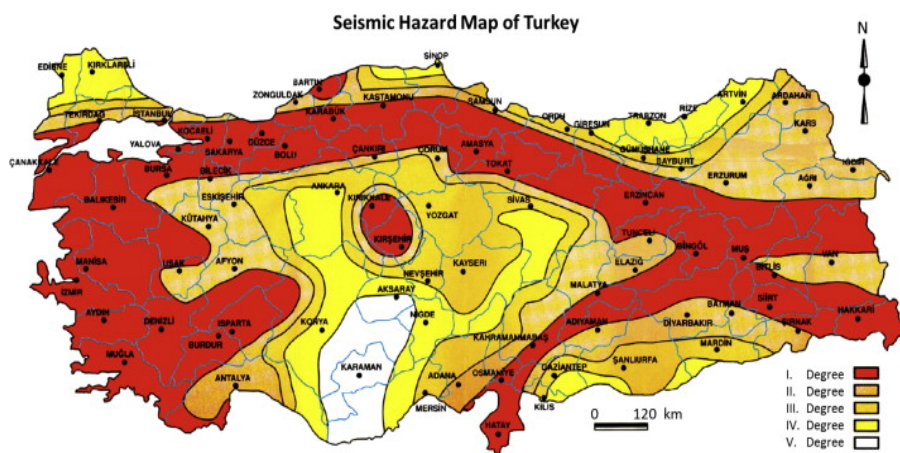
Evoluzione della normativa sismica in Turchia

Gli studi relativi alla zonazione sismica della Turchia iniziarono dopo il terremoto di Erzican del 26 dicembre 1939, considerato tra i più violenti eventi della storia sismica della Turchia. La pubblicazione della prima mappa sismica risale al 1945 [5]. Diversi aggiornamenti delle mappe sismiche vennero redatti nel 1947, 1963, 1972, 1996 e 2019. Nel 2012 è stata istituita da AFAD (Earthquake Humanitarian Aid Campaign - Autorità turca per la gestione delle emergenze e dei disastri naturali, supportato dal Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department) una commissione permanente per la revisione e lo sviluppo della normativa sismica con un programma di aggiornamento continuo. Grazie a tale commissione si è giunti alla redazione nel 2018 della nuova mappa di pericolosità sismica del paese in vigore oggi. Le precedenti mappe erano basate su una valutazione regionale di carattere amministrativo della pericolosità, mentre lo studio del 2018, si basa sui cataloghi dei terremoti turchi gestiti da un modello matematico probabilistico di moderna concezione e su una maggiore differenziazione degli spettri di risposta con amplificazioni diversificate, funzione del sito, dell'accelerazione sismica di base e della categoria del terreno.

Per quanto riguarda gli ultimi aggiornamenti della Normativa Tecnica, nel 2007 è stato emanato lo "Specification for Buildings to be Built in Seismic Zone" [6] (di seguito TEC2007), sostituito nel 2018 con l'aggiornamento "TBEC2018". Sia il TEC2007 che il TBCE2018 sono nati come documenti cogenti, con l'obbligo di applicazione sia per le nuove strutture sia per gli interventi sulle strutture esistenti. È ragionevole ipotizzare che se una percentuale significativa del costruito turco possa essere stata realizzata o migliorata ai sensi del TEC2007, e che siano pochi gli edifici realizzati utilizzando il TBEC 2018 vista la recente emanazione. Si analizzeranno di seguito le peculiarità di entrambe le norme sismiche in relazione alla valutazione delle

azioni sismiche di progetto.

Il TEC2007 prevedeva l'identificazione di 4 zone sismiche a pericolosità decrescente rispetto alle quali veniva definito il coefficiente di accelerazione del suolo A_0 , pari a 0.4g per la zona 1 a maggiore pericolosità e 0.1g per la zona 4; con valori intermedi (0.3g e 0.2g) per le restanti zone sismiche. Veniva definita anche una zona 5 con valori di A_0 inferiore a 0.1g.



13. Mappa di pericolosità sismica della Turchia secondo TEC2007 fonte Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years.

Gli spettri di progetto secondo TEC2007 sono forniti dalla relazione:

$$S_{de}(T) = A_0 I S(T)$$

Con

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A}; \text{ (con } 0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5; \text{ (con } T_A < T \leq T_B)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8}; \text{ (con } T_B < T)$$

Il parametro "I" definisce il fattore di importanza in relazione alla destinazione d'uso (4 categorie) ed è variabile da 1.5 per le opere di prima categoria (ospedali e edifici altamente strategici) ad 1, per gli edifici ordinari. Le scuole sono classificate come edifici di seconda categoria con coefficiente I pari a 1.4. Con l'aggiornamento della normativa del 2018 le scuole sono state equiparate a edifici altamente strategici, con $I=1.5$.

I valori dei periodi caratteristici T_A e T_B dipendono dalle peculiarità del sito, classificato secondo quattro tipologie, dalla Z1 alla Z4 identificate secondo le tabelle 6.1 e 6.2 TEC2007 riportate in seguito.

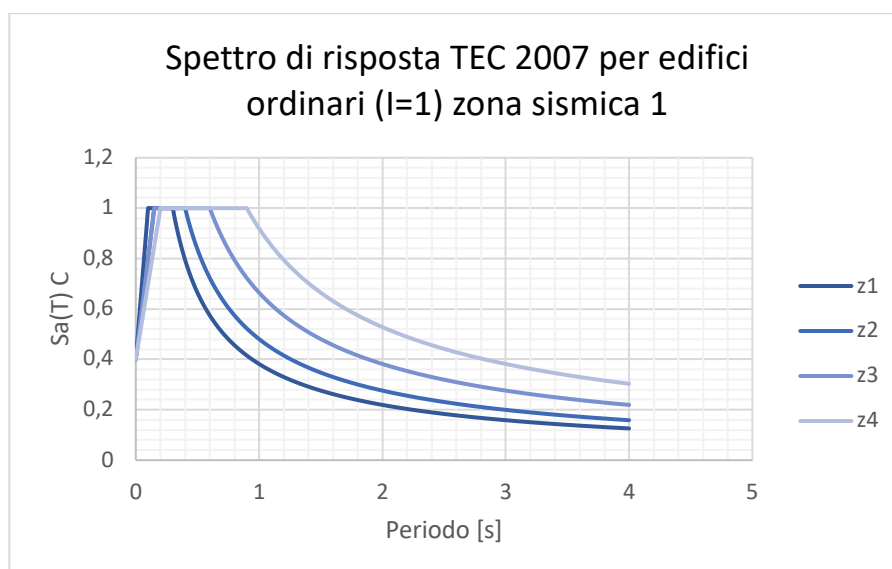
14. Tabella 6.1 "Soil Groups" TEC2007

Soil Group	Description of Soil Group	Stand. Penetr. (N/30)	Relative Density (%)	Unconf. Compres. Strength (kPa)	Shear Wave Velocity (m/s)
(A)	1. Massive volcanic rocks, unweathered sound metamorphic rocks, stiff cemented sedimentary rocks 2. Very dense sand, gravel... 3. Hard clay, silty lay.....	— > 50 > 32	— 85–100 —	> 1000 — > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Soft volcanic rocks such as tuff and agglomerate, weathered cemented sedimentary rocks with planes of discontinuity..... 2. Dense sand, gravel..... 3. Very stiff clay, silty clay..	— 30–50 16–32	— 65–85 —	500–1000 — 200–400	700–1000 400–700 300–700
(C)	1. Highly weathered soft metamorphic rocks and cemented sedimentary rocks with planes of discontinuity 2. Medium dense sand and gravel..... 3. Stiff clay, silty clay.....	— 10–30 8–16	— 35–65 —	< 500 — 100–200	400–700 200–400 200–300
(D)	1. Soft, deep alluvial layers with high water table..... 2. Loose sand..... 3. Soft clay, silty clay.....	— < 10 < 8	— < 35 —	— — < 100	< 200 < 200 < 200

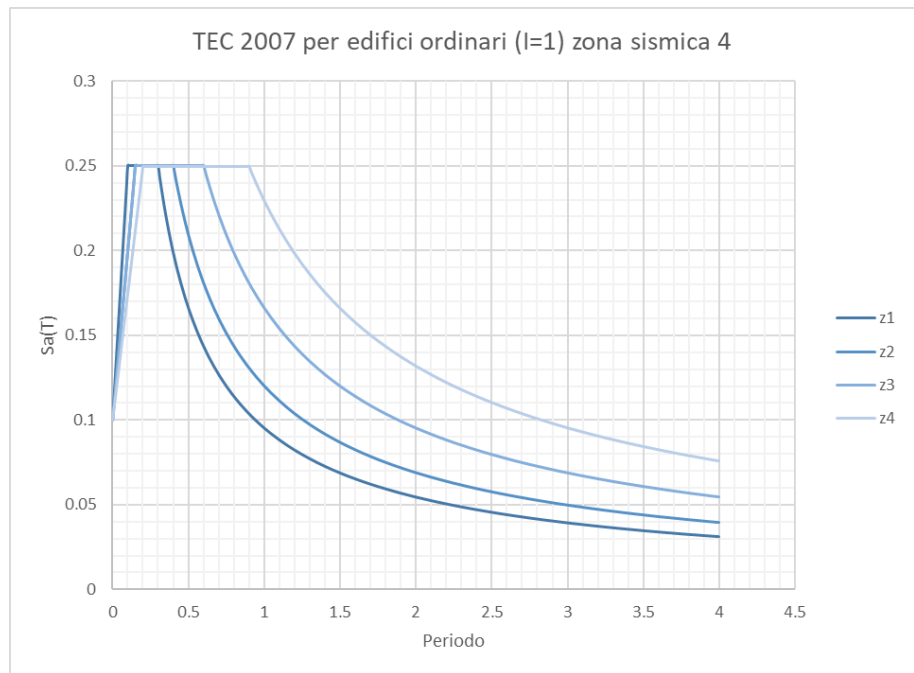
15. Tabella 6.2 "Local Site Classes" TEC2007

Local Site Class	Soil Group according to Table 6.1 and Topmost Layer Thickness (h_1)
Z1	Group (A) soils Group (B) soils with $h_1 \leq 15$ m
Z2	Group (B) soils with $h_1 > 15$ m Group (C) soils with $h_1 \leq 15$ m
Z3	Group (C) soils with $15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m Group (D) soils with $h_1 \leq 10$ m
Z4	Group (C) soils with $h_1 > 50$ m Group (D) soils with $h_1 > 10$ m

Sulla base dei valori riportati, si possono determinare gli spettri relativi alle quattro zone sismiche per le quattro categorie di sito previste dalla norma. Si riportano nelle figure 16 e 17 le rappresentazioni delle forme spettrali relative alla zona sismica di maggiore pericolosità e alla zona sismica 4.



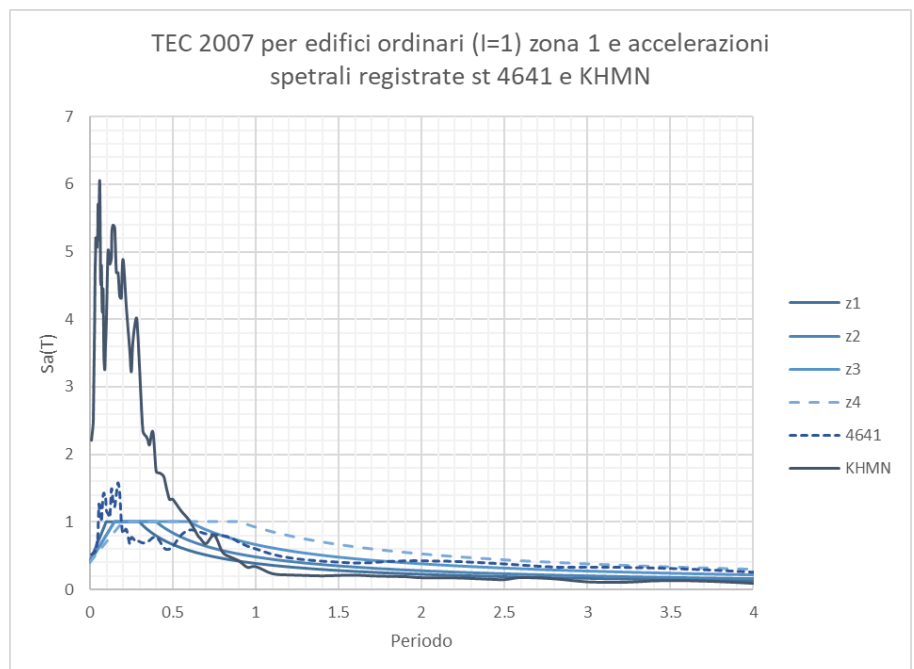
16. TEC 2007 spettri di risposta per la zona sismica 1 secondo le 4 caratterizzazioni di sito – elaborazione degli autori.



17. TEC 2007 spettri di risposta per la zona sismica 4 – *elaborazione degli autori.*

La caratterizzazione di sito per il TEC2007 influisce sulle forme spettrali unicamente nella definizione dei valori dei periodi caratteristici T_A e T_B , che a loro volta determinano le ascisse del tratto orizzontale delle curve, rimanendo i valori massimali dello spettro i medesimi per tutte le tipologie di suolo.

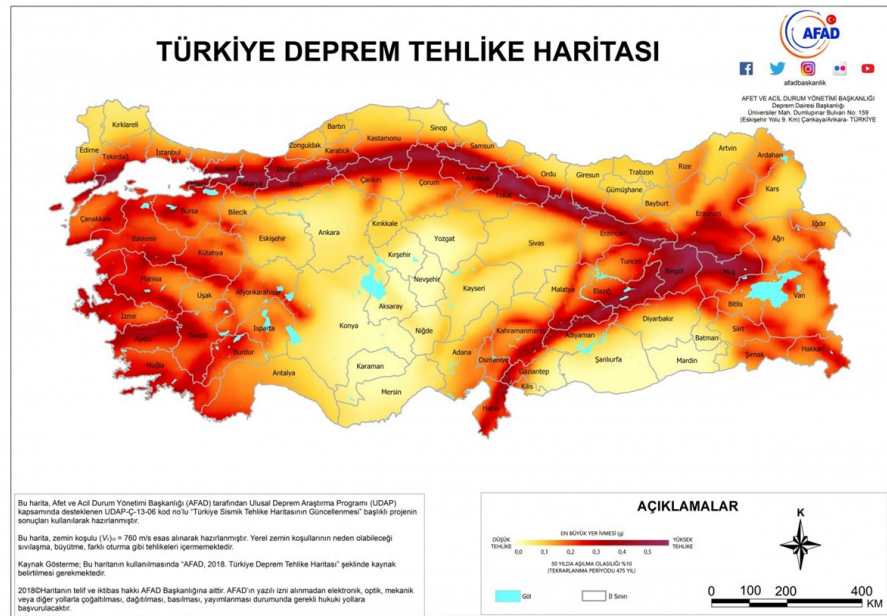
Sovrapponendo gli spettri TEC2007 con i valori derivanti dalle registrazioni delle stazioni rispettivamente a maggiore PGA (stazione TK 4641) e a minore distanza epicentrale (Stazione KHMN) - posizionati rispettivamente a 40 e 25 km dall'epicentro dell'evento principale della sequenza e catalogati entrambi come siti di categoria B ai sensi dell'Eurocodice 8- è interessante notare come la costruzione degli spettri di progetto non colga in modo adeguato i picchi delle accelerazioni spettrali.



18. Sovrapposizione spettri TEC 2007 e registrazioni stazione TK 4641 e stazione KHMN *elaborazione degli autori.*

L'aggiornamento della normativa sismica (Turkish Building Earthquake Code 2018 [7]) entrato in vigore nel 2019 ha consentito la redazione di mappe di pericolosità sismica più dettagliate e di caratterizzare in modo più raffinato gli spettri associati alla definizione delle azioni sismiche di progetto.

La mappa di pericolosità sismica proposta da AFAD (figura 19) individua le zone a massima pericolosità sismica con valori di a_g pari a 0.6 per probabilità di non superamento del 10% in 50 anni ($T_r=475$ anni). I parametri che caratterizzano gli spettri di risposta dipendono dai valori di a_g (definito come S_s) e dalle peculiarità di sito.



19. Mappa di pericolosità sismica del territorio turco ai sensi TBEC 2018 (Republic of Turkey, Prime Ministry Disaster and Emergency Management Presidency, AFAD).

A differenza della norma del 2007, gli effetti di sito, definiti per altro con un maggior dettaglio, determinano non solo i valori dei periodi caratteristici, ma influenzano i valori delle PGA e dell'accelerazione massime spettrali.

Nel testo del TBEC 2018 l'equazione $S_{ae}(T)$ degli spettri di progetto è definita nel modo che segue:

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS}; \quad (\text{con } 0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS}; \quad (\text{con } T_A < T \leq T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}; \quad (\text{con } T_B < T \leq T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}; \quad (\text{con } T > T_L)$$

Dove S_{DS} e S_{D1} sono i coefficienti di accelerazione spettrale pari rispettivamente a:

$$S_{DS} = S_s F_s$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

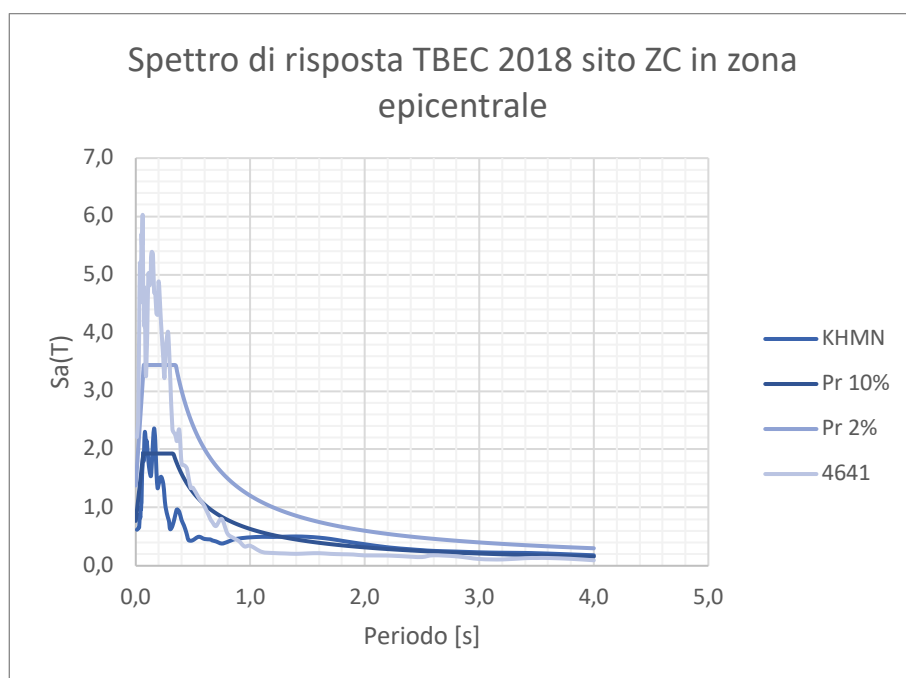
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

La mappa di rischio sismico turca, consultabile da un sito internet interattivo ma accessibile solo a tecnici autorizzati dal governo, fornisce per ogni sito i valori di PGA, PGV, S_s e S_1 secondo quattro differenti probabilità di non superamento in 50 anni (2%, 10%, 50% e 68%).

I valori F_s e F_1 sono correlati alle caratteristiche di sito, definito nel nuovo aggiornamento normativo in cinque categorie, dalla Z_a alla Z_e (a sostituzione delle Z_1 - Z_4 del TEC2007 definite in fig 15) con ulteriori sottocategorie. Si tratta di coefficienti variabili tra 0.8 per i terreni di roccia dura a valori dipendenti a loro volta dai coefficienti S_s e S_1 . Gli spettri a massima amplificazione si identificano per la sotto categoria ZC . L'introduzione di nuovi coefficienti rispetto a quanto esposto per il TEC2007 consente una caratterizzazione puntuale e raffinata delle peculiarità del sito e una più corretta valutazione della amplificazione locale, ora non più legata unicamente ai periodi T ma anche agli incrementi delle ordinate spettrali.

Andando a sovrapporre gli spettri di registrazione delle stazioni TK 4641 e KHMN con le forme spettrali di progetto ai sensi del TBEC2018, definiti per probabilità di non superamento del 10% e del 2% in 50 anni e per un sito ad alta pericolosità per terreni di tipo ZC è possibile individuare come di fatto la recente normativa sismica colga le peculiarità del moto sismico in modo adeguato per quanto concerne gli effetti di amplificazione locale (figura20).

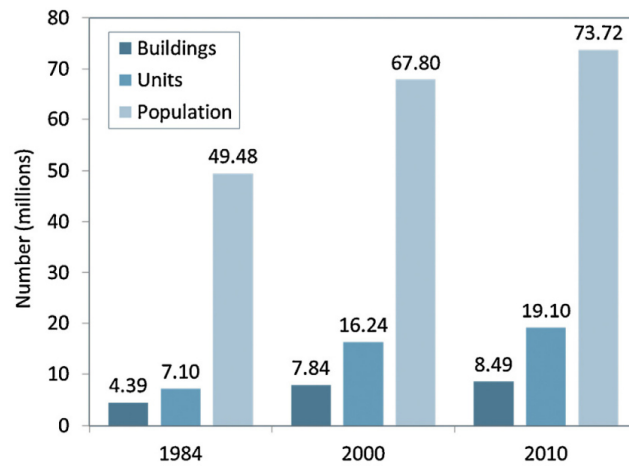


20. Sovrapposizione spettri TBEC 2018 e registrazioni stazioni 4641 e KHMN elaborazione degli autori.

Caratteristiche del costruito in Turchia

Un'interessante analisi delle peculiarità del costruito in territorio turco è fornita dalla ricerca "Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years" a cura di O. Gunes dell'Istanbul Technical University [8]. La ricerca, appoggiandosi sui dati forniti da un censimento del Turkish Statistical Institute (TUIC) del 2011 analizza l'evoluzione del costruito turco, sia in relazione alle tipologie edilizie principali sia in relazione al numero di edifici.

La ricerca identifica cinque tipologie di edifici. Dagli organismi più semplici databili prima del 1960/1970, agli edifici fino a cinque piani realizzati negli anni 70/80 ai palazzi con più di sei piani realizzati negli ultimi 20 anni.



21. Evoluzione del costruito turco, sia in relazione alle tipologie edilizie principali sia in relazione al numero di edifici.



22. Caratteristiche del costruito in Turchia, *fonte source: Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Infrastructure and Urban Transformation Services, CSB-AKDHGM.*

La distribuzione numerica delle tipologie sul totale del costruito è fortemente correlata allo sviluppo recente dei grandi centri urbani densamente popolati che hanno spinto le scelte urbanistiche verso la realizzazione di edifici multipiano.

Attualizzando per estrapolazione il dato al 2020 è possibile ipotizzare che in Turchia ci siano oltre 9 milioni di edifici, di questi per la maggior parte costruiti prima del 1985 e solo una parte residuale realizzata in epoca più recente. A fronte della Normativa Tecnica attualmente vigente nel paese, ben strutturata e moderna appare chiaro che la realtà del costruito turco, ad esclusione dei quartieri più moderni delle grandi città, presenti una vetustà diffusa.

Un'inchiesta della BBC curata da Jake Horton e William Armstrong pubblicata sul sito il 9 febbraio 2023 [9] ha riportato ampia documentazione sulle peculiarità di molti degli edifici crollati o grandemente lesionati. L'inchiesta parte da una buona documentazione fotografica relativa a edifici di recente e recentissima costruzione che hanno subito danneggiamenti pesanti in seguito all'evento del 06 febbraio.

Si citano ad esempio, tra gli edifici crollati di nuova costruzione il Guclu Bahce ad Antakya, inaugurato nel 2019, un ampio complesso immobiliare di Malatya, e un edificio di Iskenderun. I fabbricati sono stati pubblicizzati dalle società costruttrici nei documenti di vendita degli appartamenti come edifici ad alto livello di sicurezza sismica e realizzati con materiale ad alta prestazione. La recente costruzione fa supporre che essi potrebbero essere stati realizzati ai sensi del TBEC 2018.

È da sottolineare inoltre come il governo turco negli ultimi decenni abbia consentito diversi condoni per edifici realizzati senza certificazione della sicurezza sismica. Si valuta infatti che nella zona di cratere degli eventi del 6 febbraio, ben 75.000 edifici siano stati oggetto di condono e siano di fatto privi di adeguata certificazione di sicurezza. L'articolo cita inoltre un dato del Environment and Urbanisation Ministry secondo cui almeno il 50% del patrimonio immobiliare dell'intera Turchia risulta essere stato realizzato in violazione delle normative sismiche, o perché vetusto o per dolo.

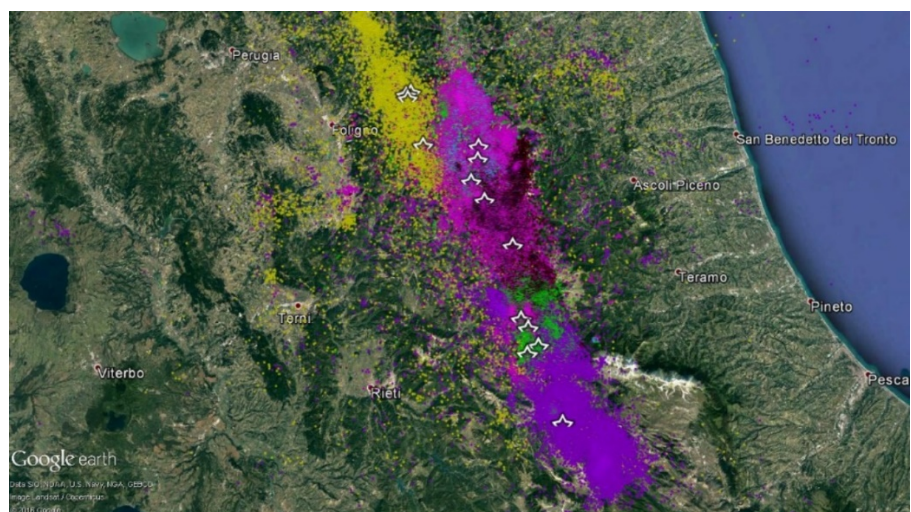
Confronto con la sismicità Italiana

Nei giorni successivi all'evento sono state molteplici le testate giornalistiche che hanno effettuato confronti tra gli eventi in Turchia e la sismicità italiana domandando a diversi esperti se fosse possibile che eventi di tale natura e portata potessero verificarsi anche in Italia.

Va sottolineato che le peculiarità di un evento sismico sono in primis definiti dalla Magnitudo momento e dal rilascio di energia, ma ciò che caratterizza la sismicità di un territorio è fortemente correlato al meccanismo focale al tipo di fagliazione e alla lunghezza delle superfici di rottura.

Di fatto in Italia l'evento storico a maggior magnitudo riportato nel Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani [10] CPTA15 V4.0 è il terremoto del 1693 sulla costa orientale della Sicilia, di magnitudo stimata compresa tra 7.5 e 7.7. In epoca più recente è degno di nota il terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908 di Magnitudo 7.5. È da notare che comunque scorrendo il catalogo si trovano in oltre mille anni di storia sismica "solamente" nove eventi di magnitudo maggior e/o uguale a 7, accadimento molto più tipico della sismicità della faglia anatolica.

L'evento del 6 febbraio in Turchia ha attivato un piano di rottura esteso ben 300 km. Mettendo insieme tutti gli eventi registrati in Italia dal 1997 al 2017, nello specifico gli eventi di Marche e Umbria del 1997 (dots gialli nella figura 23), terremoto dell'Aquila del 2009 (dots violetto), sequenze dell'Appennino centrale del 2016 (dots fuxia e bordeaux) e gli eventi dell'aquilano del gennaio 2017 (dots verdi) si ottiene una superficie di rottura globale di circa 170 km, attivata per segmenti in circa 20 anni. In termini pratici quindi anche considerando la somma degli eventi di maggior impatto registrati in Italia in 20 anni in zone ad alta sismicità non si raggiunge l'estensione della superficie fratturata.



23. Epicentri degli eventi in Appennino centrale dal 1997 al 2017 – fonte www.ingv.it, elaborazione degli autori.

Va considerato infine che la peculiarità dell'effetto macrosismico degli eventi è dipendente dalla tipologia del tessuto urbanistico. La densità di popolazione della Turchia è in termini globali molto bassa, ma con enormi differenze tra i le grandi città e vaste aree scarsamente abitate; negli ultimi decenni inoltre è stata importante la crescita dei centri urbani associati allo spopolamento delle zone più rurali e alle correnti migratorie provenienti dai paesi di confine. Nel giro di 20 anni Istanbul ha visto un incremento di abitanti da 8.8 milioni a 13.8 milioni. La città di Gaziantep, molto vicina all'epicentro che nel 2000 contava circa 0.85 milioni di abitanti negli ultimi 20 anni ha visto quasi raddoppiata la propria popolazione con 1.5 milioni di abitanti. È indubbio che l'impatto di un imponente evento sismico su città così popolose, in termini di crolli, edifici danneggiati e vittime presenterà numeri maggiori rispetto allo scenario italiano caratterizzato da poche grandi città e numerosi piccoli e medi centri sparsi nel territorio.

CONCLUSIONI

Appare chiaro come un confronto diretto tra eventi tra la sismicità italiana e quella turca abbia poco senso poiché scenari, peculiarità urbanistiche e condizioni al contorno e peculiarità sismogenetiche sono totalmente differenti. Resta il fatto che l'Italia come la Turchia dispone oggi di una normativa evoluta e di strumenti adeguati per la valutazione del costruito e la progettazione della messa in sicurezza degli edifici. Il reale confronto, dovrebbe esulare dalle peculiarità geofisiche degli eventi ma concentrarsi sull'effettivo livello di sicurezza del paese. Fino a che punto gli edifici strategici sono stati valutati e messi in sicurezza? Fino a che punto i numerosi condoni hanno bypassato la necessità di sicurezza dei fabbricati vetusti? Sarebbe interessante che la chiave del dibattito si sviluppasse su tali argomenti, perché se è vero che i nostri terremoti non sono comparabili con quelli della Turchia, è altrettanto evidente come ad ogni crisi sismica di rilievo, le vittime, i crolli e la perdita di beni architettonici e produttivi siano di enorme impatto, Messina e Reggio Calabria nel 1908, come Amatrice o Visso nel 2016.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

1. Işık, E.; Harirchian, E.; Büyüksaraç, A.; Levent Ekinci, Y. Seismic and Structural Analyses of the Eastern Anatolian Region (Turkey) Using Different Probabilities of Exceedance. *Appl. Syst. Innov.* 2021, 4, 89.
2. Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department (AFAD) -- Ankara, Turkey (DDA) tramite portale EMSC
3. Gülkan, P., Kalkan, E. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology* 6, 397–409 (2002).
4. David M. Boore, William B. Joyner, and Thomas E. Fumal, 1997, Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of recent Work, *Seismological Research Letters*, Vol. 68, No. 1, 128-153.
5. (Işık, Harirchian, Büyüksaraç, & Levent Ekinci, 2021)
6. TEC 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007
7. Disaster & Emergency Management Authority (2018). Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018).
8. Gunes, O. (2015). Turkey's grand challenge: disaster-proof building inventory within 20 years *Case Stud. Constr. Mater.* (2015). *Case Studies in Construction Materials* - vol 2, 18-37
9. <https://www.bbc.com/news/64568826>
10. <https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/>