

# **Studi di Microzonazione Sismica nella Regione Marche**





## INDICE

### 1. Introduzione (Albarelo)

## PARTE PRIMA – La storia ed il contesto normativo

### 2. La microzonazione sismica: un percorso condiviso (Albarelo)

- 2.1 I primordi: il terremoto di Messina del 1908
- 2.2 L’esperienza di altri paesi e prime applicazioni in Italia (1908-1973)
- 2.3 Microzonazioni sismiche nel periodo 1973-1986
- 2.4 Microzonazioni sismiche del periodo 1986-2008
- 2.5 La Microzonazione sismica dal 2009 al 2021
- 2.6 Lo stato dell’arte: problemi e prospettive

### 3. Evoluzione degli studi di MS nelle Marche dagli anni ’80 ad oggi (Stucchi, Facciorusso, Marcellini)

### 4. Inquadramento normativo (Tiberi, Schiaroli, Pacitti)

- 4.1 L’evoluzione della normativa sismica nazionale e regionale
- 4.2 Prevenzione del rischio sismico: l’art. 11 ...
- 4.3 ...- un modello condiviso
- 4.4 SIT per la gestione dei rischi naturali
- 4.5 Prospettive future degli studi di MS nella Regione Marche

## PARTE SECONDA – La microzonazione sismica nelle Marche

### 5. La pericolosità sismica della regione Marche

- 5.1 Assetto geologico e sismotettonico (Farabollini)
- 5.2 Sismicità (Castelli e Marzorati)
  - 5.2.1 La sismicità storica
  - 5.2.2 La sismicità strumentale
  - 5.2.3 Sismicità storica e storie sismiche
- 5.3 Pericolosità sismica (Marzorati)

### 6. Gli studi di microzonazione sismica nella Regione Marche

- 6.1 Percorso metodologico per la realizzazione degli studi (Albarelo)
- 6.2 Studi di Livello I
  - 6.2.1 Acquisizione delle informazioni pregresse e costruzione della banca dati (Schiaroli, Pacitti)
  - 6.2.2 Il modello geologico in prospettiva sismica (Pieruccini, Fantozzi) (10pp.)

### 6.3 Studi di Livello II

6.3.1 La redazione degli abachi regionali (Albarelo)

6.3.2 La caratterizzazione geotecnica (Madiai)

6.3.3 Procedura per la realizzazione degli studi (Albarelo)

### 6.4 Studi di Livello III

6.4.1 Metodologie per gli studi avanzati (Madiai)

## **7. Applicazione della MS per la ricostruzione a seguito della sequenza sismica (2016-2017)**

7.1 Le attività di microzonazione: una corsa contro il tempo (Albarelo)

7.2 L'implementazione degli studi di MS nella politica di ricostruzione (Farabollini)

## **PARTE TERZA – Verso il futuro della MS nelle Marche**

### **8. Dalla microzonazione sismica al parametro Hsm (Schiaroli, Pacitti)**

8.1 Introduzione

8.2 I dati

8.3 Metodologie

8.4 Risultati

8.5 Modalità applicative

8.6 Un esempio di applicazione nella Regione Marche

8.7 Conclusioni

### **9. Le Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza delle Marche (Tiberi et al.)**

9.1 Definizione e finalità delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)

9.2 Riferimenti normativi

9.3 Le analisi di CLE nella Regione Marche

9.4 Criticità e prospettive

## **PARTE QUARTA – Casi di Studio**

### **10. Esempi applicativi (Professionisti, Pacitti, ecc.) (64 pp.)**

10.1 Esempio studio MS1

10.2 Esempio studio MS

10.3 Esempio studio MS3

10.4 Esempio studio CLE

### **.. Bibliografia Generale**

#### **Appendici**

- a. Abachi Stratigrafici
- b. Abachi topografici

#### **Allegati (su CD)**

Pubblicazioni varie del Centro MS, DPC e Regione Marche (ICMS, Protocolli Italia Centrale, Relazione abachi, ecc.)

Carte di MS dei diversi livelli

## 5.2. **Le Marche tra monitoraggio sismico e sismologia storica**

Il monitoraggio sismico e la ricerca storica sui terremoti rientrano tra le attività che concorrono a migliorare la conoscenza della sismicità e del rischio sismico del territorio.

Il contributo marchigiano al monitoraggio sismico e agli studi sismologici è frutto di sinergie tra enti di ricerca nazionali e locali e istituzioni regionali iniziate nel 1973 quando il CNR di Milano installò la rete sismologica dell'Anconetano (Ferraris et al. 1975), da cui nel 1979 sarebbe nata, presso l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, la Rete Sismica Marchigiana. Il rapporto si sviluppa anche sotto gli auspici del Gruppo di Lavoro *Catalogo dei Terremoti* del Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (PFG/CNR) e prosegue nell'ultimo decennio del Novecento con la gestione scientifica del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti del CNR (GNDT/CNR)<sup>1</sup>. Dal 2000 la gestione passa all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), l'ente italiano di ricerca deputato al monitoraggio sismico, che come componente del Servizio nazionale di protezione civile (D.L. 29 settembre 1999, n. 381, Art. 2 comma 2) svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale e di coordinamento delle reti sismiche regionali (D.L. 1999/381, Art.2 comma 1c).

Nella Regione Marche, il monitoraggio sismico è stato potenziato e si sviluppa tramite la convenzione stipulata a partire dall'accordo quadro del 2002 tra Regione Marche e INGV (Deliberazione di Giunta Regionale n. 1447 del 2/08/2002) con lo scopo di disporre di puntuali informazioni circa l'attività sismica del territorio e promuovere attività inerenti al rischio sismico. A tal fine, è stata realizzata una sede INGV all'interno dell'attuale Centro Funzionale Multirischi (CF) del servizio di protezione civile (SPC) regionale (Decreto del Presidente della Giunta Regionale n° 41 del 01/02/2005), dotata di una sala di monitoraggio dove vengono accentrati i dati di più di 100 stazioni di monitoraggio distribuite nell'area dell'Italia centro-orientale. Tale rete di monitoraggio è il risultato dell'integrazione delle reti regionali all'interno del sistema di monitoraggio composto principalmente dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV (INGV Seismological Data Centre, 2006), avvenuta grazie alla condivisione delle risorse tra i due enti nell'ormai ventennale rapporto convenzionale.

L'interpretazione della sismicità, la caratterizzazione sismica del territorio e lo sviluppo di tecniche per la risposta rapida ai terremoti orientata alla protezione civile costituiscono le attività preponderanti che permettono il supporto tecnico-

<sup>1</sup> Insieme all'Istituto per la Geofisica della Litosfera (IGL) del CNR di Milano, poi Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico (IRRS) e all'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata,

□

scientifico dell'INGV all'interno del CF del SPC regionale. Durante l'accadimento di sequenze sismiche, vengono fornite informazioni dettagliate sull'evoluzione del fenomeno e la valutazione dell'impatto dell'evento sul territorio regionale, producendo scenari che indicano la severità dell'evento e le dimensioni dell'area colpita, oltre che il possibile effetto sugli edifici strategici e rilevanti. Tale cooperazione permette di evitare dispendiose duplicazioni di attività e lo sviluppo di progetti comuni volti a promuovere la divulgazione del rischio sismico regionale, la preparazione e la resilienza ai terremoti da parte di operatori e popolazione.

Nel settore degli studi di sismologia storica le Marche sono state il banco di prova di metodologie di ricerca oggi di uso corrente in Italia e all'estero. Nell'ultimo quarantennio sono state svolte approfondite ricerche negli archivi delle principali magistrature preunitarie marchigiane<sup>2</sup>, in numerosi archivi storici comunali e in alcuni archivi storici diocesani. Sono state inoltre studiate le grandi collezioni di fonti medievali a stampa, la storiografia locale e fonti storiche seriali inedite (Camassi e Castelli, 2007; Castelli et al. 1989; Castelli, 1997; Castelli e Camassi, 2007; Castelli, 2011). Infine sono state censite le tracce materiali e immateriali (immagini, epigrafi, riti e devozioni) lasciate dai terremoti nel territorio e nella memoria collettiva delle Marche. L'ingente base di dati raccolti ha permesso di rivedere la sismicità di riferimento per aree specifiche delle Marche e regioni limitrofe<sup>3</sup>, di studiare in dettaglio i terremoti più importanti (Castelli et al. 1997; Castelli et al. 2000; di ricostruire scenari di danno storici per alcune località (Capponi, 1992; Castelli et al. 2000 Monachesi, 2001; Monachesi et al. 2016) e di riscoprire molti terremoti storici finora "sconosciuti" (Camassi et al. 2011).

Non va poi dimenticato il contributo marchigiano alle iniziative di informazione, formazione e divulgazione sul terremoto rivolte alla cittadinanza. L'importanza strategica di questo tema divenne evidente per la prima volta, proprio nelle Marche, durante la contesa che oppose opinione pubblica e "scienziati" nel 1972, in

---

<sup>2</sup> Fondi archivistici della Legazione apostolica di Urbino (conservato presso l'Archivio di Stato di Pesaro e relativo all'attuale provincia di Pesaro e Urbino e a parte della provincia di Perugia nel periodo 1631-1808); del Governo generale della Marca (conservato presso l'Archivio di Stato di Macerata e relativo a un territorio comprendente l'attuale provincia di Macerata e parte di quelle di Ancona e Fermo); della Sacra Congregazione del Buon Governo (conservato presso l'Archivio di Stato di Roma e relativo all'amministrazione dello Stato pontificio tra fine Cinquecento e prima metà dell'Ottocento, nonché alla gestione dei maggiori terremoti umbro-marchigiani del Sei-Settecento).

<sup>3</sup> Comuni di Ancona, Cerreto d'Esi, Esanatoglia, Gubbio e Serra San Quirico; Appennino umbro-marchigiano; Regione Abruzzo.

merito alla pretesa responsabilità delle trivellazioni avviate dall'ENI in Adriatico nello scatenamento dei terremoti anconetani di quell'anno (Caracciolo e Castelli 2016). Le attività didattiche iniziarono con un opuscolo dedicato alla storia sismica di Ancona (Rossi e Stucchi 1982) e proseguirono con le iniziative dedicate dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata che dal 1991 al 1999, in collaborazione con il GNDT/CNR e con le Regioni Marche, Abruzzo e Toscana progettò e realizzò diverse campagne multimediali di informazione e preparazione al terremoto (Porto San Giorgio, 1991; Camerino, 1992; Celano, 1994; Guardiagrele, 1995; Garfagnana, 1998; Lunigiana, 1999). A livello nazionale tra i principali prodotti di questa attività ci sono il Corso audiovisivo e il volume *Che cosa sono i terremoti e come possiamo difenderci* (Ferraris et al. 1984). Dal 2006 le attività di formazione e informazione afferiscono al progetto INGV-DPC *EDUrisk\_Itinerari per la riduzione del rischio*<sup>4</sup>.

Il patrimonio di dati storico-sismologici acquisiti nel corso delle ricerche svolte in area umbro-marchigiana<sup>5</sup> ha contribuito alla compilazione dei cataloghi sismici parametrici e relativi database delle intensità macrosismiche fino alla attuale versione CPTI15 e DBMI15 (Rovida et al. 2022; Locati et al. 2022). Nel 2019 è stata creata la piattaforma informatica AMeriGO che mettere a disposizione del pubblico i dati stessi (Monachesi et al. 2019).

### Cenni storici sul monitoraggio sismico nelle Marche

Fino agli anni '80 del Novecento, il monitoraggio sismico avveniva attraverso l'iniziativa di enti di ricerca pubblici o privati tra cui Università, Fondazioni e Musei, i quali realizzavano stazioni di rilevamento e Osservatori locali. La raccolta dei dati avveniva tramite l'utilizzo di strumentazione analogica meccanica e/o elettromeccanica e salvata su supporti di registrazione come carta affumicata e lastre fotografiche.

La documentazione storica fa risalire l'utilizzo di strumentazione sismica nella Regione Marche agli albori della sismologia strumentale, verso la fine dell'Ottocento, quando la strumentazione sismica era installata presso già esistenti osservatori meteorologici. Cenni di queste fonti sono consultabili nella raccolta del

---

<sup>4</sup> Per cui si veda <http://www.edurisk.it>. In quest'ambito sono stati prodotti gli "Speciali Marche" della serie *Terremoti come e perché* (Albarellò et al. 2007; Camassi e Nostro edd. , 2014).

<sup>5</sup> La banca dati AM(eri)Go: un viaggio alla scoperta degli effetti dei terremoti nelle Marche, in cui è possibile consultare attraverso diversi filtri tematici la considerevole mole di informazioni cartacee raccolte nell'archivio della sede di Ancona dell'INGV (Monachesi et al. 2019). AM(eri)Go permette la consultazione dei testi di tutte le fonti finora raccolte su alcuni dei più rilevanti terremoti che hanno interessato il territorio regionale nei secoli, restituendo così ai marchigiani una parte significativa della loro memoria storica.



Progetto Tromos dell'allora Istituto Nazionale di Geofisica (ING) (<http://storing.ingv.it/tromos>). Per il territorio della Regione Marche si trova l'indicazione di 6 Osservatori.

Osservatorio	Località	Data di fondazione	Link progetto Tromos
Osservatorio Valerio	Pesaro	1883	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/103.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/103.htm</a>
Osservatorio Meteorico del Seminario	Fano	1883	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/101.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/101.htm</a>
Osservatorio Meteorologico sismico	Fermo	1876	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/403.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/403.htm</a>
Osservatorio Meteorologico della Regia Università	Camerino	1865	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/301.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/301.htm</a>
Osservatorio Meteorico-Sismico del Collegio Raffaello	Urbino	1850	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/104.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/104.htm</a>
Osservatorio Meteorologico-Sismico Ceramicola	Ancona	1924	<a href="http://storing.ingv.it/tromos/commass/201.htm">http://storing.ingv.it/tromos/commass/201.htm</a>

**Tabella 5.2.1** Osservatori Storici nel territorio della Regione Marche (fonte "Progetto Tromos").

Dopo i devastanti terremoti del Friuli nel 1976 e dell'Irpinia nel 1980, venne dato impulso alla realizzazione della Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC) data in gestione all'ING per creare un'infrastruttura di rete con l'invio dei dati in tempo reale nella sede centrale di Roma.

Nel 1980 erano attive nel territorio della Regione Marche 4 stazioni sismiche gestite da enti diversi, cui si aggiunse alcuni anni dopo la stazione ARV (Arcevia) della RSNC (Pignone e Nardi, 2019). A quei tempi le stazioni di osservazione gestite dall'ING su tutto il territorio nazionale erano 11.

Sigla Stazione	Località	Ente gestore
ALP	Ascoli Piceno	Osservatorio Geofisico di Macerata
ANS	Ancona	Istituto per la geofisica della Litosfera del CNR di Milano
CM1	Camerino	Università di Camerino, istituto di Geologia
PRO	Pesaro	Osservatorio Valerio di Pesaro

**Tabella 5.2.2** Stazioni sismiche e osservatori nel territorio della Regione Marche nel 1980.

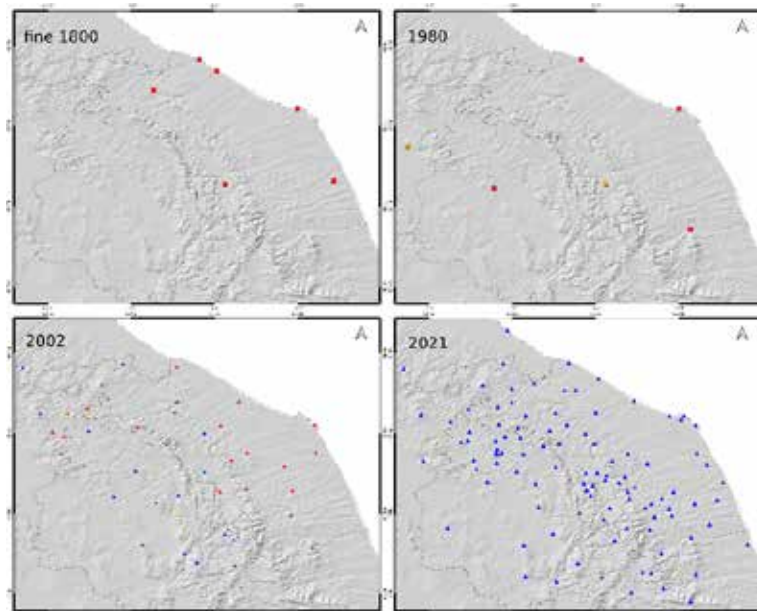
In precedenza, su iniziativa del CNR, prima con il Progetto Finalizzato Geodinamica (PFG) e con l'Istituto per la Geofisica della Litosfera di Milano, poi con il Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, la rete sismologica dell'Anconetano veniva fatta evolvere nella Rete Sismometrica Marchigiana (RSM), ubicata presso l'Osservatorio Geofisico di Macerata per studiare la sismicità regionale.

Gli anni '90 del Novecento segnano il graduale passaggio dalla tecnologia analogica a quella digitale. La RSNC raggiunse la dimensione di circa 100 stazioni sul territorio nazionale, aggiungendo però una sola stazione (FB9, Fossombrone) nel territorio delle Marche. Nel mentre la RSM arriva a contare 16 stazioni sismiche nei primi anni del 2000, in gran parte in registrazione locale su *floppy disk* e in alcuni casi in trasmissione radio VHF (Monachesi et al. 2013).

Con la costituzione dell'INGV, che ha il compito di coordinare le reti regionali, e poi con la creazione della Sede INGV di Ancona, cui viene data in gestione la RSM, inizia la fase più recente del monitoraggio sismico nella Regione Marche, grazie all'impulso dato dalla convenzione tra i due enti. In un decennio le stazioni della RSM vengono prima aggiornate con stazioni *dial up a trigger* e poi dotate di sistemi di trasmissione in tempo reale più efficienti come *router* telefonici GSM e dorsali di telecomunicazione *wireless* WIFI (Monachesi e Cattaneo 2010; Monachesi et al. 2013). Gli avanzamenti tecnologici della RSM e della RSNC permettono la completa integrazione dei dati trasmessi in tempo reale e scambiati tra la Sede di Ancona e la Sede centrale di Roma, le quali vengono interconnesse tramite una linea dedicata (Cattaneo et al. 2011; D'Alema et al. 2011), potenziando notevolmente le capacità di monitoraggio sul territorio. A partire dal 2008, su richiesta del SPC regionale, viene avviata una fase di aumento del numero di punti di rilevamento e di potenziamento del monitoraggio accelerometrico del territorio regionale grazie all'utilizzo di tecnologia MEMS (Monachesi et al. 2013). Dal 2014, sempre su richiesta del SPC regionale, inizia la sperimentazione del monitoraggio accelerometrico di edifici pubblici strategici e rilevanti, usato dopo poco tempo per stimare da remoto l'impatto del terremoto del Centro Italia del 24 agosto 2016 su alcune strutture e che nel 2021 conta circa 20 punti di rilevamento sul territorio regionale (Ladina et al. 2015, 2016, 2021). Oltre che da sensori accelerometrici per la registrazione affidabile di forti terremoti che impattano sul territorio e sulla popolazione, il sistema di monitoraggio è dotato anche di sensori velocimetrici ad alta risoluzione che permettono di rilevare le minime vibrazioni del terreno e aumentare la capacità di rilevamento della rete per monitorare la microsismicità delle aree sismicamente attive (Marzorati e Cattaneo 2016).

Negli ultimi anni, grazie all'acquisizione dei dati digitali in tempo reale e a un elevato numero di punti di rilevamento si è potuto sperimentare analisi automatiche della sismicità (Cattaneo et al. 2017) che consentono di gestire la localizzazione di decine di migliaia di eventi sismici all'anno, di caratterizzare nel dettaglio la sismicità del territorio, di fornire informazioni rapide (dai minuti alle poche decine di minuti) sulla stima dell'impatto degli eventi sismici sulla Regione Marche e di seguire l'evoluzione di sequenze sismiche per mantenere informati gli organi di protezione civile.

La Figura 5.2.1 mostra l'evoluzione del monitoraggio sismico regionale e l'attuale disposizione spaziale degli oltre 100 punti di rilevamento i cui dati vengono accentrati nella Sede di Ancona INGV presso il CF del SPC regionale.



**Figura 5.2.1** *Evoluzione del monitoraggio sismico nelle Marche e nell'Italia centro orientale. In alto a sinistra: osservatori storici a fine del 1800 nelle Marche. In alto a destra: stazioni sismiche nel 1980 (rosso: osservatori; arancio: università). In basso a sinistra: stazioni sismiche nel 2002 (rosso: stazioni regionali; blu: stazioni della RSNC). In basso a destra: rete sismica dell'Italia centro orientale nel 2021.*

### 5.2.1 La sismologia storica: uno studio interdisciplinare

Per difendersi dai terremoti futuri bisogna conoscere quelli passati: di questo si occupa la sismologia. Per i terremoti più recenti lo studio è facilitato dalla disponibilità di dati strumentali e macrosismici, raccolti dalle reti di monitoraggio e dagli esperti che rilevano gli effetti dei terremoti sul campo. Ma in paesi come l'Italia, dove i terremoti più distruttivi possono avere periodi di ritorno dell'ordine di un millennio, non basta studiare i terremoti recenti ma si deve risalire il più possibile indietro nel tempo. Per questo c'è la "sismologia storica", ricerca storica applicata alle scienze della terra, uno studio interdisciplinare svolto da ricercatori di formazione umanistica e geofisica.

Il sismologo storico cerca testimonianze storiche sui terremoti, ne estrae i dati descrittivi utili per ricostruire gli effetti sismici e li traduce in gradi d'intensità

macrosismica osservata<sup>6</sup> che vengono usati in più modi. In primo luogo se ne ricavano i parametri identificativi di ogni terremoto<sup>7</sup> che servono per compilare e aggiornare il catalogo sismico, uno degli strumenti necessari per valutare la pericolosità e il rischio sismico del territorio di riferimento. Il catalogo sismico italiano è ricchissimo: la prima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Gruppo di Lavoro CPTI 1999) risale fino al 217 a.C. Le versioni successive hanno adottato un arco cronologico più ristretto ma più atto a garantire la complessiva omogeneità dei dati: l'attuale catalogo CPTI15 versione 4.0 (2022) copre il periodo tra il 1000 d.C. e il 2019 e l'intero territorio italiano più alcune aree limitrofe terrestri e marine, includendo 4860 terremoti con intensità massima  $\geq V$  MCS o magnitudo strumentale  $M_w \geq 4.0$  (o leggermente più bassa per i terremoti delle regioni vulcaniche).

I dati d'intensità osservata servono anche a ricostruire le "storie sismiche locali", cioè la raccolta di tutte le intensità osservate in una località nel periodo coperto dal catalogo. La storia sismica ci dà una immagine indicativa del massimo livello di effetti sismici che - in base a quanto osservato in passato - ci si può attendere in futuro nella stessa località.

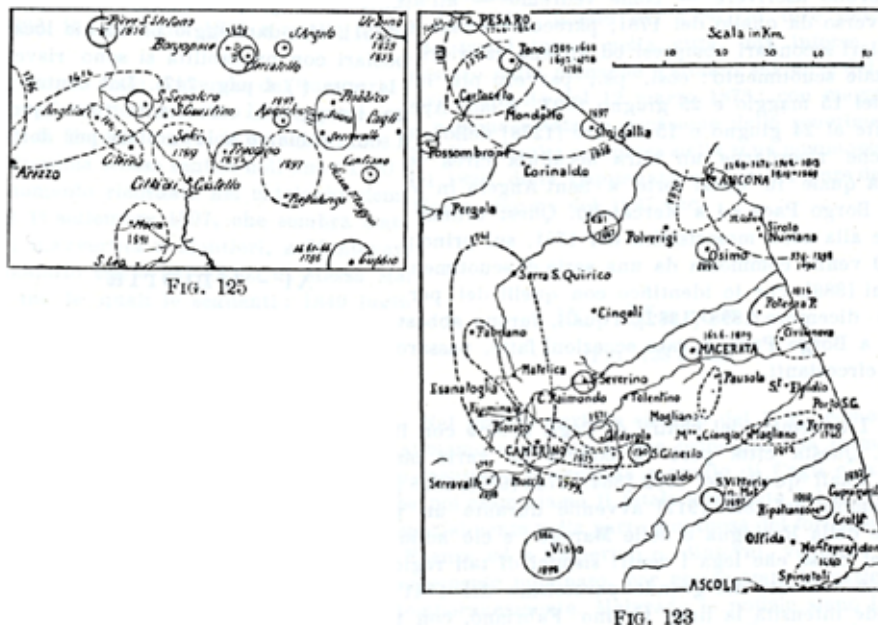
Le origini della sismologia storica italiana possono essere fatte risalire alla sequenza di fortissimi terremoti che colpì l'Italia meridionale nel dicembre 1456 e al trattato *De Terraemotu* composto l'anno dopo dall'umanista Giannozzo Manetti, segretario del re di Napoli. Oltre a descrivere gli effetti della sequenza sulla base di fonti ufficiali e a dare un sunto delle teorie scientifiche correnti sull'origine del fenomeno, Manetti riportava un elenco dei maggiori terremoti avvenuti in Italia, Europa e nel bacino mediterraneo dal Mille in poi. Il suo esempio fu seguito, nei secoli seguenti, da innumerevoli eruditi e curiosi che raccolsero notizie sui terremoti vissuti in prima persona e sui loro precedenti storici. La tradizione italiana della compilazione di studi cronologico-descrittivi di terremoti su base locale, regionale, nazionale e persino mondiale<sup>8</sup> culminava nel 1901 con *I terremoti d'Italia* del geografo Mario Baratta, comprendente una *Cronistoria documentata* formata da schede descrittive di 1336 terremoti italiani dall'anno 0 d.C. al 1898 (Baratta 1901). Opera monumentale, destinata a divenire una fonte prioritaria dei primi cataloghi sismici parametrici italiani e che ancora oggi - al netto di inevitabili errori e lacune - è uno strumento utile per i sismologi storici. La Figura 5.2.2

<sup>6</sup> Il Database macrosismico italiano DBMI15, versione 4.0 (Locati et al. 2022), contiene 123981 dati d'intensità macrosismica basati su osservazioni di effetti sismici relative a 15343 località italiane e a 3229 terremoti verificatisi nel territorio nazionale e in aree limitrofe tra il 1000 d.C. e il 2021.

<sup>7</sup> Data e ora, coordinate epicentrali, intensità massima e magnitudo (calcolata, in assenza di registrazioni strumentali, con una apposita formula matematica).

<sup>8</sup> Il trattato *Terra tremante: ovvero, continuatione de' terremoti dalla creatione del mondo sino al tempo presente* (Bonito, 1691) riporta migliaia di terremoti avvenuti dalla creazione del mondo al 1690 in tutto il mondo allora conosciuto, "Indie", Cina, e Giappone compresi.

mostra la sismicità storica marchigiana come rappresentata da Baratta.



**Figura 5.2.2** *La sismicità storica marchigiana secondo Baratta (1901).*

La pubblicazione del lavoro di Baratta segnò l’inizio di una lunga stasi nella ricerca storica sui terremoti italiani. L’interesse fu ridestato, nell’ultimo quarto del Novecento, dalle iniziative per la compilazione dei primi cataloghi sismici parametrici<sup>9</sup>, avviate dal Comitato Nazionale per l’Energia Nucleare (CNEN, oggi ENEA) e in seguito dall’Ente Nazionale per l’Energia Elettrica (ENEL) e dal Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (PFG/CNR). La fusione critica di tutti i cataloghi parametrici prodotti in quest’ambito portò, nel 1985 alla pubblicazione da parte del PFG/CNR del *Catalogo dei terremoti dall’anno 1000 al 1980* (Postpischl ed., 1985) che ancora oggi resta lo strumento più completo disponibile al pubblico.

In quel periodo le ricerche storiche per il miglioramento dei dati macrosismici ebbero un notevole impulso, grazie a iniziative promosse dall’ENEL nell’ambito di uno studio di fattibilità per la selezione di siti in cui impiantare centrali nucleari (1983-1987) e da altri enti (ENEA, ING, PFG/CNR) in periodi e nell’ambito di progetti regionali o nazionali diversi. Nell’ultimo decennio del Novecento il GNDT/CNR, nell’ambito del “Progetto Pericolosità” per la produzione di cataloghi parametrici orientati alla valutazione della pericolosità sismica (Stucchi, 1991) avviava il censimento e la valutazione critica del vastissimo bacino di conoscenze risultante dal complesso di studi di sismologia storica prodotti dopo la

<sup>9</sup> Formati cioè non da descrizioni dei terremoti ma da stringhe di parametri rappresentativi di ciascuno di essi.

pubblicazione del catalogo PFG, allo scopo di selezionare i dati di base da utilizzare. Inoltre il GNDT avviava anche nuove ricerche storico-sismologiche su terremoti di elevata energia ma privi di dati di base o con dati di base di scarsa qualità e su terremoti di energia medio-bassa, presi in considerazione nell'ambito della definizione dei limiti delle zone sismogenetiche. Ne sono scaturiti la banca dati macrosismici DOM4.1 (Monachesi e Stucchi 1998), il catalogo sismico NT4.1 (Camassi e Stucchi 1998) e il primo *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* (Gruppo di Lavoro CPTI 1999) la cui versione 2004 ha contribuito alla redazione della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale allegata all'Ordinanza PCM 3519 28/04/2006<sup>10</sup>.

Oggi buona parte dei sismologi storici italiani opera nell'ambito dell'INGV, lo stesso ente che gestisce gli aggiornamenti di CFTI, CPTI, DBMI e prosegue l'attività di censimento degli studi avviata nell'ultimo decennio del Novecento dal GNDT/CNR, aggiornando costantemente la collezione di studi storico-sismologici sui terremoti italiani dell'Archivio Macrosismico Italiano (ASMI) (Rovida et al. 2017). Negli ultimi trent'anni la sismologia storica italiana ha avuto anche importanti ricadute internazionali. L'Italia – che insieme alla Grecia, è la nazione europea dalla sismicità più rilevante - ha avuto un ruolo guida negli studi sismologici comunitari, compresi quelli di sismologia storica<sup>11</sup>, e nella creazione (2013) della piattaforma informatica paneuropea AHEAD *European Archive of Historical Earthquake Data* (Albini et al. 2013), che supporta le ricerche di sismologia storica rendendo disponibili cataloghi, banche dati macrosismici e studi sulla sismicità storica europea del periodo 1000-1899.

## 5.2.2 La sismicità strumentale

Considerando l'arco temporale degli ultimi 50 anni, la sismicità delle Marche è diffusa in due principali settori. Uno interno, lungo la catena appenninica, con frequenti scosse che danno origine a sequenze sismiche caratterizzate da terremoti principali di magnitudo da moderata a forte, e uno mediano-esterno, fino ed oltre la fascia costiera, caratterizzato da una minor pericolosità ma in vicinanza di città e centri urbani maggiormente popolati.

Dopo lo sciame sismico localizzato nei pressi di Ancona nel 1972, che causò danni alla città e mise a dura prova la popolazione per le scosse ripetute a distanza di

<sup>10</sup> Ordinanza PCM 3519 28/04/2006 Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone).

<sup>11</sup> Progetti RHISE Review of Historical Seismicity in Europe per lo studio di grandi terremoti di confine (1988-1992), BEECD A Basic European Catalogue and a Database for the evaluation of long-term seismicity and seismic hazard (1994-1997), NERIES (2006-2010) e SHEEC Share European Earthquake Catalogue (2009-2012)

mesi, le Marche hanno risentito gli effetti delle sequenze sismiche del 1979 (Valnerina) e del 1984 (Umbria settentrionale) e soprattutto di quelle del 1997 (Umbria-Marche) e del 2018 (Centro Italia) (Fig. 5.2.2). Il terremoto di 30 ottobre 2016 ( $M_w$  6.5), localizzato lungo il sistema di faglie del Monte Vettore, è risultato il maggiore degli ultimi 40 anni dopo il terremoto del 1980 in Irpinia.

Oggi, grazie ai sistemi di monitoraggio sismico operanti in Italia centro orientale, è possibile dettagliare l'attività sismica che insiste sul territorio regionale. La Fig. 5.2.3. mostra la sismicità del periodo 2010-2021 e le aree sismicamente attive che hanno rilasciato circa 304.000 eventi di magnitudo compresa da 2.0 a 6.5.

Gran parte di questi eventi non è risentita dalla popolazione ma è rilevata solo dai sensori sismici di elevata sensibilità. In questo modo è possibile monitorare l'evolversi dei fenomeni come le sequenze, gli sciami o la microsismicità di fondo. I colori visualizzati nella mappa rappresentano le fasce di profondità degli eventi; le due sezioni illustrano come la sismicità si sviluppa nel volume crostale al di sotto del territorio.

In generale, lungo la dorsale appenninica, nella Zona Interna, c'è un continuo rilascio di energia sotto forma di eventi sismici nella crosta superficiale (profondità < 15 km), in buona parte associata al sistema di faglie normali che corre lungo l'Appennino (Chiarabba et al. 2005; De Luca et al. 2009; Cattaneo et al. 2017). In alcuni momenti, la costante sismicità di fondo subisce delle accelerazioni a causa della rottura improvvisa di intere porzioni di faglia che rilasciano un'enorme quantità di energia in pochi secondi, per poi essere seguite da una moltitudine di repliche che dura per anni. Infatti, al confine meridionale tra Marche e Umbria è possibile vedere la sismicità sprigionata dalle contigue sequenze del 1997 e del 2016 che, con differenti tassi di sismicità vista la differenza nel tempo, sono tutt'oggi attive.

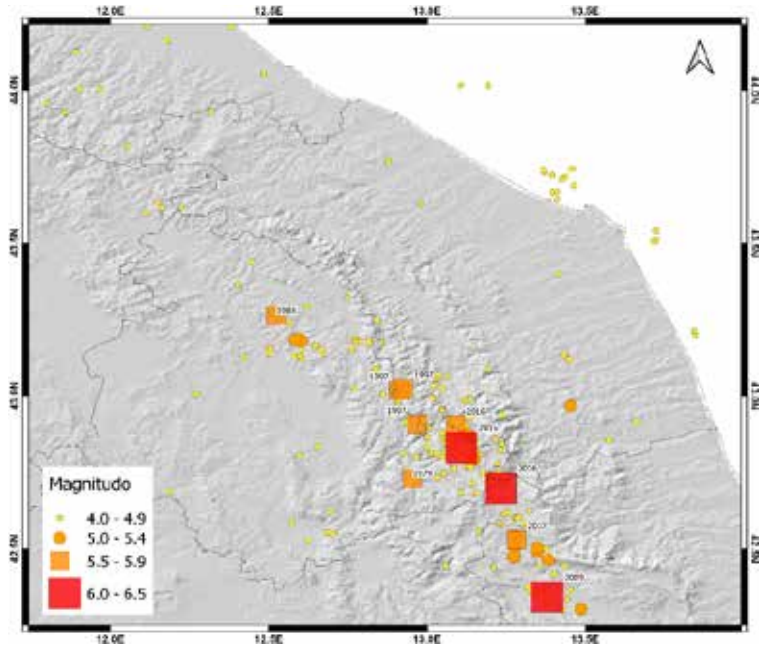
In prima approssimazione, a scala regionale, la sismicità lungo la fascia appenninica è controllata dalle caratteristiche reologiche della crosta, determinate in gran parte dai flussi di calore, e avviene nella porzione fragile della crosta al di sopra di quella duttile asismica. A scala più locale, la presenza di importanti strutture crostali può modificare la distribuzione della sismicità e la litologia può diventare un fattore determinante nell'accadimento di forti terremoti correlati a sequenze sismiche. Infatti, è stato osservato che i maggiori terremoti dell'area non accadono semplicemente alla base della transizione fragile-duttile, ma enucleano alla base di coperture sedimentarie carbonatiche e/o evaporitiche triassiche, rocce propense a sviluppare instabilità nella frizione lungo i piani di faglia (Chiaraluce et al. 2017). Inoltre, la circolazione di fluidi ha un ruolo nella formazione di sovrappressioni, date dall'intrappolamento negli strati della crosta superiore di gas provenienti da sorgenti profonde e originate da degassamenti del mantello. Le

sovrappressioni negli strati sedimentari favorirebbero la fratturazione della roccia con conseguente rilascio di energia sotto forma di eventi sismici (Miller et al. 2004; Collettini et al. 2006).

La dettagliata sismicità rilevata nella crosta superiore permette di individuare con buona precisione strutture sismotettoniche come quella della Faglia Alto Tiberina (FAT), la quale sottende il territorio nella porzione settentrionale del confine Umbria-Marche tra la zona di Umbertide e Sassoferrato (Barchi et al. 1998; Boncio et al. 2000; Collettini and Barchi, 2002; Chiaraluce et al. 2007). La FAT è una faglia normale a basso angolo est immergente, che si approfondisce dall'Umbria verso le Marche fino ad una profondità di circa 12 km. La FAT guida la deformazione estensionale dell'area, attraverso un comportamento in parte asismico (*creeping*) e in parte caratterizzato da microsismicità, il quale non esclude il passaggio ad un comportamento sismico durante piccoli eventi locali di rottura che possono estendersi alle aree bloccate della faglia (Valoroso et al. 2017). Inoltre, il movimento asismico induce tensioni nella porzione al tetto della faglia, il cui accumulo viene rilasciato attraverso eventi di moderata sismicità come quelli nell'area di Gubbio, lungo faglie normali ovest immergenti, antitetiche alla FAT. La FAT è oggetto di particolareggiati studi attraverso monitoraggi multiparametrici volti alla comprensione della pericolosità di questa struttura (Chiaraluce et al. 2014).

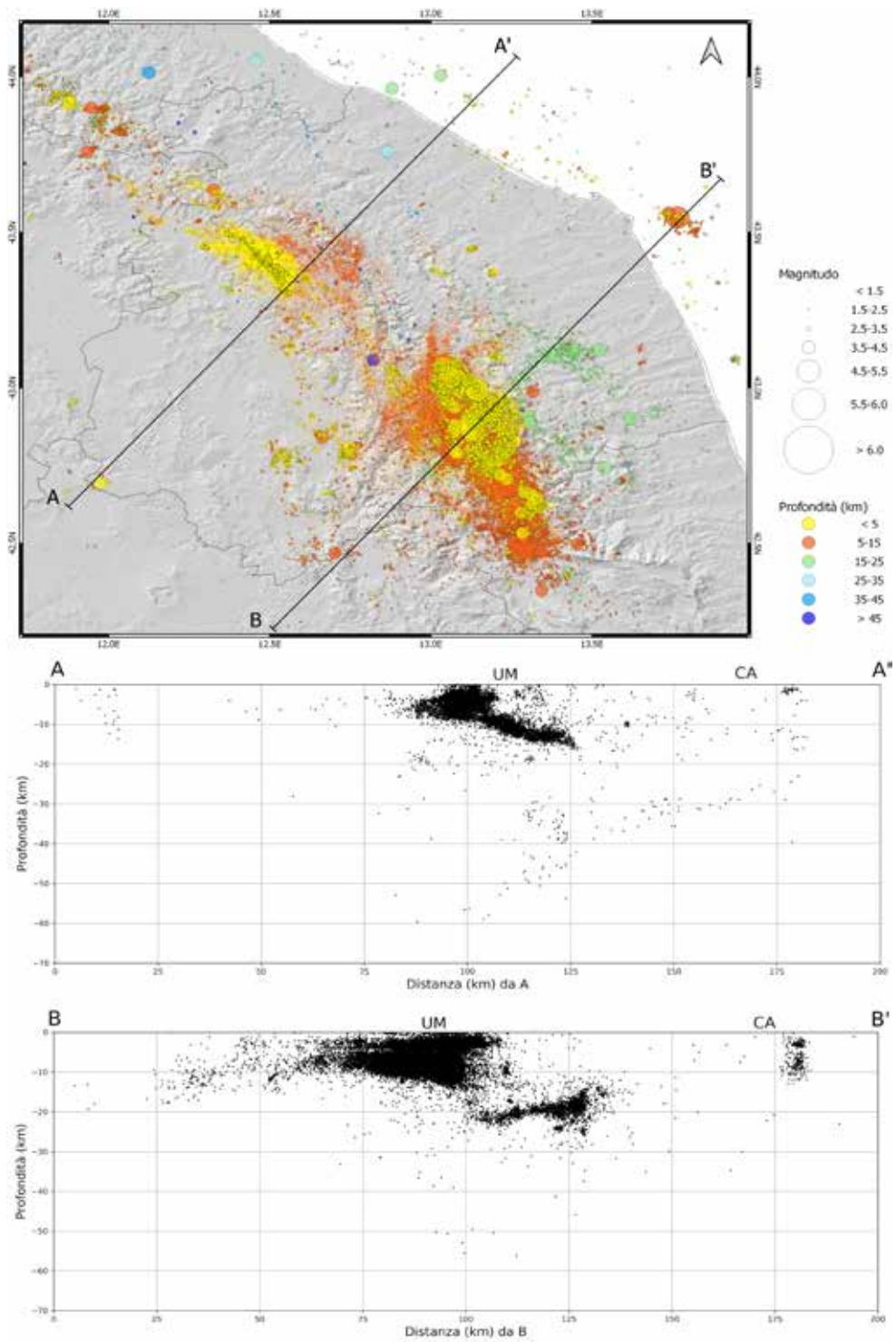
Spostandosi verso est, dalla catena appenninica verso la costa adriatica, si passa da un regime estensionale ad uno compressivo che caratterizza la sismicità della Zona Intermedia (pede-Appennino marchigiano) e della Zona Esterna (periadriatica) (Lavecchia et al. 2003). Lungo la costa si registra la sismicità in parte associata alla testa del fronte compressivo esterno adriatico (detto anche ABT, Adriatic Basal Thrust, de Nardis et al. 2019), dove negli ultimi 50 anni sono state registrate le sequenze di Ancona del 1972, di Porto San Giorgio del 1987 e la più recente a sud est del Monte Conero con un evento di  $M_w$  4.9 del 21 luglio 2013 (Fig. 5.2.3).





**Figura 5.2.3** - Terremoti maggiori nell'Italia centro orientale negli ultimi 50 anni (ISIDe Working Group, 2007; Rovida et al. 2021).

A partire dall'area costiera verso l'interno, l'attività sismica mediamente si approfondisce nella Zona Intermedia tra mar Adriatico e catena appenninica. Mentre nel sud delle Marche la maggior frequenza di eventi viene localizzata a profondità comprese tra i 15 e i 25 km, a nord e nella parte centrale la sismicità è presente anche a profondità maggiori di 25 km, con massimi fino a 60-70 km arrivando sotto la dorsale appenninica (Fig. 5.2.4).

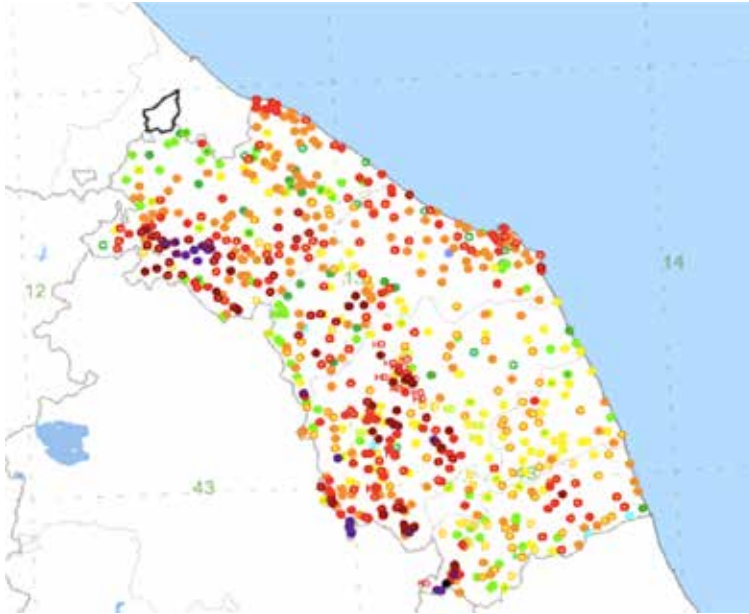


**Figura 5.2.4** - Sismicità recente nelle Marche e nell'Italia centro orientale (Cattaneo et al. 2019; ISIDe Working Group, 2007) dal 2010 al 2021. Pannello in alto: mappa della sismicità e tracce delle sezioni A-A' e B-B'. Pannello intermedio: sezione A-A' della sismicità. Pannello in basso: sezione B-B' della sismicità

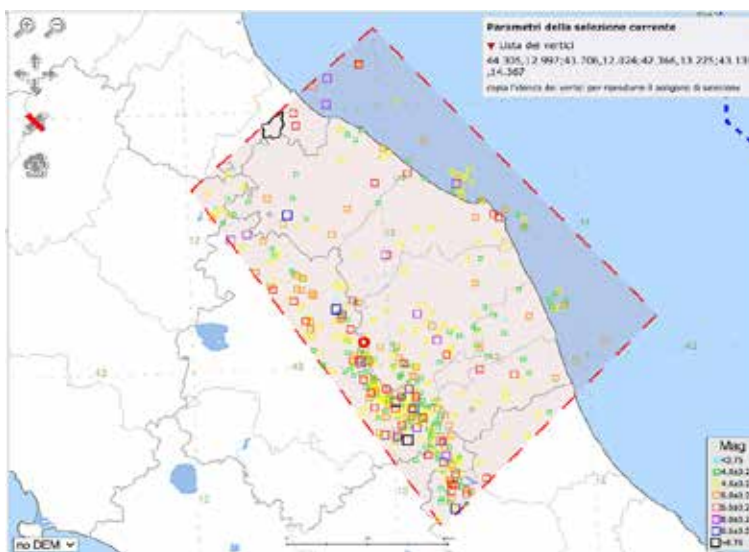
Data l'eterogeneità della distribuzione di sismicità, l'origine sismotettonica di questa attività è ancora dibattuta e può essere riassunta in due interpretazioni. La prima vede la sismicità disporsi lungo piani di faglie inverse appartenenti al sistema di pieghe e sovrascorrimenti che terminano appena al di fuori della fascia costiera (Lavecchia et al. 2003; de Nardis et al. 2019); la seconda interpreta la sismicità più profonda come appartenente ad un piano di subduzione dovuto alla flessione e arretramento di una porzione di litosfera continentale della placca Adria al di sotto degli Appennini (Chiarabba et al. 2005; De Luca et al. 2009; Carannante et al. 2013).

### 5.2.3 Sismicità storica e storie sismiche

Abbiamo definito “sostanziale” il contributo alle conoscenze derivante dalle ricerche svolte nei circa sette lustri passati tra la pubblicazione del catalogo PFG/CNR (1985) e quella del CPTI15 versione 4.0 (2022). Ma in sostanza cosa è cambiato, nelle nostre conoscenze sui terremoti marchigiani tra l'anno Mille e il 1999? In primo luogo è migliorata la qualità delle conoscenze, sono stati approfonditamente studiati i terremoti più significativi; alcuni terremoti ricordati dalla tradizione sismologica sono stati cancellati perché si è scoperto che non erano mai accaduti; altri, ignoti alla tradizione sismologica sono stati riscoperti (Camassi et al. 2011). Inoltre, le conoscenze oggi disponibili hanno basi più solide perché derivano da dati d'intensità osservata ricavati da notizie originali, disponibili, verificabili e migliorabili. I dati d'intensità osservata permettono inoltre di ricostruire un'immagine complessiva degli effetti macrosismici massimi verificatisi nel territorio marchigiano dall'anno Mille in poi (Monachesi, 1990; Locati et al. 2022) (Fig. 5.2.5) e della sismicità marchigiana nel suo complesso (Fig. 5.2.6).



**Figura 5.2.5.** *Distribuzione delle intensità massime osservate nel territorio della Regione Marche (Locati et al. 2022)*



**Figura 5.2.6.** *Sismicità delle Marche e aree limitrofe (Rovida et al. 2022)*

La sismicità storica più rilevante si concentra lungo la dorsale appenninica e la costa settentrionale delle Marche. La zona collinare intermedia è sede di sismicità meno frequente e più debole, con isolati terremoti significativi (1741, 1943). La distribuzione cronologica degli eventi non è uniforme: negli Appennini la maggior concentrazione di terremoti distruttivi avvenne nel Settecento mentre i terremoti più forti della costa settentrionale e delle Marche meridionali sono novecenteschi. Non va inoltre dimenticato che il territorio marchigiano può subire - e storicamente ha subito - danni da terremoti originatisi in Romagna, Umbria, Lazio

e Abruzzo. I terremoti con localizzazione epicentrale nelle Marche o negli immediati dintorni (Appennino umbro-marchigiano, Monti della Laga) elencati nel catalogo CPTI15 4.0 ne elenca 45 con magnitudo  $M_w$  compresa tra 5.0 e 5.9 e 10 con  $M_w$  compresa tra 6.0 e 6.9.

All'estremo nord dell'Appennino marchigiano (Monte Nerone) è localizzato il terremoto del 3 giugno 1781 ( $M_w$  6.5) che fu devastante nell'entroterra della provincia di Pesaro-Urbino. Tra alta Val di Chienti e piana di Colfiorito sono localizzati il terremoto del 30 aprile 1279 ( $M_w$  6.2) e i due eventi maggiori della sequenza del 1997-1998 ( $M_w$  5.7 e 6.0). Sul versante umbro della dorsale appenninica si collocano i terremoti del 17 aprile 1747 ( $M_w$  6.1, Nocera Umbra) e del 26 luglio 1751 ( $M_w$  6.4, Gualdo Tadino) - che causarono gravi danni nel Fabrianese - e quelli del gennaio-febbraio 1703 ( $M_w$  6.9, Valnerina;  $M_w$  6.7, L'Aquila), che causarono devastazioni e molte vittime nell'Arquatano e in alcune località dell'odierna provincia di Ascoli Piceno. I terremoti del 19 settembre 1979 ( $M_w$  5.8, Valnerina) e dell'ottobre 1639 ( $M_w$  6.2, Monti della Laga) ebbero effetti di un certo rilievo nell'entroterra ascolano e fermano.

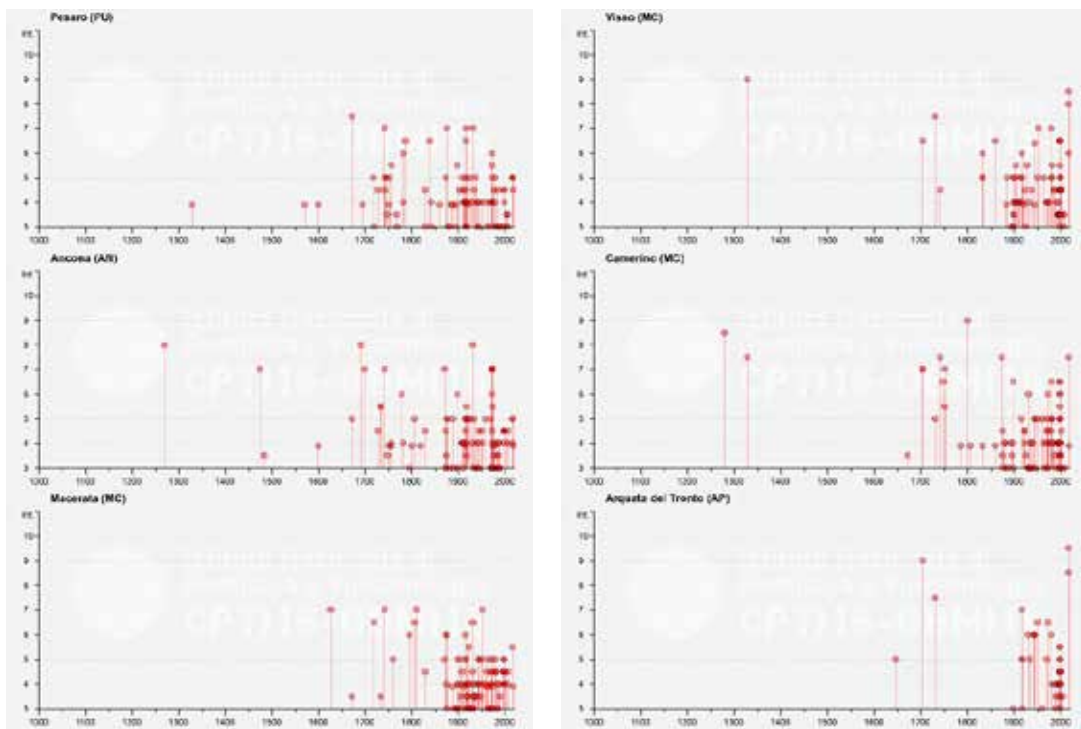
Il massimo terremoto storico localizzato lungo la costa settentrionale è quello del 30 ottobre 1930 ( $M_w$  5.8, Senigallia), che causò danni in un'area estesa da Pesaro a Loreto. Il Pesarese ha subito danni anche a seguito di terremoti romagnoli, come quelli del 14 aprile 1672 e del 17 maggio 1916 ( $M_w$  5.6 e 5.8, Riminese). Nella zona del Conero e al largo di Ancona sono localizzati diversi terremoti con  $M_w$  prossima a 5.0 (1269, 1474, 1690, 1917, 1924 e la sequenza sismica del 1972).

La fascia collinare interna è caratterizzata da attività sismica meno frequente ma a volte significativa: il terremoto del 24 aprile 1741 ( $M_w$  6.2, Fabrianese) causò danni in tutte le Marche centro-settentrionali. Quello del 28 luglio 1799 ( $M_w$  6.2) devastò l'area compresa tra San Ginesio, San Severino Marche, Cessapalombo e Camerino. A sud la Val d'Aso e la Valle del Tronto sono sede di sismicità storica piuttosto rara con due recenti episodi di rilievo il 3 ottobre 1943 ( $M_w$  5.8, Marche meridionali) e il 26 novembre 1972 ( $M_w$  5.5, Montefortino).

La sismicità dell'ultimo quarto di secolo è caratterizzata dalle lunghe e rilevanti sequenze sismiche che hanno interessato ampie aree adiacenti della catena. La sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998 causò danni in una vasta area delle province di Macerata e Perugia. Cominciata il 4 settembre 1997 con un evento di magnitudo  $M_l$  4.4 nell'area di Colfiorito, la sequenza durò più di sei mesi con oltre 6000 eventi localizzati tra Gualdo Tadino-Nocera Umbra e Sellano. I due eventi più forti si ebbero il 26 settembre 1997, alle 2:33 ( $M_w$  5.7) e alle 11:40 ( $M_w$  6.0). La sequenza del 2016-2017, caratterizzata da quattro eventi principali, rispettivamente il 24 agosto 2016 ( $M$  6.0, Accumoli-Amatrice), 26 ottobre 2016 ( $M$  5.9, Visso), 30 ottobre 2016 ( $M$  6.5, Norcia) e 18 gennaio 2017 ( $M$  5.4, Montereale)

ha danneggiato e in alcuni casi totalmente distrutto molti insediamenti di un territorio assai esteso, compreso tra Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria.

Il *Database macrosismico italiano* DBMI15 versione 4.0 fornisce le storie sismiche di 734 località marchigiane, da Abbadia (PU) a Voltellina (MC). La Fig. 5.2.7 ne mostra alcune. Le storie sismiche più ricche (composte da almeno 100 dati osservati tra l'anno 1000 e il 2019) sono quelle degli attuali capoluoghi di provincia (tranne Fermo che dispone di 98 dati) e inoltre quelle di Camerino (110) e Visso (101). Altre 35 località marchigiane hanno una storia sismica composta da almeno 50 osservazioni: tra queste Fermo e città di media grandezza, come Fabriano, Fano, Jesi, Sanseverino Marche, San Benedetto del Tronto, San Ginesio, Senigallia, Tolentino e Urbania. Le località con una storia sismica composta da meno di 10 dati d'intensità sono 505 e tra queste ce ne sono 356 la cui storia sismica è formata da un unico dato d'intensità osservata: si tratta per lo più di piccole frazioni ma non manca tra loro anche qualche insediamento di dimensioni più significative, come Casette d'Ete, Marzocca o Piobbico.



**Figura 5.2.7** Storie sismiche di alcune località marchigiane

L'intensità massima osservata in una località marchigiana nel millennio considerato (XI MCS) è stata raggiunta a Pescara del Tronto (AP) dal terremoto del 24 agosto 2016. A titolo indicativo, prendendo in considerazione solo i capoluoghi

di provincia marchigiani, il massimo livello di danno osservato in Ancona (VIII MCS) è stato raggiunto almeno tre volte, dai terremoti locali del 1269 e del 26 dicembre 1690 (Costa anconetana) e da quello di Senigallia del 30 ottobre 1930. Il massimo livello di danno storicamente attestato a Pesaro (VII-VIII MCS) è stato raggiunto dal terremoto del 14 aprile 1672 (Riminese). Il terremoto del 24 aprile 1741 (Fabrianese) è responsabile del massimo livello di danno osservato per Urbino e Macerata (VIII MCS). Macerata ha però subito danni simili anche da terremoti locali (12 maggio 1626; 25 agosto 1809) e da quello del 1 settembre 1951 (Monti Sibillini). Il massimo livello di danno attestato per Ascoli Piceno (VII-VIII MC) è stato raggiunto dal terremoto del 26 novembre 1972 (Marche meridionali). Per Fermo bisogna risalire all'8 aprile 1540, quando un terremoto di origine forse locale causò effetti pari al grado VI-VII MCS. Gravissimi danni e distruzioni (IX MCS) furono causati a Cagli e Apecchio dal terremoto del 3 giugno 1781 (Appennino marchigiano) e a Camerino da quello del 28 luglio 1799 (Appennino marchigiano).

!