

6. MARGINI D'INCERTEZZA SUI PARAMETRI DEI FORTI TERREMOTI DELL'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO: ANALISI SPEDITIVA

Romano Camassi⁽¹⁾, Viviana Castelli⁽²⁾, Henry Coppari⁽²⁾, Emanuela Ercolani⁽¹⁾, Ilaria Leschiutta⁽³⁾, Carmen Mirto⁽³⁾, Massimiliano Stucchi⁽⁴⁾

⁽¹⁾ GNDT c/o DISTART, Università di Bologna

⁽²⁾ GNDT c/o OGS, Macerata

⁽³⁾ GNDT c/o IRRS, CNR, Milano

⁽⁴⁾ IRRS, CNR, Milano

6.1 Premessa

I terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano sono tra gli eventi sismici italiani meglio conosciuti, principalmente per due ragioni:

- 1) la ricchezza della documentazione storica pubblica (carte amministrative) e privata (memorialistica) disponibile per l'area, caratterizzata da produzione abbondante e buoni livelli di conservazione, senza le macroscopiche lacune riscontrabili, ad esempio, per l'Italia meridionale;
- 2) l'intensa attività di ricerca storico-sismologica svolta in quest'area nel recente passato.

Queste considerazioni valgono in specie per i forti terremoti, e in primo luogo per le grandi sequenze sismiche settecentesche (1703, 1730, 1741, 1747, 1751, 1781, 1789, 1799), che rappresentano il picco storico dell'attività sismica dell'area, e hanno determinato la produzione di un vastissimo assortimento di dati originali, che sono stati oggetto di studi approfonditi.

A titolo puramente esemplificativo si può ricordare il numero di punti disponibili per questi eventi:

Contributo delle unità operative:

UO DISTART

Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento, del Territorio, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna

Responsabile: G. Bitelli

Contratto n.98.03204.PF54

UO OGS-MC

Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, Viale Indipendenza 180, 62100, Macerata

Responsabile: G. Monachesi

Contratto n.98.03229.PF54

UO IRRS

CNR - Istituto per la Ricerca sul Rischio Sismico, Via Bassini 15, 20133, Milano

Responsabile: M. Stucchi

e-mail 1° autore: romano.camassi@mail.ing.unibo.it

Fonte	1703	1730	1741	1747	1751	1781	1789	1799
DOM ¹	240	47	135	27	61	149	26	47
CFTI ²	266	22	46	16	45	149	12	39

Obiettivo del presente lavoro è formalizzare una valutazione speditiva sull'incertezza dei parametri dei terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano, a partire dal nuovo Catalogo Parametrico dei Forti Terremoti (Gdl CPTI, 1999).

Si cercherà quindi di capire quali siano i margini "reali" d'incertezza nelle conoscenze sugli eventi più significativi e sui relativi parametri, considerando a questo scopo anche le prospettive aperte da ricerche in corso.

6.2 I forti terremoti di Umbria e Marche da NT4.1 a CPTI

L'analisi si concentrerà sui terremoti maggiormente energetici ($M \geq 5,5$, vedi Fig. 1 e Tab. 1) contenuti in CPTI. La lista dei terremoti così selezionati non differisce in modo significativo da un'analoga selezione effettuabile a partire dal catalogo NT4.1 (Camassi e Stucchi, 1997). Solo un paio di eventi (1277 e 1984) hanno, in CPTI, un valore di magnitudo tanto minore di quello attribuito loro da NT4.1, da comportarne l'esclusione da una selezione effettuata sulla soglia prescelta, mentre viceversa l'evento del 1593 risulterebbe sotto queste soglie sulla base di NT4.1.

6.2.1 Studi di riferimento

Nella compilazione di CPTI, la selezione dello studio di riferimento per ciascun terremoto è stata effettuata sulla base di criteri "freddi", di tipo quantitativo, e di una valutazione speditiva della qualità della ricerca svolta, effettuata a partire dal numero di punti di intensità espressi.

Un criterio di carattere più generale, adottato per garantire una certa omogeneità nell'assegnazione dell'intensità macrosismica, è inoltre quello della distribuzione spazio-temporale degli studi di riferimento. È stata cioè privilegiata l'omogeneità degli studi di riferimento, su base territoriale.

Per l'area umbro-marchigiana (relativamente alla quale esistono studi GNDT di notevole approfondimento) l'adozione di questo criterio ha comportato la decisione di privilegiare gli studi GNDT, selezionando studi CFTI solo in una quindicina di casi.

I terremoti maggiormente energetici dell'area umbro-marchigiana hanno quindi lo stesso studio di riferimento sia in NT4.1 sia in CPTI, con le rilevanti eccezioni degli eventi del 1298, del 1703, del 1873 e del 1979. Va anche rilevato che per l'evento del

¹ con la sigla DOM si indicherà nel testo il riferimento a: Monachesi e Stucchi, 1997.

² con la sigla CFTI si indicherà nel testo il riferimento a: Boschi et al., 1997.

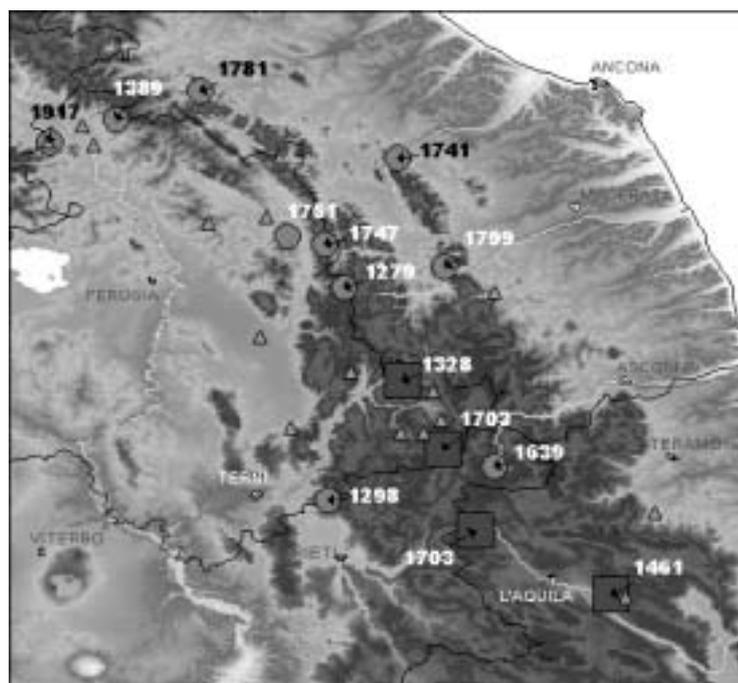


Fig. 1 - I terremoti forti dell'Appennino umbro-marchigiano (la figura a colori è riportata in Appendice a pag. 171).

1703 NT4.1 fornisce una “parametrizzazione multipla” sulla base di un quadro degli effetti cumulativo dell’intera sequenza, mentre in CPTI si è ritenuto (sulla base dello studio di riferimento prescelto) fornire i parametri distinti per i due eventi principali del 14 gennaio e del 2 febbraio, per i quali lo studio fornisce campi macrosismici distinti.

6.2.2 Localizzazione

Ai fini della compilazione di CPTI, la localizzazione epicentrale degli eventi è stata ricalcolata per tutti i terremoti provvisti di dati di base macrosismici, utilizzando l’algoritmo automatico proposto da Gasperini e Ferrari (1997).

Le localizzazioni proposte da CPTI per i terremoti dell’Appennino umbro-marchigiano non divergono in modo significativo da quelle proposte da NT4.1, dato che nella maggior parte dei casi i dati di base utilizzati sono gli stessi.

Limitatamente ai terremoti dell’Appennino umbro-marchigiano, i casi in cui la localizzazione proposta da CPTI si discosta significativamente da quella proposta da NT4.1 (Tab. 1) sono una decina. Il caso di variazione più rilevante è costituito da un evento minore, il terremoto di Norcia del 1971, la cui localizzazione si modifica di una trentina di chilometri.

La localizzazione dell’evento del 1703, per il quale lo studio di riferimento utilizzato da CPTI è abbastanza diverso da quello utilizzato da NT4.1, risulta invece pressoché

Tab. 1 - CPTI Eventi $M_a \geq 5,5$ per l'area umbro marchigiana. Nell'ultima colonna sono indicate le divergenze (in km) di localizzazione più significative fra NT4.1.1 e CPTI. Valori di intensità X 10, valori di magnitudo X 100.

Anno	Me	Gi	Ho	AE	Rt	Np	Io	Lat	Lon	Mm	Ma	Δ km	
1277				SPOLETO	GDTMC	DOM	1	80	42.732	12.736	540		
1279	04	30	18	CAMERINO	MON87	DOM	17	100	43.093	12.872	660	633	
1298	12	01		Reatino	GDTRM	CFTI	7	85	42.550	12.830	580	593	7
1328	12	01		NORCIA	MON87	DOM	13	100	42.856	13.018	660	644	
1352	12	25		MONTERCHI	CAA96	DOM	7	90	43.465	12.127	600	600	
1389	10	18		BOCCA SERRIOLA	CAA96	DOM	9	90	43.523	12.295	600	600	5
1458	04	26		CITTA' DI CASTELLO	CAA96	DOM	5	90	43.456	12.239	600	584	
1461	11	26	21	AQUILANO	MOC92	DOM	10	100	42.308	13.543	660	646	
1593	04	23		GUBBIO	MON87	DOM	4	75	43.271	12.676	510	530	13
1599	11	05		CASCIA	GDTMC	DOM	18	85	42.719	13.015	580	577	
1639	10	07	00	AMATRICE	MOC92	DOM	27	100	42.636	13.252	660	626	
1703	01	14	18	Appennino reatino	MON87	CFTI	196	110	42.680	13.120	710	681	5
1703	02	02	11	Aquilano	MON87	CFTI	70	100	42.470	13.200	660	665	7
1730	05	12	04	NORCIA	MON87	DOM	47	85	42.752	13.117	580	582	
1741	04	24	09	FABRIANESE	MON87	DOM	135	90	43.425	13.004	600	608	5
1747	04	17		FIUMINATA	MON87	DOM	27	90	43.202	12.824	600	593	
1751	07	27	03	GUALDO TADINO	MON87	DOM	61	100	43.222	12.730	660	630	
1762	10	06	12	Aquilano	CFT95	CFTI	6	90	42.300	13.580	600	589	
1781	06	03		CAGLIESE	MON87	DOM	157	95	43.594	12.506	630	623	
1789	09	30	10	VAL TIBERINA	CAA96	DOM	28	85	43.505	12.208	580	574	
1799	07	28		CAMERINO	MON87	DOM	47	90	43.147	13.123	600	593	
1832	01	13		FOLIGNO	MON87	DOM	27	85	42.967	12.659	580	574	
1838	02	14		VALNERINA	COA90	DOM	9	80	42.875	12.886	540	549	
1859	08	22		NORCIA	GDTMC	DOM	20	85	42.825	13.097	580	559	
1873	03	12	20	Marche meridionali	MON87	CFTI	196	80	43.080	13.250	540	586	6
1917	04	26	09	MONTERCHI-CITERNA	CAA96	DOM	128	90	43.465	12.125	600	577	
1950	09	05	04	GRAN SASSO	MOC92	DOM	137	80	42.516	13.657	540	564	5
1979	09	19	21	Valnerina	SPA81	CFTI	691	85	42.720	13.070	580	588	10
1984	04	29	05	GUBBIO/VALFABBRICA	GDTRD	DOM	713	70	43.256	12.530	483	517	

identica a quella proposta da NT4.1.

6.2.3 Intensità epicentrale

Le intensità epicentrali proposte da CPTI per i terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano rimangono sostanzialmente stabili rispetto a quelle proposte da NT4.1, dato che nella maggior parte dei casi i dati di base utilizzati sono gli stessi (vedi Tab. 2).

Le variazioni di questo parametro riguardano i pochi terremoti che hanno come dataset di riferimento CFTI; tra i casi di variazione risulta particolarmente rilevante l'incremento dell'intensità epicentrale per gli eventi del 14 gennaio e del 2 febbraio 1703 (che passano rispettivamente da $I_o = X$ e $I_o = IX$ a $I_o = XI$ e $I_o = X$).

Nel caso dei terremoti del 1703 sono in gioco situazioni abbastanza complesse, costituite da sequenze di difficile gestione, in cui hanno un ruolo importante anche i pos-

Tab. 2 - Parametri a confronto fra CPTI (carattere normale) e NT4.1.1 (italico): valori di intensità X 10 in entrambi i cataloghi, magnitudo X 100 in CPTI e X 10 in NT4.1.1.

Anno	Me	Gi	AE	Rt	<i>Rt</i>	Np	<i>Nmo</i>	Io	<i>Io</i>	Mm	<i>Mm</i>	Ma	<i>Ms</i>
1277			SPOLETO	DOM	<i>GDTMC</i>	1	<i>1</i>	80	<i>80</i>	540	<i>55</i>	540	<i>55</i>
1279	04	30	CAMERINO	DOM	<i>MON87</i>	17	<i>17</i>	100	<i>100</i>	660	<i>67</i>	633	<i>67</i>
1298	12	01	Reatino	CFTI	<i>GDTRM</i>	7	<i>3</i>	85	<i>95</i>	580	<i>64</i>	593	<i>64</i>
1328	12	01	NORCIA	DOM	<i>MON87</i>	13	<i>13</i>	100	<i>100</i>	660	<i>67</i>	644	<i>67</i>
1352	12	25	MONTERCHI	DOM	<i>CAA96</i>	7	<i>7</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	600	<i>62</i>
1389	10	18	BOCCA SERR.	DOM	<i>CAA96</i>	9	<i>9</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	600	<i>62</i>
1458	04	26	CITTA' DI C.	DOM	<i>CAA96</i>	5	<i>5</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	584	<i>62</i>
1461	11	26	AQUILANO	DOM	<i>MOC92</i>	10	<i>10</i>	100	<i>100</i>	660	<i>67</i>	646	<i>67</i>
1593	04	23	GUBBIO	DOM	<i>MON87</i>	4	<i>4</i>	75	<i>75</i>	510	<i>52</i>	530	<i>52</i>
1599	11	05	CASCIA	DOM	<i>GDTMC</i>	18	<i>18</i>	85	<i>85</i>	580	<i>59</i>	577	<i>59</i>
1639	10	07	AMATRICE	DOM	<i>MOC92</i>	27	<i>27</i>	100	<i>100</i>	660	<i>67</i>	626	<i>67</i>
1703	01	14	Appennino reat.	CFTI	<i>MON87</i>	196	<i>221</i>	110	<i>100</i>	710	<i>67</i>	681	<i>67</i>
1703	02	02	Aquilano	CFTI	<i>MON87</i>	70	<i>0</i>	100	<i>90</i>	660	<i>62</i>	665	<i>62</i>
1730	05	12	NORCIA	DOM	<i>MON87</i>	7	<i>47</i>	85	<i>85</i>	580	<i>59</i>	582	<i>59</i>
1741	04	24	FABRIANESE	DOM	<i>MON87</i>	135	<i>135</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	608	<i>62</i>
1747	04	17	FIUMINATA	DOM	<i>MON87</i>	27	<i>27</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	593	<i>62</i>
1751	07	27	GUALDO TADINO	DOM	<i>MON87</i>	61	<i>61</i>	100	<i>100</i>	660	<i>67</i>	630	<i>67</i>
1762	10	06	Aquilano	CFTI	<i>CFT95</i>	6	<i>6</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	589	<i>62</i>
1781	06	03	CAGLIESE	DOM	<i>MON87</i>	157	<i>157</i>	95	<i>95</i>	630	<i>64</i>	623	<i>64</i>
1789	09	30	VAL TIBERINA	DOM	<i>CAA96</i>	28	<i>28</i>	85	<i>85</i>	580	<i>59</i>	574	<i>59</i>
1799	07	28	CAMERINO	DOM	<i>MON87</i>	47	<i>47</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	93	<i>62</i>
1832	01	13	FOLIGNO	DOM	<i>MON87</i>	27	<i>27</i>	85	<i>85</i>	580	<i>59</i>	574	<i>59</i>
1838	02	14	VALNERINA	DOM	<i>COA90</i>	9	<i>9</i>	80	<i>80</i>	540	<i>55</i>	549	<i>55</i>
1859	08	22	NORCIA	DOM	<i>GDTMC</i>	20	<i>20</i>	85	<i>85</i>	580	<i>59</i>	559	<i>59</i>
1873	03	12	Marche merid.	CFTI	<i>MON87</i>	196	<i>58</i>	80	<i>75</i>	540	<i>52</i>	586	<i>52</i>
1917	04	26	MONTERCHI-CIT.	DOM	<i>CAA96</i>	128	<i>130</i>	90	<i>90</i>	600	<i>62</i>	577	<i>56</i>
1950	09	05	GRAN SASSO	DOM	<i>MOC92</i>	137	<i>137</i>	80	<i>80</i>	540	<i>55</i>	564	<i>56</i>
1979	09	19	Valnerina	CFTI	<i>SPA81</i>	691	<i>235</i>	85	<i>80</i>	580	<i>55</i>	588	<i>59</i>
1984	04	29	GUBBIO/VALF.	DOM	<i>GDTRD</i>	713	<i>713</i>	70	<i>70</i>	483	<i>50</i>	517	<i>55</i>

sibili effetti di cumulo. A questo proposito va segnalato che il tentativo NT4.1 di gestire situazioni di questo tipo attraverso la soluzione della parametrizzazione multipla, è sostanzialmente abbandonato da CPTI che, seguendo l'esempio CFTI, ha optato per la parametrizzazione in eventi distinti.

6.2.4 Variazione di ZS

I terremoti CPTI non sono associati, ne' concettualmente associabili, alla zonazione sismogenetica definita ZS.4 (Scandone, 1997; Meletti et al., 2000). Un esperimento di verifica delle eventuali associazioni tra i terremoti (così come localizzati da CPTI) e la vecchia zonazione, può essere tuttavia tentato per raggiungere obiettivi preliminari ed interni, come ad esempio valutare le possibili influenze sull'hazard tradizionale dovute alla modifica del catalogo dei terremoti. I risultati di questo esperimento dimostrano comunque che, per effetto della già evidenziata, sostanziale stabilità delle localizzazioni proposte per i terremoti dell'area, nessuno dei terremoti significativi ($Ma \geq 5,5$) cambie-

rebbe zona sismogenetica. Le sole variazioni di questo parametro potrebbero riguardare alcuni eventi minori (1865, Città di Castello; 1883, Accumoli; 1902, Reatino).

6.2.5 Magnitudo

La magnitudo macrosismica dei terremoti CPTI è stata rideterminata utilizzando, ovviamente, il dataset selezionato per CPTI e una relazione tabellare Intensità-Magnitudo appositamente riformulata (Rebez e Stucchi, 1999) stimando la magnitudo media per le varie classi di intensità epicentrale.

Tra i parametri fin qui esaminati, il parametro magnitudo è certamente quello che presenta le variazioni più rilevanti. Questo fenomeno riguarda, significativamente, anche alcuni terremoti importanti, tra cui sia eventi antichi e scarsamente documentati (1279, 1298, 1639) sia eventi ottocenteschi, il cui dataset macrosismico varia sensibilmente (cfr. 1873) o per cui l'algoritmo di calcolo della magnitudo produce un risultato decisamente diverso da quello ottenuto per NT4.1 (cfr. 1298 e 1873).

6.3 Margini di incertezza sui parametri

I cataloghi parametrici forniscono spesso stime di attendibilità dei parametri, determinate in vari modi. Queste stime vengono raramente utilizzate per le elaborazioni correnti, sia perché i codici di calcolo non ne prevedono l'uso, sia perché l'utilizzatore non è mai del tutto convinto del loro significato.

Nel caso di parametri derivati da procedure che elaborano dati d'intensità, le stime di attendibilità sono determinate assumendo che la distribuzione dei dati di intensità di partenza non sia affetta da incertezze o che, comunque, le eventuali incertezze non siano quantificabili.

Questo è vero solo in parte: in genere l'autore dello studio ha un'idea abbastanza precisa dei livelli di incertezza dei suoi risultati, ma non dispone di mezzi per esprimere e quantificare tale incertezza, poiché le scale macrosismiche e le procedure per l'assegnazione di intensità non lo consentono. Ne consegue che spesso, a lato dello studio, è disponibile un "insieme-ombra" di informazioni non (ancora) parametrizzabili, la cui considerazione potrebbe comportare modifiche, a volte anche sostanziali, ai parametri ottenuti con procedure che elaborano dati di intensità.

I principali generatori di incertezze sulla distribuzione dei punti di intensità sono:

- 1) la quantità di notizie storiche disponibili, in relazione sia alla disponibilità di fonti in generale, sia all'approfondimento delle indagini;
- 2) la valutazione dell'intensità macrosismica, in relazione al tipo di notizie disponibili, alla conoscenza delle caratteristiche e del numero degli edifici e agli effetti di cumulo legati alle sequenze di scosse distruttive.

Nei paragrafi seguenti verranno formulate alcune valutazioni, preliminari e speditive, sui margini di incertezza dei parametri dei terremoti di cui alla Tab. 1.

6.3.1 Il problema della qualità dei dati: il numero di punti disponibili

Il dataset di riferimento di CPTI per l'Appennino umbro-marchigiano è formato prevalentemente da studi GNDT.

Questi studi sono il prodotto di una tradizione ventennale di indagine storica e offrono un livello di approfondimento maggiore di quello mediamente disponibile per altre aree italiane ma sono in buona parte datati. Circa il 30% (Dell'Olio e Molin, 1980; Monachesi, 1987; Stucchi, 1988; Conversini et al., 1990) è anteriore al 1990. I più recenti (CAA96, ENL95, GDTMC, GDTRM, MOC92) derivano in gran parte da indagini pianificate con metodologie speditive. Per lo più, indipendentemente dagli assunti metodologici iniziali, queste indagini sono state comunque sviluppate fino ad esaurimento dei principali bacini informativi d'interesse per l'area. Tuttavia, circa il 20% degli studi più recenti - quelli sui terremoti meno energetici - ha carattere preliminare (GDTSP).

Considerando solo i terremoti "umbro-marchigiani" più rilevanti ($M \geq 5,5$) presenti in CPTI, oltre un terzo di essi deriva da uno studio anteriore al 1990 (soprattutto Monachesi, 1987) e circa altrettanti da studi approfonditi ma non "definitivi" - nella misura in cui l'aggettivo è applicabile alla ricerca storica - sviluppati con la metodologia di analisi attraverso i repertori integrata, a livello locale e non locale, da ricerche archivistiche mirate.

Il carattere non sistematico delle ricerche storiche svolte induce a ritenere che i margini di incertezza possano essere elevati, specie per i terremoti più antichi (in particolare gli eventi del 1277, 1298, 1352 e 1458) ma anche per alcuni eventi relativamente recenti (1762 e 1838) e per quelli caratterizzati da sequenze complesse (1703, 1747-1751).

Il margine di miglioramento delle conoscenze - in termini di notizie storiche utilizzabili per l'elaborazione di nuovi punti d'intensità - è potenzialmente ancora rilevante.

Si impongono tuttavia alcune distinzioni, specie per quanto riguarda terremoti molto antichi quali quelli del 1279 (Camerino) e del 1328 (Norcia). Si tratta di eventi che interessarono probabilmente la stessa area o aree molto prossime a quella colpita dalla sequenza 1997-1998 e che risultano determinanti per la definizione dell'hazard dell'Appennino umbro-marchigiano.

Le ricerche su questi eventi hanno raggiunto uno stadio molto avanzato, le potenzialità di ulteriore approfondimento appaiono molto limitate e la documentazione disponibile è cospicua (relativamente, come è ovvio, alle potenzialità documentarie del periodo di accadimento). Tuttavia le informazioni che se ne possono ricavare sono in assoluto poco dettagliate e soprattutto riguardano un numero di punti troppo limitato per consentire di vincolare con precisione il terremoto, soprattutto dal punto di vista della localizzazione.

I parametri di questi terremoti sono, pertanto, affetti da notevole incertezza, soprattutto sotto due aspetti:

- 1) la localizzazione degli effetti: un errore nella localizzazione di un punto importante fra i pochi disponibili (cfr. le incertezze nella localizzazione di "Serravalle", per il terre-

moto del 1279 e in quella di “Castel San Giovanni” e “Monte San Martino” per l’evento del 1328) può falsare l’interpretazione dell’intera distribuzione di punti d’intensità in termini sismologici, influenzando pesantemente sulla definizione dei parametri. E’ un’eventualità che si presenta frequentemente, specie nel caso di terremoti antichi, e non solo;

- 2) la determinazione dell’intensità al sito: la povertà descrittiva delle informazioni disponibili su una località (es. la menzione, frequentissima, di un sito “rovinato” dal terremoto) rende estremamente critico il processo di assegnazione dell’intensità al sito.

Problemi del tutto analoghi sono presentati da due terremoti molto forti localizzati al margine dell’area d’interesse (1461, Aquilano; 1639, Amatrice), i cui effetti sono attestati, nel primo caso, da poche fonti coeve, nel secondo da una sola. Informazioni di dettaglio sono disponibili, in entrambi i casi, per una sola località tra quelle componenti il piano quotato. Gli eventi appaiono quindi mal vincolati sul piano della localizzazione e probabilmente sovrastimati.

Eventi decisamente meglio documentati (1703, Appennino Reatino; 1703 Aquilano; 1751, Gualdo Tadino) presentano problemi di ordine diverso, ma non meno complessi, in buona parte connessi con le modalità di interpretazione dei dati disponibili, e in particolare con le loro caratteristiche di sequenze sismiche.

6.3.2 Il problema delle sequenze: effetti di cumulo

La recente esperienza umbro-marchigiana ha mostrato chiaramente che all’interno di una lunga e complessa sequenza sismica gli effetti delle diverse scosse non sono materialmente distinguibili e che, in un contesto urbano già danneggiato da un singolo evento, anche scosse di energia limitata possono produrre danni, rendendo visibili effetti prima non riconoscibili.

I cataloghi parametrici e i database contengono dati relativi a scosse distruttive che si sono succedute in finestre spazio-temporali in alcuni casi molto ridotte. In questi casi è ragionevole ipotizzare che la vulnerabilità degli edifici sia aumentata durante singole sequenze o sequenze cronologicamente contigue e che il danno riportato dalle fonti rappresenti il cumulo di vari effetti. Entrambi questi fattori possono indurre a posteriori una sovrastima dei dati di intensità e, di conseguenza, della magnitudo dei terremoti, sia per l’impossibilità di determinare la vulnerabilità sismica degli edifici nelle diverse fasi di una sequenza, sia perchè le fonti stesse quasi sempre si limitano a fornire un “bilancio” del danneggiamento prodotto dalla sequenza stessa.

Anche in questo caso non sono disponibili approcci per una valutazione formalizzata di questi fattori; tuttavia è possibile procedere mediante ipotesi di lavoro e determinare l’entità massima della eventuale sovrastima (Azzaro and Stucchi, 1999).

L’analisi delle storie sismiche di alcune fra le località umbro-marchigiane (Fig. 2, Tab. 3) mostra diversi problemi di questo tipo e può contribuire a chiarire il problema.

Un caso interessante è rappresentato da Amatrice, danneggiata gravemente da un terremoto nel 1639 (il danneggiamento classificato con il grado IX della scala MCS pre-

Tab. 3 - Intensità (x10) al sito per alcune località umbro-marchigiane relative alle principali sequenze.

Località	data	Isito	Epicentro
AMATRICE	1639 10 07	90	AMATRICE
AMATRICE	1703 01 14	90	Appennino umbro-reatino
AMATRICE	1706 11 03	70	Maiella
CAMERINO	1279 04 30	85	CAMERINO
CAMERINO	1328 12 01	75	NORCIA
CAMERINO	1703 01 14	80	Appennino umbro-reatino
CAMERINO	1730 05 12	55	NORCIA
CAMERINO	1741 04 24	75	FABRIANESE
CAMERINO	1747 04 17	65	FIUMINATA
CAMERINO	1751 07 27	65	GUALDO TADINO
CAMERINO	1799 07 28	90	CAMERINO
CASCIA	1328 12 01	90	NORCIA
CASCIA	1599 11 05	85	CASCIA
CASCIA	1703 01 14	90	Appennino umbro-reatino
CASCIA	1719 06 27	65	ALTA VALNERINA
CASCIA	1730 05 12	75	NORCIA
CASCIA	1815 09 03	70	NORCIA
CASCIA	1859 08 22	65	NORCIA
CASCIA	1879 02 23	70	SERRAVALLE
NOCERA UMBRA	1741 04 24	70	FABRIANESE
NOCERA UMBRA	1747 04 17	90	FIUMINATA
NOCERA UMBRA	1751 07 27	80	GUALDO TADINO
NORCIA	1328 12 01	95	NORCIA
NORCIA	1349 09 09	65	Viterbese-Umbria
NORCIA	1599 11 05	75	CASCIA
NORCIA	1703 01 14	95	Appennino umbro-reatino
NORCIA	1719 06 27	65	ALTA VALNERINA
NORCIA	1730 05 12	90	NORCIA
NORCIA	1815 09 03	75	NORCIA
NORCIA	1859 08 22	85	NORCIA
NORCIA	1873 03 12	55	Marche meridionali
NORCIA	1878 09 15	55	MONTEFALCO
NORCIA	1879 02 23	70	SERRAVALLE
NORCIA	1950 09 05	70	GRAN SASSO
NORCIA	1951 09 01	60	SARNANO
NORCIA	1964 08 02	60	PRECI
NORCIA	1971 10 04	65	NORCIA
NORCIA	1979 09 19	80	Valnerina

vede la distruzione di circa metà dell'abitato), e colpita 60 anni dopo da un evento analogamente distruttivo. In questo caso l'interrogativo che ci si può porre è se l'abitato fosse stato completamente riedificato o recuperato dopo 60 anni. Cosa che è probabile, ma non del tutto scontata. Di certo è improbabile che dopo tre anni dall'evento del 1703, i danni fossero completamente riparati.

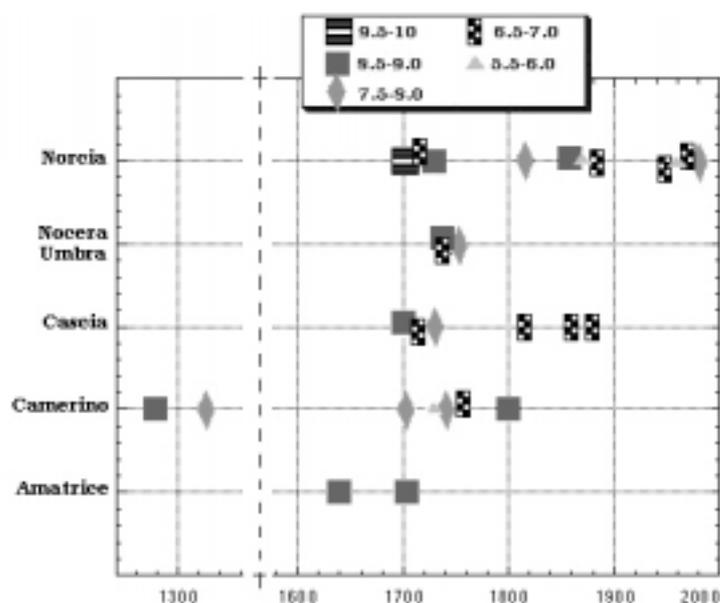


Fig. 2 - Rappresentazione degli effetti di alcune sequenze sismiche in località dell'Appennino umbro-marchigiano.

La storia sismica di Camerino presenta due situazioni abbastanza interessanti; in primo luogo una situazione analoga a quella di Amatrice, di due eventi relativamente ravvicinati nel tempo, che hanno prodotto effetti rilevanti (1279 e 1328); in secondo luogo una lunga sequenza che si estende per quasi un secolo, se pur con effetti non devastanti; quello che è certo, comunque, è che il patrimonio edilizio della città nel 1799 era certamente in condizioni difficili, e che gli effetti di quell'evento sono certamente influenzati dall'alta vulnerabilità di un edificato duramente provato dal ripetersi di molti eventi ravvicinati nel tempo.

La storia sismica di Cascia presenta una situazione speculare rispetto a quella di Camerino: colpita in modo distruttivo dal terremoto del 1703, viene poi colpita da altri terremoti nel primo trentennio del Settecento e poi di nuovo nell'Ottocento. Se gli effetti di questi terremoti non sono distruttivi, è però probabile una certa interazione fra i diversi eventi.

Piuttosto interessante e in qualche modo esemplare il caso presentato dalla storia sismica di Nocera Umbra, interessata da tre sequenze nello spazio di un decennio. E' del tutto improbabile che fra una sequenza e l'altra il patrimonio edilizio sia stato ripristinato nella sua integrità. Il che significa, quindi, che gli effetti al sito dei terremoti del 1747 e, soprattutto, del 1751 sono probabilmente sovrastimati.

La lunga e articolata storia sismica di Norcia presenta diverse analogie con quella di Cascia. Particolarmente importante è la serie di eventi che colpisce la città nel primo trentennio del Settecento, ed è probabile che non tutti gli edifici distrutti o gravemente danneggiati dagli eventi del 1703 fossero completamente ripristinati nel 1730. Situazioni analoghe, pur con un impatto meno rilevante, si ripetono sia nell'Ottocento che nel

Tab. 4 - Intensità (x10) assegnate, relativamente ad alcune località, per le scosse dell'ottobre 1702 (danni diffusi a Cascia e Norcia: HD), 14 gennaio, 16 gennaio e 14 febbraio 1703.

Località	18.10 1702	14.01 1703	16.01 1703	14.02 1703
LEONESSA		80	80	100
L'AQUILA		70	70	90
CASCIA	HD	90	80	
NORCIA	HD	95	80	
ACCUMOLI		100	80	
ANTRODOCO		100		80
AMATRICE		90	80	
CAMERINO		80	70	
CITTAREALE		110	80	
PAGANICA		80		85
SAN SEVERINO M.		70	75	80
SPOLETO		75	80	80

Novecento.

Particolarmente critica dal punto di vista degli effetti di cumulo è la situazione dei terremoti del 1702-1703 (Tab. 4). Si tratta della sequenza più importante per l'area, iniziata con una scossa distruttiva nell'ottobre del 1702 (non inclusa nel catalogo CPTI per effetto della rimozione di foreshocks e aftershocks), e articolata su due scosse devastanti (14 gennaio, zona Preci - Norcia - Cittareale; 2 febbraio, Aquilano) e una serie di eventi minori. La documentazione disponibile è di elevato dettaglio e l'area di maggior danneggiamento è individuabile fra Preci e l'Aquila, ma il complesso andamento della sequenza rende piuttosto difficile la distinzione puntuale del danneggiamento. Forti incertezze permangono nell'assegnazione delle intensità per l'evento principale del 14 gennaio (in particolare per le località di Norcia e Cascia, già danneggiate dalle scosse dell'ottobre precedente) e le incertezze legate alla verosimiglianza del parametro intensità per le scosse del 2 febbraio (motivo per cui lo studio GNDT, utilizzato per la compilazione del catalogo NT4.1, forniva una stima cumulativa degli effetti di tutte le scosse del periodo sismico)

Problemi analoghi presentano le complesse sequenze del 1747 (Nocera Umbra) e 1751 (Gualdo Tadino), particolarmente importanti per i non pochi elementi di similitudine con la sequenza del 1997-1998. Nella valutazione dei parametri energetici di questi terremoti entrano in gioco problemi di cumulo di effetti (soprattutto per l'area compresa fra Gualdo Tadino e Nocera Umbra), che potrebbero accentuarsi ulteriormente in considerazione della prossimità dell'evento del 1741 (Fabrianese). Tutte queste considerazioni inducono a ritenere che l'evento del 1751 potrebbe essere fortemente sovrastimato.

6.4 Valutazione speditiva dell'incertezza dei parametri disponibili

Come risultato delle analisi riassunte nei paragrafi precedenti è stata effettuata una valutazione formalizzata dell'incertezza sui parametri dei terremoti più forti dell'appen-

Tab. 5 - Ipotesi sui possibili margini di oscillazione dei parametri per ciascun evento.

Anno	Me	AE	Rt	Io	ΔIo	Lat	Lon	ΔL	Mm	ΔMm	Δm_{CPTI}
1277		SPOLETO	DOM	80	-80	42.732	12.736	± 10	5.40	zz	0.45
1279	04	CAMERINO	DOM	100	-10	43.093	12.872	± 15	6.60	-0.6	0.30
1298	12	Reatino	CFTI	85	± 05	42.550	12.830	± 15	5.80	± 0.2	0.21
1328	12	NORCIA	DOM	100	-15	42.856	13.018	± 10	6.60	-0.8	0.30
1352	12	MONTERCHI	DOM	90	-10	43.465	12.127	± 10	6.00	-0.6	0.26
1389	10	BOCCA SER.	DOM	90	-05	43.523	12.295	± 10	6.00	-0.3	0.26
1458	04	CITTA' DI C.	DOM	90	-05	43.456	12.239	± 5	6.00	-0.3	0.26
1461	11	AQUILANO	DOM	100	-10	42.308	13.543	± 10	6.60	-0.6	0.30
1593	04	GUBBIO	DOM	75	± 05	43.271	12.676	± 10	5.10	± 0.4	0.45
1599	11	CASCIA	DOM	85	± 05	42.719	13.015	± 5	5.80	± 0.3	0.21
1639	10	AMATRICE	DOM	100	-15	42.636	13.252	± 5	6.60	-0.8	0.30
1703	01	App. reatino	CFTI	110	-10	42.680	13.120	± 10	7.10	-0.5	0.32
1703	02	Aquilano	CFTI	100	-15	42.470	13.200	± 5	6.60	-0.8	0.30
1730	05	NORCIA	DOM	85	± 05	42.752	13.117	± 5	5.80	± 0.3	0.21
1741	04	FABRIANESE	DOM	90	± 05	43.425	13.004	± 10	6.00	± 0.3	0.26
1747	04	FIUMINATA	DOM	90	-05	43.202	12.824	± 10	6.00	-0.3	0.26
1751	07	GUALDO TADINO	DOM	100	-15	43.222	12.730	± 5	6.60	-0.8	0.30
1762	10	Aquilano	CFTI	90	-05	42.300	13.580	± 5	6.00	-0.3	0.26
1781	06	CAGLIESE	DOM	95	-05	43.594	12.506	± 5	6.30	-0.3	0.29
1789	09	VAL TIBERINA	DOM	85	± 05	43.505	12.208	± 5	5.80	± 0.3	0.21
1799	07	CAMERINO	DOM	90	± 05	43.147	13.123	± 10	6.00	± 0.3	0.26
1832	01	FOLIGNO	DOM	85	± 05	42.967	12.659	± 5	5.80	± 0.3	0.21
1838	02	VALNERINA	DOM	80	05	42.875	12.886	± 10	5.40	-0.3	0.28
1859	08	NORCIA	DOM	85	± 05	42.825	13.097	± 5	5.80	± 0.3	0.21
1873	03	Marche mer.	CFTI	80	+10	43.080	13.250	± 15	5.40	+0.6	0.28
1917	04	MONTERCHI-CIT.	DOM	90	± 05	43.465	12.125	± 5	6.00	± 0.3	0.26
1950	09	GRAN SASSO	DOM	80	+10	42.516	13.657	± 15	5.40	+0.6	0.28
1979	09	Valnerina	CFTI	85	-	42.720	13.070	± 5	5.80	-	0.21
1984	04	GUBBIO/VALF.	DOM	70	+10	43.256	12.530	± 5	4.83	+0.6	0.45

nino umbro-marchigiano (Tab. 5).

La sintesi delle elaborazioni e riflessioni sullo stato delle conoscenze su tali terremoti e sul livello delle incertezze è espressa in tabella relativamente ai parametri intensità epicentrale (I_0), localizzazione (Lat e Lon) e Magnitudo macrosismica. Nel seguito sono fornite alcune note descrittive per gli eventi che presentano problemi più rilevanti.

Area dei terremoti del 1997

30 Aprile 1279 Camerino - $\Delta L \pm 15$ km; $\Delta I_0 -10$

Forse originato nella stessa area della sequenza del 1997/1998. Localizzazione e dimensione incerte per la genericità delle informazioni disponibili. Possibile sovrastima.

Alta Valnerina

1 dicembre 1328 Norcia - $\Delta L \pm 10$ km; $\Delta I_0 -15$

Localizzazione e dimensione incerte per la scarsità e genericità delle informazioni disponibili. Possibile sovrastima.

Area di Norcia, Cascia e Cittareale

7 ottobre 1639 Amatrice - $\Delta L \pm 5$ km; ΔI_o -15

Evento controverso (una sola fonte, due scosse ravvicinate e dagli effetti mal distinguibili). Distribuzione di intensità e valutazione dei parametri energetici possono essere condizionate da effetti di cumulo. Possibile sovrastima.

14 gennaio 1703 Appennino reatino - $\Delta L \pm 10$ km; ΔI_o -10

2 febbraio 1703 Aquilano - $\Delta L \pm 5$ km; ΔI_o -15

La sequenza più importante per l'area. La documentazione è ricca ma il complesso andamento della sequenza (una scossa distruttiva nell'ottobre 1702; due scosse devastanti il 14 gennaio e 2 febbraio 1703; una serie di eventi minori) ostacola la ricostruzione puntuale del danneggiamento. Forti incertezze nell'assegnazione delle intensità da parte dei diversi studi (variazioni solo in parte attribuibili all'uso di fonti diverse). Possibile sovrastima.

Area di Gualdo Tadino e Fabrianese

17 aprile 1747 Fiuminata - $\Delta L \pm 10$ km; ΔI_o -05

27 luglio 1751 Gualdo Tadino - $\Delta L \pm 5$ km; ΔI_o -15

Sequenza molto complessa, con diversi punti di contatto con quella del 1997-1998. La valutazione dei parametri energetici è condizionata da effetti di cumulo (specie per l'area compresa fra Gualdo Tadino e Nocera Umbra), anche in considerazione della prossimità dell'evento del 1741. Possibile forte sovrastima dell'evento del 1751.

Un consistente numero di dati inediti raccolti in ambito GNDT è in corso di formalizzazione.

Reatino

1 dicembre 1298 Reatino - $\Delta L \pm 15$ km; $\Delta I_o \pm 05$

Documentazione coeva abbondante ma dai contenuti generici. Informazioni concentrate quasi esclusivamente su Rieti. Evento complessivamente mal vincolato.

Valle Umbra

1277 Spoleto - $\Delta L \pm 10$ km; ΔI_o -80

Probabile duplicazione del terremoto del 1279, di cui non sono attestati effetti a Spoleto.

Alta Val Tiberina

25 dicembre 1352 Monterchi - $\Delta L \pm 10$ km; ΔI_o -10

Documentazione coeva abbondante ma dai contenuti generici. Informazioni concentrate principalmente su Sansepolcro. Localizzazione insoddisfacente. Possibile sovrastima.

Cagliese

18 ottobre 1389 Bocca Serriola - $\Delta L \pm 10$ km; ΔI_o -05

Documentazione coeva abbondante ma dai contenuti generici. Informazioni sul danneggiamento massimo concentrate su alcuni villaggi appenninici. Localizzazione insoddisfacente. Possibile sovrastima.

Area di Camerino, Sarnano

28 luglio 1799 Camerino - $\Delta L \pm 10$ km; $\Delta I_o \pm 05$

Evento ben documentato, con problemi di cumulo. Localizzazione insoddisfacente (potrebbe essere un evento profondo). Possibile lieve sottostima. Un consistente numero di dati inediti raccolti in ambito GNDT è in corso di formalizzazione.

12 marzo 1873 Marche meridionali - $\Delta L \pm 15$ km; $\Delta I_o +10$

Il quadro macrosismico è molto articolato ma complessivamente poco definito. La vastità dell'area di risentimento fa pensare a un evento profondo. Possibile sottostima.

Aquilano

26 novembre 1461 Aquilano - $\Delta L \pm 10$ km; $\Delta I_o -10$

Documentazione coeva abbondante ma dai contenuti generici. Informazioni ben definite solo per L'Aquila. Date le modeste dimensioni dell'area di danneggiamento è possibile una sovrastima.

5 settembre 1950 Gran Sasso - $\Delta L \pm 15$ km; $\Delta I_o +10$

Il quadro macrosismico è molto articolato ma complessivamente poco definito. Localizzazione insoddisfacente. Possibile sottostima.

Relativamente alla definizione dell'incertezza sull'intensità epicentrale occorre precisare alcune cose. Innanzitutto sia nella determinazione dell'intensità al sito che dell'intensità epicentrale è oramai divenuto consuetudine esprimere, ove ritenuta necessaria, una forma di incertezza indicando i due valori estremi. Il valore di intensità 7/8 (75), ad es., indica una incertezza di classificazione degli effetti rispettivamente fra il grado 7 e il grado 8. Per questo la classe d'incertezza ± 5 non è che una conferma di incertezze già espresse dal valore di intensità epicentrale fornito dal catalogo (o dalla tabella delle intensità del singolo terremoto). Diverso è invece il caso della classe di incertezza -5, che tende a suggerire l'ipotesi che l'evento sia leggermente sovrastimato.

Le altre classi di incertezza espresse (-10, -15, +10) indicano invece una ipotesi più chiara di possibile sovrastima o sottostima. La classe -80, riferita all'evento 1277, indica infine una ipotesi di falsità dell'evento, che potrebbe quindi essere rimosso dal catalogo.

La definizione sull'incertezza nella localizzazione è effettuata prevalentemente sulla base del numero di osservazioni, sulla loro distribuzione e sul dettaglio delle informazioni disponibili sui punti più importanti; tale incertezza viene espressa con tre classi (± 5 , ± 10 , ± 15 km). Solo in pochi casi è possibile indicare la direzione preferenziale dello spostamento. Va sottolineato che margini d'incertezza tanto ridotti sul parametro di localizzazione sono certamente il riflesso di una situazione fortunata, probabilmente unica sul

territorio nazionale.

L'incertezza sull'intensità epicentrale viene espressa anche con una analogia codificata sul parametro Magnitudo macrosismica. E' interessante notare che solo in parte le incertezze espresse su questo parametro corrispondono con la deviazione standard calcolata sul catalogo parametrico, indice forse di una maggiore "diffidenza" di chi raccoglie ed elabora i dati, rispetto a chi si pone verso i dati come semplice utente.

6.5 Conclusioni

Come osservato nella parte introduttiva, CPTI non modifica in modo sostanziale le parametrizzazioni proposte dal catalogo NT4.1, nè in termini di localizzazione, nè in termini di parametri energetici, in quanto gli studi di riferimento utilizzati sono pressochè corrispondenti. I cambiamenti più rilevanti riguardano gli eventi principali della sequenza del 1703, per il quale il catalogo NT4.1 forniva una parametrizzazione multipla a partire da dati di intensità cumulativi dell'intera sequenza, la cui intensità epicentrale (e i relativi parametri di magnitudo) aumenta di un grado.

I margini di incertezza sui parametri sono abbastanza rilevanti e differenziati sia nel tempo che nello spazio, pur considerando un livello generale delle conoscenze piuttosto elevato rispetto alla media nazionale; i problemi più significativi e tipici dell'area sono rappresentati dalla disponibilità di informazioni di scarso dettaglio su alcuni terremoti molto forti - senza concrete prospettive di netto miglioramento - e da situazioni influenzate da effetti di cumulo relativi a diverse scosse all'interno di una sequenza, oppure da diverse sequenze ravvicinate nel tempo (in particolare le sequenze settecentesche). Per queste ragioni appaiono leggermente sovrastimati i principali eventi più antichi (XIII e XIV secolo) e alcuni eventi settecenteschi.

Il catalogo CPTI rappresenta certamente un passo avanti verso una migliore definizione delle procedure di definizione dei parametri, ma al tempo stesso non si pone come problema principale la sua funzionalità per stime di hazard.

Bibliografia

- Azzaro R. and Stucchi M. (1999): *The assessment of intensity in the case of the effects of earthquake sequences using the EM-98 intensity scale*. ESCWG "Historical Seismology" - Workshop and field-trip Macerata (Italy) - 1999, September 1-5, Abstract.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (1997): *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*. Istituto Nazionale di Geofisica - SGA, Roma.
- Camassi R. e Stucchi M. (1997): *NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno (versione NT4.1.1)*. GNDT, Milano, 66 + XXVII pp. e Internet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT/home.html>.
- (CAA96) Castelli V., Monachesi G., Moroni A. e Stucchi M. (1996): *I terremoti toscani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche*. GNDT, rapporto interno, Macerata-Milano, 314 pp.
- Conversini P., Lolli O., Molin D., Paciello A. e Pagliacci S. (1990): *Ricerche sulla sismicità sto-*

- rica della provincia di Perugia. Quaderni Regione dell'Umbria, Collana Sismica, Perugia, vol. 1b, 56 pp.
- Dell'Olio A. e Molin D. (1980): *Catalogo macrosismico del Lazio dall'anno 1000 al 1975*. ENEA CRE Casaccia, Roma (inedito).
- (ENL95) ENEL (1995): *Ricerche sui terremoti dell'area di Latera (VT)*. Rapporto interno, Pisa.
- Gasperini P. e Ferrari G. (1997): Stima dei parametri sintetici: nuove elaborazioni. In: Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P., (eds.), 1997. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*. ING-SGA, Bologna, 56-64.
- (GDTMC) GNDT (1994a): *Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti*. UR Macerata, Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- (GDTRM) GNDT (1994b): *Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti*. UR Roma, Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- (GDTSP) GNDT (1995): *Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici*. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- Gruppo di lavoro CPTI (1999): *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 1999, 92 pp.
- Meletti C., Patacca E., Scandone P. (2000): Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pageoph*, **157**, 11-35.
- Monachesi G. (ed.) (1987): *Revisione della sismicità di riferimento per i comuni di Cerreto d'Esi (AN), Esanatoglia (MC), Serra San Quirico (AN)*. Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, rapporto interno, 240 pp.
- (MOC92) Monachesi G. e Castelli V. (1992): *Sismicità dell'area aquilano-teramana dalla "analisi attraverso i cataloghi"*. Rapporto tecnico per la Regione Abruzzo, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, 245 pp.
- Monachesi G. e M. Stucchi (1997): *DOM4.1 Un database di osservazioni macrosismiche terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. Internet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>
- Rebez A. e Stucchi M. (1999): *Determinazione della magnitudo macrosismica nel catalogo "di consenso"*. Rapporto tecnico GNDT, Trieste-Milano, 4 pp.
- Scandone P. (1997): Linea di ricerca 2 "Sismotettonica". In: Corsanego A., Faccioli E., Gavarini C., Scandone P., Slejko D. e Stucchi M. (a cura di), *L'attività del GNDT nel triennio 1993 - 1995*, CNR - GNDT, Roma, 67-96.
- Stucchi M. (ed.) (1988): *Revisione della sismicità storica dell'area anconetana*. Rapporto tecnico per il Comune di Ancona, 138 pp.