

NUOVA VERSIONE DEL CATALOGO ITALIANO DEGLI EFFETTI DEFORMATIVI INDOTTI DA FORTI TERREMOTI (CEDIT)

NEW RELEASE OF THE ITALIAN CATALOGUE OF EARTHQUAKE-INDUCED GROUND FAILURES (CEDIT)

CAROLINA FORTUNATO^(*), SALVATORE MARTINO^(**), ALBERTO PRESTININZI^(**) & ROBERTO W. ROMEO^(***)
with the co-operation of ANDREA FANTINI^(****) and PAOLO SARANDREA^(****)

^(*)Dipartimento Protezione Civile Italiana - Rome, Italy

^(**)Sapienza Università di Roma - Centro di Ricerca CERI "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" - Valmontone, Italy

^(***)Università di Urbino "Carlo Bo" - Urbino, Italy

^(****)Tecnostudi Ambiente s.r.l. Professional Company - Rome, Italy

RIASSUNTO

Il territorio italiano è caratterizzato da un'alta sismicità localizzata, in particolar modo, lungo l'arco appenninico. In questa porzione di territorio si registrano, infatti, i terremoti più rilevanti con magnitudo anche superiori a 6. Lo studio degli eventi sismici e degli effetti sull'ambiente naturale che questi producono rappresenta un tema di elevato interesse per le politiche di difesa dai terremoti e di mitigazione del rischio sismico sul territorio nazionale, soprattutto perché questo risulta particolarmente aggravato dall'alta densità di popolazione e da un patrimonio edilizio molto spesso inadeguato a resistere alle sollecitazioni sismiche.

Il Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti da forti Terremoti (CEDIT) è una banca dati nata dall'esigenza di riportare gli effetti deformativi del suolo originatisi a seguito di eventi sismici su scala nazionale. Il CEDIT è ora disponibile in una nuova versione consultabile sul sito *web* www.ceri.uniroma1.it a partire dal gennaio 2013.

Il catalogo, esistente in una prima versione del 1997, è stato aggiornato con gli effetti indotti dai sismi fino al 2009 attraverso uno studio che ha comportato:

- l'aggiornamento delle fonti e dei riferimenti bibliografici disponibili per i terremoti storici già censiti nella precedente versione del catalogo;
- l'aggiunta delle informazioni di dati riguardanti gli eventi sismici che hanno interessato il territorio italiano dal 1984 al 2009.

PAROLE CHIAVE: *database, effetti sismoindotti, terremoti, Italia*

INTRODUZIONE

Il Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti da forti Terremoti (CEDIT) contiene le informazioni degli effetti sismoindotti sul terreno ad opera dei terremoti verificatisi in un arco temporale che va dall'anno 1000 d.C. al 2009 ed intensità epicentrale pari almeno all'VIII grado della scala MCS.

La sua realizzazione ha comportato un'estesa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti sul terreno, quali frane, fratturazioni, fagliazioni superficiali, liquefazioni, variazioni topografiche del livello del suolo.

La prima versione del catalogo CEDIT è ad opera di DELFINO

ABSTRACT

Italy is a country with a high seismicity, which is particularly concentrated along the Apennine Chain. In this area, earthquakes may exceed magnitude 6. The study of earthquakes and of their effects on the natural environment may provide a considerable contribution to national policies of defence against earthquakes and mitigation of their risk. This risk, however, is compounded by the fact that Italy has a high population density and a built heritage which is often inadequate to withstand seismic shaking.

The Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures (CEDIT) is a database whose new release is available at www.ceri.uniroma1.it from January 2013. The new release arose from the requirement of reporting ground failures induced by earthquakes at national scale.

The first release of the catalogue (1997) was updated with the effects induced by earthquakes until 2009. The study of these effects involved:

- updating the bibliographic sources and references available for historical earthquakes already reported in the previous release of CEDIT;
- adding data about earthquakes which occurred in Italy from 1984 to 2009.

KEY WORDS: *database, earthquake-induced ground failures, earthquakes, Italy*

INTRODUCTION

The Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures (CEDIT) stores data about ground failures induced by earthquakes with an epicentral intensity of at least 8 on the MCS scale, which occurred from 1000 AD to 2009.

The new release of CEDIT required an extensive search for historical earthquakes which caused ground failures, e.g. landslides, ground cracks, surface faulting, liquefaction and ground level changes.

The first release of CEDIT (DELFINO & ROMEO, 1997) reported ground failures induced by earthquakes over a period of about one millennium, from 1000 AD to 1984.

& ROMEO (1997); in questa sono stati riportati gli effetti indotti da terremoti verificatisi nell'arco temporale di circa un millennio, dal 1000 d.C. al 1984.

Con l'attuale redazione del catalogo CEDIT si è voluto revisionare ed aggiornare la precedente versione (MARTINO *et alii*, 2012). Sono stati, pertanto, introdotti i terremoti ed i relativi effetti sismoindotti avvenuti successivamente al 1984, tra cui: Umbria-Marche (1997), Pollino (1998), Molise e Tirreno Meridionale (entrambi nel 2002) e L'Aquila (2009). La ricerca delle fonti bibliografiche relative ai terremoti storici è stata interamente recepita dalla precedente versione del CEDIT; tuttavia, la fase di revisione dei dati riguardanti alcuni terremoti, già presenti in esso, è stata possibile grazie alla consultazione di nuovi studi bibliografici, pubblicati in seguito alla sua prima stesura. In particolare, sono state esaminate recenti pubblicazioni (GALLI, 2000; PORFIDO *et alii*, 2007; SERVA *et alii*, 2007) in merito a tre terremoti avvenuti rispettivamente nel 1805, 1930 e 1980 che hanno colpito le regioni dell'Irpinia e della Basilicata, nonché ulteriori specifici studi su effetti sismoindotti da terremoti passati e recenti (PRESTININZI, 1995; MANCINI *et alii*, 2000; MARTINO *et alii*, 2004; BOZZANO *et alii*, 2008; 2011).

I dati presenti nel catalogo sono stati informatizzati e costituiscono il nucleo centrale del *database* degli effetti deformativi al suolo indotti da eventi sismici. Inoltre, mediante l'utilizzo di sistemi informativi geografici (GIS), è stato possibile allestire la carta degli effetti sismoindotti sul territorio nazionale, dall'anno 1117 d.C. al 2009 (Tav. 1).

A tale riguardo, giova ricordare che l'Italia custodisce il primo esempio di redazione di una carta degli effetti sismoindotti in Europa ad opera di Padre Eliseo della Concezione nel 1784, nella quale sono stati riportati gli effetti ambientali prodotti dalla sequenza sismica del 1783 nota come "Terremoto delle Calabrie" (Fig. 1). Tuttavia, la prima rappresentazione degli effetti sismoindotti sul territorio nazionale (nella quale è evidenziata la distribuzione di effetti quali frane, fratturazioni, liquefazioni e maremoti) è stata redatta da ZECCHI nel 1987, sulla base dei dati forniti da cataloghi ed elenchi sismici relativi agli effetti sismoindotti dai principali terremoti a partire dall'anno 0 al 1986.

STRUTTURAZIONE DEL CATALOGO

Il *database* costruito per la nuova versione del CEDIT è stato organizzato in forma di schede; in ognuna di queste sono contenute le informazioni relative sia agli effetti indotti sul territorio sia ai relativi eventi sismici che li hanno generati. In tutto, sono state allestite cinque tabelle contenenti i livelli di informazioni che vanno a costituire il *database* relazionale schematizzato in Fig. 2.

Di seguito, sono descritti i principali contenuti di ogni tabella successivamente illustrati in maggiore dettaglio:

- Tabella "TERREMOTI": contiene l'elenco di tutti i terremoti, dall'anno 1000 d.C. al 2009, da cui sono state desunte le informazioni degli effetti sismoindotti sul terreno;
- Tabella "LOCALITÀ": è una lista delle località dove si sono verificati gli effetti sul terreno;

The new release revises and updates the previous one (MARTINO *et alii*, 2012). Therefore, it introduces earthquakes and related ground failures which occurred after 1984, such as the ones of: Umbria-Marche (1997), Pollino (1998), Molise and southern Tyrrhenian area (both in 2002) and L'Aquila (2009). The previous release included all the bibliographic sources available for historical earthquakes. However, new studies about some earthquakes, published after the first release, made it necessary to revise the related data. Reference was made, in particular, to recent publications (GALLI, 2000; PORFIDO *et alii*, 2007; SERVA *et alii*, 2007) on three earthquakes which took place in the regions of Irpinia and Basilicata in 1805, 1930 and 1980, as well as specific studies on seismically-induced effects due to past and recent earthquakes (PRESTININZI, 1995; MANCINI *et alii*, 2000; MARTINO *et alii*, 2004; BOZZANO *et alii*, 2008; 2011).

The data stored in the catalogue in digitised form represent the core of the database of earthquake-induced ground failures. The catalogue also comes with a GIS-based map of Italian earthquake-induced ground failures from 1117 AD to 2009 (Plate 1).

In this regard, it is worth recalling that Italy has the first example of a map of earthquake-induced ground failures in Europe, drawn by the monk Padre Eliseo della Concezione in 1784. This map depicts the



Fig. 1 - Carta corografica della Calabria Ulteriore realizzata da Padre Eliseo della Concezione, 1784; i punti cartografati individuano gli effetti sismoindotti
 - Corographic map of "Calabria Ulteriore", drawn by the monk Padre Eliseo della Concezione in 1784; the mapped spots correspond to the earthquake induced ground effects

- Tabella “FRASI”: riporta i riferimenti letterari dai quali sono state estratte le informazioni degli effetti sul terreno;
- Tabella “BIBLIO”: contiene l’elenco delle fonti bibliografiche utilizzate;
- Tabella “EFFETTI”: riporta gli effetti sul terreno avvenuti per uno specifico terremoto, in una determinata località.

“TERREMOTI”

La tabella raccoglie le informazioni sismologiche, ordinate cronologicamente, sugli eventi da cui sono state estratte notizie riguardanti effetti sismoindotti sul terreno. In questa tabella, sono riportati i parametri che descrivono la severità e la localizzazione degli eventi. I cataloghi a cui si è fatto riferimento sono: cataloghi dei terremoti NT4.1.1 (CAMASSI & STUCCHI, 1997) e CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004); catalogo degli effetti macrosismici DBMI04 (STUCCHI *et alii*, 2007); Catalogo dei Maremoti in Italia (CTI - TINTI *et alii*, 2007). Rispetto alla precedente versione del CEDIT, sono state aggiunte informazioni relative alle sorgenti sismogenetiche mediante la consultazione del catalogo DISS 3.1 (DISS WORKING GROUP, 2010).

“LOCALITÀ”

La tabella elenca i siti dove sono avvenuti effetti sul terreno concomitanti l’evento sismico e contiene i seguenti campi: codice ISTAT comunale, codice frazione, località e coordinate ISTAT (nel sistema WGS84); in particolare, i codici Istat sono aggiornati al giugno 2010 e sono consultabili sul sito ufficiale ISTAT (<http://www.istat.it/it>).

Ai siti di imprecisata localizzazione è stato attribuito un codice convenzionale corrispondente all’unità amministrativa di appartenenza di minor rango, mentre per i siti in territorio estero, ma comunque confinanti, è stato attribuito un codice convenzionale.

“FRASI”

La tabella riporta le frasi originali, estratte dalle fonti storiche, che descrivono gli effetti sul terreno prodotti dai sismi censiti.

Ogni citazione si riferisce ad una sola località e può descrivere uno o più fenomeni; inoltre sono state riportate anche diverse frasi di vari autori che descrivono lo stesso effetto per avere un quadro maggiormente dettagliato del fenomeno. Per quanto riguarda i parametri dimensionali degli effetti descritti nelle fonti storiche per una migliore comprensione delle dimensioni dell’effetto, le misure d’epoca riportate nelle fonti storiche (es. miglia, pollici, piedi, etc.) sono state convertite nel sistema metrico decimale sulla base di appositi studi sulla conversione tra sistemi di misura storici e misure moderne (MARTINI, 1883).

“BIBLIO”

La tabella riporta gli estremi delle fonti bibliografiche consultate nella ricerca delle informazioni sugli effetti sismoindotti.

“EFFETTI”

La tabella raccoglie le informazioni degli effetti sul terreno estratti dalle fonti citate.

Per ciascuna località e per ogni terremoto che l’ha colpita vengono elencati gli effetti sul terreno riportati nelle citazioni bibliografiche, l’intensità macrosismica attribuita al sito, la distanza dall’epicentro e la possibile litologia prevalente.

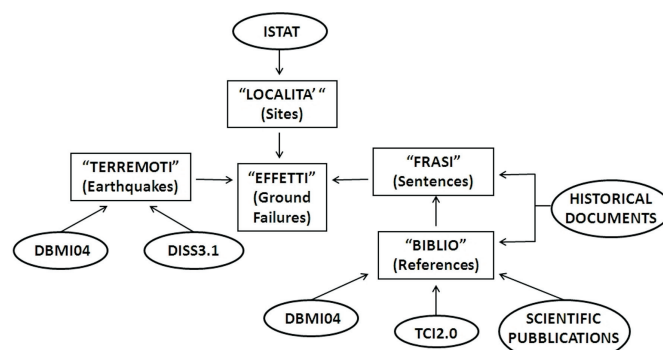


Fig. 2 - Relazioni fra le tabelle del database in cui è strutturato il catalogo CEDIT. Sono anche indicate le fonti bibliografiche ed i cataloghi consultati

- Relations between the tables of the CEDIT database. The consulted bibliographic sources and catalogues are also reported

environmental effects produced by the 1783 seismic sequence known as “Terremoto delle Calabrie” (Fig. 1). Nevertheless, the first country-wide map of earthquake-induced ground failures (and of their distribution: landslides, ground cracks, liquefaction and tsunamis) is owed to ZECCHI (1987). This map was based on data from seismic catalogues and lists the ground failures induced by the main earthquakes from the year 0 to 1986.

STRUCTURE OF THE CATALOGUE

The database underlying the new release of CEDIT was organised into datasheets. Each datasheet contains data about earthquakes and associated ground failures. The relational database (Fig. 2) consists of five tables at different levels of detail.

The main contents of each table, which will be described in more detail in the following, are reported below:

- “TERREMOTI” (earthquakes) table: list of all earthquakes (from 1000 AD to 2009) from which data about ground failures were inferred;
- “LOCALITÀ” (sites) table: list of ground failure sites;
- “FRASI” (sentences) table: literary references from which data about ground failures were derived;
- “BIBLIO” (references) table: list of bibliographic sources used;
- “EFFETTI” (ground failures) table: ground failures induced by a specific earthquake in a given site.

“TERREMOTI” (earthquakes)

This table gathers seismological data, in chronological order, about events from which data concerning ground failures were obtained. Parameters describing the severity and location of the events are also given. The following catalogues were used: catalogues of earthquakes NT4.1.1 (CAMASSI & STUCCHI, 1997) and CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004), as well as catalogue of macroseismic effects DBMI04 (STUCCHI *et alii*, 2007); Italian Catalogue of Tsunamis (CTI - TINTI *et alii*, 2007). With respect to the previous release of CEDIT, data were added about seismogenic sources retrieved from the DISS 3.1 catalogue (DISS WORKING GROUP, 2010).

tipology of effect	CEDIT_ID	tipologia di effetto
landslides	100	frana
rock fall	110	crollo
rock topple	111	ribaltamento
rock slump	112	scorrimento rotazionale
rock slide	113	scorrimento traslazionale
rock spread	114	espansione laterale
rock avalanche	115	valanga di roccia
debris fall	120	crollo
debris topple	121	ribaltamento
debris slump	122	scorrimento rotazionale
debris slide	123	scorrimento traslazionale
debris flow	124	colata di detrito
debris avalanche	125	valanga di detrito
soil creep	126	soliflusso
earth fall	130	crollo
earth topple	131	ribaltamento
earth slump	132	scorrimento rotazionale
earth slide	133	scorrimento traslazionale
earth spread	134	espansione laterale
earth flow	135	colata di terra
mud flow	137	colata di fango
ground cracks	200	fratture del suolo
ground cracks with gas or fire emission	210	fratture con emissione di gas e/o fiamme
ground cracks related to slides	220	fratture correlate a frane
liquefaction	300	liquefazione
water ejection	310	aperture del terreno con fuoriuscita di acqua torbida
sand boils	311	aperture del terreno con fuoriuscita di acqua mista a fango e/o sabbia
water ejection from fissures	320	aperture del terreno con fuoriuscita di acqua torbida
water and sand ejection from fissures	321	fuoriuscita di acqua mista a fango e/o sabbia e formazione di "vulcanelli"
surface faulting	400	fagliazione
ground changes	500	variazioni topografiche
subsidence	510	subsidenza

Tab. 1 - Riepilogo dei codici degli effetti sismoindotti riportati nel catalogo CEDIT
 - Codes of earthquake-induced ground failures reported in CEDIT catalogue

Laddove disponibile è stata, inoltre, inserita l'intensità della scala ESI (*Environmental Seismic Intensity scale*: MICHETTI *et alii*, 2004).

Gli effetti sul terreno sono stati classificati in cinque macrocategorie secondo il seguente ordine gerarchico: frane, fratture del suolo, liquefazione, fagliazione superficiale, variazioni topografiche del suolo, ciascuna suddivisa in ulteriori sottocategorie (Tab. 1).

ESEMPIO DI CONSULTAZIONE DEL CATALOGO

Il servizio di consultazione del catalogo *on-line* è stato realizzato utilizzando i servizi di *ArcGis-online* basati su tecnologia *Cloud* di ESRI ed adatti anche alla consultazione su *SmartPhone*. Il *Web-GIS* così sviluppato è consultabile presso il sito del CERI all'indirizzo web www.ceri.uniroma1.it. La versione, che sarà disponibile *on-line* dal gennaio 2013, continuerà ad essere aggiornata e se ne prevede la consultazione attraverso un *geo-database*, che consentirà la restituzione grafica e tabellare di ricerche per chiavi di interrogazione da parte dell'utente.

Il *Web-GIS* del catalogo, come raffigurato in Figura 3, presenta una sezione superiore (TOP) nella quale sono presenti i menù di selezione dei *layers* e delle mappe di base, l'*editor* di misura, il tasto di stampa, di ricerca (quest'ultima limitata ai soli toponimi regionali) e di condivisione del *link* relativo al *Web-GIS*.

“LOCALITA” (sites)

The table lists sites of ground failures associated with the seismic event. The table shows the following fields: ISTAT municipal code, “frazione” (village) code, site and ISTAT coordinates (under the WGS84 system); in particular, ISTAT codes are updated until June 2010 (see ISTAT website <http://www.istat.it/it/>).

A conventional code, corresponding to the smallest local administrative unit, was assigned to sites of indefinite location. A conventional code was also associated with neighbouring foreign sites.

“FRASI” (sentences)

The table gives the original sentences, retrieved from historical sources, which describe the ground failures produced by the censused earthquakes.

Each sentence refers to a single site and to one or multiple phenomena. To give a more detailed picture of the phenomenon, sentences by various authors about the same effect are also reported. For an improved understanding of the extent of seismically-induced effects, the values of the dimensional parameters reported in historical sources (e.g. miles, inches, feet, etc.) were converted into the decimal metric system, based on specific studies on conversion between historical and modern measuring systems (MARTINI, 1883).

“BIBLIO” (references)

The table provides the details of the bibliographic sources used to search data about seismically-induced effects.

“EFFETTI” (ground failures)

The table collects data on earthquake-induced ground failures obtained from the cited sources.

For each site and each earthquake hitting it, the following data are given: ground failures reported in the cited references, macroseismic intensity assigned to the site, epicentral distance and possible dominant lithology.

Where available, also the intensity on the ESI scale (*Environmental Seismic Intensity scale*: MICHETTI *et alii*, 2004) is given.

Ground failures are classified into five macrocategorie in the following hierarchical order: landslides, ground cracks, liquefaction, surface faulting, ground level changes, each divided into sub-categories (Tab. 1).

QUERYING OF THE CATALOGUE

The *on-line* CEDIT query system was developed by using the services of *ArcGis-online*, based on ESRI cloud technology also reliable to be consulted on *SmartPhone*. The *Web-GIS* so developed is available on CERI website www.ceri.uniroma1.it from January 2013. The present release of the *on-line* CEDIT catalogue will be updated by introducing a *geo-database* consulting system and a querying for the research keys with graph or table outputs.

As shown in Figure 3, the CEDIT *Web-GIS* has an upper section (“TOP”) with: menus for selecting layers and basic maps; measuring editor; print key; search key (search limited to regional toponyms) and the *Web-GIS* link sharing key.

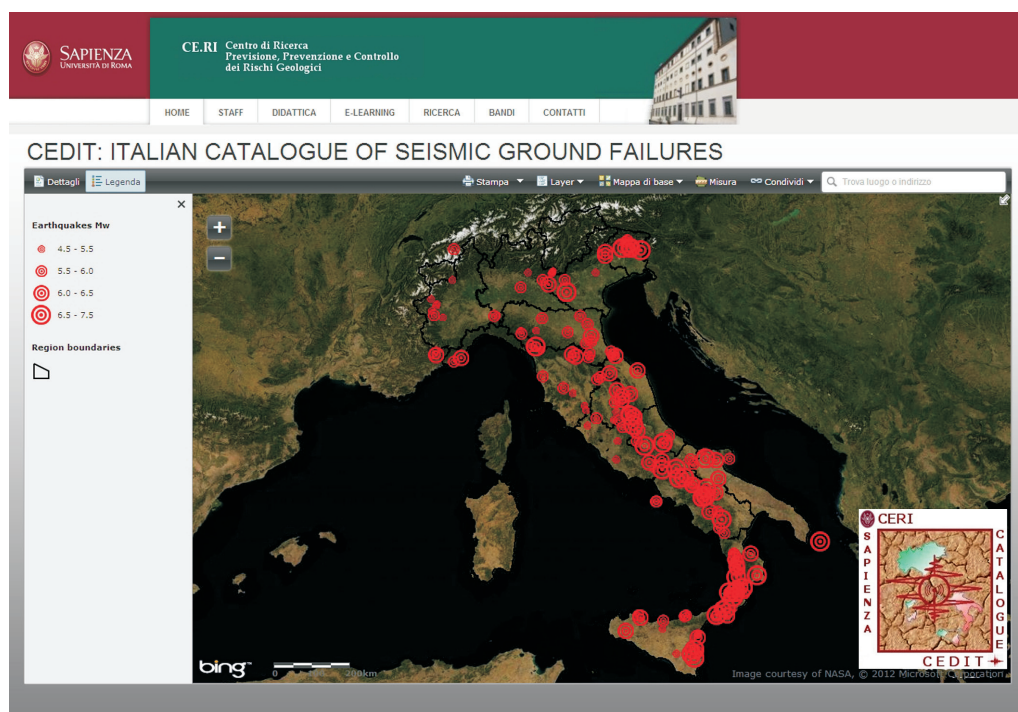


Fig. 3 - Esempificazione della schermata iniziale del Web-GIS per la consultazione del catalogo CEDIT sul sito www.ceri.uniroma1.it
 - Welcome screen of the Web-GIS for querying CEDIT on the website www.ceri.uniroma1.it

Nella parte sinistra della *web-page*, invece, compare in forma estesa la legenda dei vari *layers* rappresentati nella mappa e che sono stati selezionati dal menu presente nel TOP. I *layers* terremoti e limiti regionali vengono visualizzati, qualora selezionati dall'apposito menù, alla scala dell'intera nazione mentre, aumentando la scala di osservazione, vengono visualizzati anche i *layers* relativi agli effetti associati ai terremoti, qualora selezionati nell'apposito menù di scelta.

Infine, nella "sezione Dettagli" sono riportati i metadati del lavoro ed i riferimenti per la sua citazione ufficiale.

La Figura 4 riporta un esempio di consultazione *on-line* del catalogo CEDIT. In tale esempio, si fa riferimento al terremoto dell'Irpinia del 1853; cliccando sul simbolo del *layer* terremoti (dopo averlo selezionato dall'apposito menù presente nel TOP) si apre una finestra *pop-up* con le seguenti informazioni:

- una prima lista (superiore) contiene informazioni relative al sito: il codice CEDIT identificativo dell'evento sismico, la data dell'evento sismico, l'area di interesse, l'intensità macrosismica (MCS) e la magnitudo (Mw);
- una seconda lista (centrale) è dedicata ai riferimenti (codici identificativi) relativi al "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (CPTI04) e al "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS3.1), entrambi con relativo *link* per la loro diretta consultazione sul sito ufficiale dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://www.ingv.it/it/>);
- una terza lista (inferiore) contiene il numero di effetti indotti dal

The left section of the *web-page* comes with an extensive legend of the different map layers selected from the TOP section. The earthquake layers and the regional boundaries are displayed at national scale (if they have been selected from the appropriate menu). By increasing the level of detail, the user may also view the layers of the earthquake-induced effects (if he has selected them from the appropriate menu).

Finally, the "sezione Dettagli" (details section) reports the metadata of the document and the references for its formal citation.

Figure 4 is an example of *on-line* querying of CEDIT. The example refers to the Irpinia earthquake of 1853. By clicking on the earthquake layer icon (after selecting it on the appropriate menu in the TOP section), the system will open a *pop-up* window with the following data:

- a first (upper) list containing data about the site: CEDIT code identifying the seismic event; date of the event; area involved; macroseismic intensity (MCS) and magnitude (Mw);
- a second (central) list reporting the identification codes of the "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (parametric catalogue of Italian earthquakes - CPTI04) and of the Database of Individual Seismogenic Sources (DISS3.1), both with the related link to INGV's website (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://www.ingv.it/it/>);
- a third (lower) list giving the number of seismically-induced effects by type (Landslides, Liquefaction, Ground cracks, Surface faulting and Ground changes).

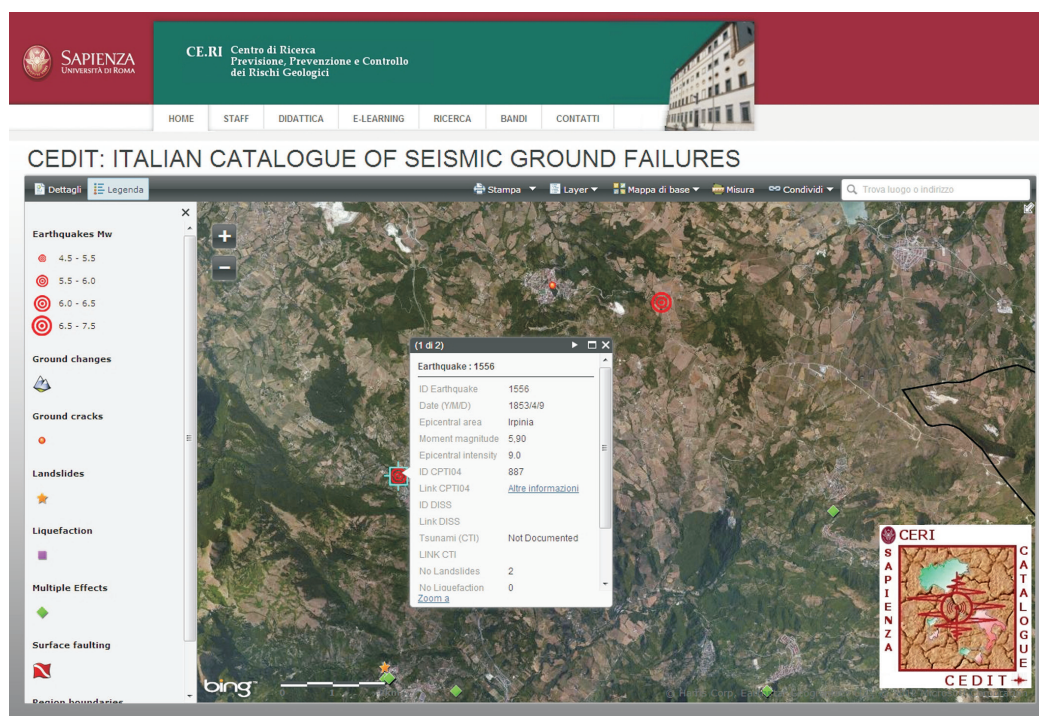


Fig. 4 - Consultazione *on-line* del catalogo CEDIT sul sito www.ceri.uniroma1.it: esempio di *pop-up* relativo alla voce "Earthquake"
 - *On-line querying of CEDIT on the website www.ceri.uniroma1.it: example of pop-up window for the "Earthquake"*

terremoto e suddivisi per tipologie (*Landslides*, *Liquefaction*, *Ground cracks*, *Surface faulting*, *Ground changes*).

Analogamente, in Figura 5 è riportato un esempio delle informazioni che compaiono, cliccando il simbolo relativo ad una data tipologia di effetto.

In particolare, l'esempio fa riferimento ad uno degli effetti "Ground Crack" censito nel catalogo; nel *pop-up* informativo, che si apre cliccando sul simbolo presente nella mappa, sono presenti sia le informazioni relative all'identificazione dell'effetto (codice, nome del sito interessato, codice ISTAT località), sia le informazioni relative al terremoto che lo ha generato (data, epicentro e, ove disponibile, l'intensità macrosismica locale).

Infine, il *pop-up* presenta il *link* per il *download* di una scheda in formato *.pdf contenente le fonti bibliografiche a supporto dell'effetto censito (Fig. 6).

ANALISI DEI DATI RIPORTATI NEL CATALOGO

Il catalogo CEDIT nella sua nuova versione comprende più di 150 terremoti e circa 3000 effetti in oltre 1100 località. I valori assoluti hanno ovviamente un significato ridotto nel caso di un catalogo inevitabilmente incompleto (come lo sono del resto tutti i cataloghi macrosismici) e soggetto a continue revisioni e aggiornamenti, che si rendono necessari sia data la disponibilità di nuovi studi sia a causa di nuovi eventi sismici. Un esempio di ciò è dato dalla recente crisi sismica emiliana del 2012, i cui dati non sono ancora

Similarly, Figure 5 provides an example of data that the user may view by clicking on the icon of a given type of effect.

The example refers in particular to one of the ground cracks censused in the catalogue. The pop-up window, which opens by clicking on the icon shown on the map, displays both data identifying the effect (code, site name, ISTAT site code) and data describing the associated earthquake (date, epicentre and, where available, local macroseismic intensity).

Finally, the pop-up window shows a link for downloading a *.pdf file with the bibliographic sources available for the selected effect (Fig. 6).

ANALYSIS OF THE CATALOGUE DATA

The new release of the CEDIT catalogue includes data about over 150 earthquakes and roughly 3,000 earthquake-induced ground failures in more than 1,100 sites. As is obvious, absolute values are poorly significant, since the catalogue (just as all macroseismic catalogues) is inevitably incomplete and subject to continuous revisions and updates (as new studies become available and new seismic events occur). For instance, the current release does not include data about the recent seismic crisis of Emilia (2012), which are still being collected and validated.

The diagram of Fig. 7 compares the distribution of earthquake-induced ground failures by type, reported in the first release and in the current one of CEDIT, and also shows the distribution of the subcategories of each type of ground failure.

NEW RELEASE OF THE ITALIAN CATALOGUE OF EARTHQUAKE-INDUCED GROUND FAILURES (CEDIT)

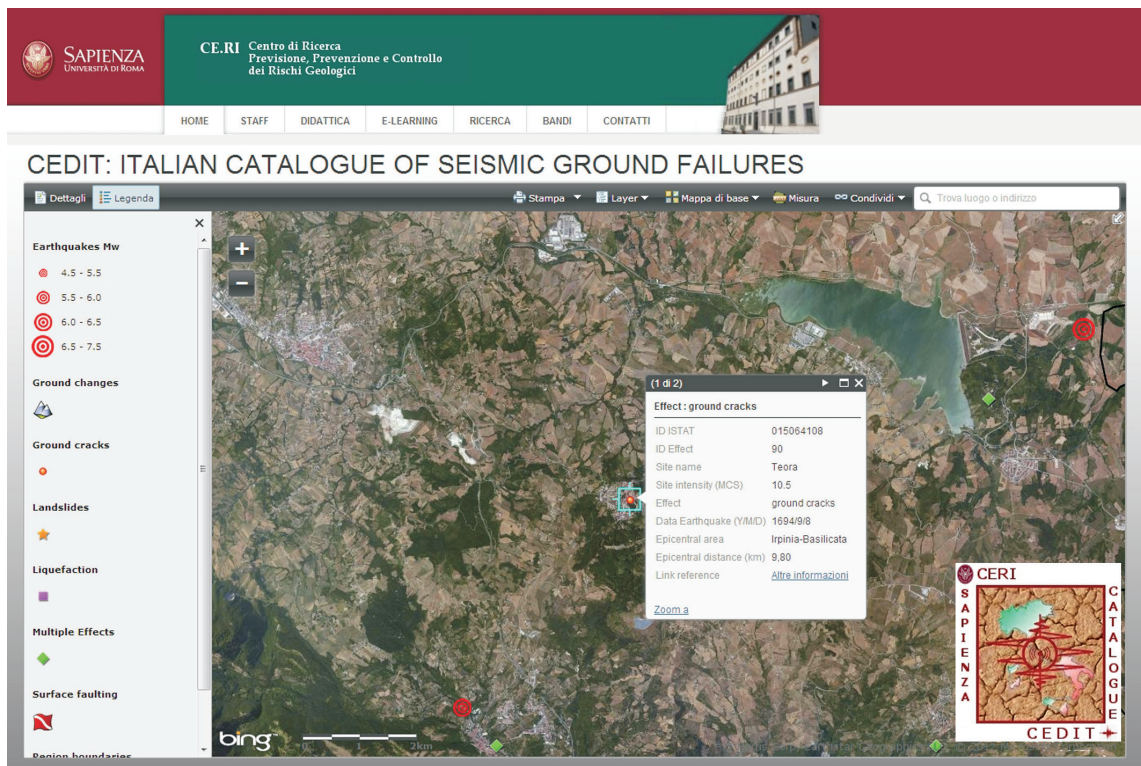


Fig. 5 - Consultazione *on-line* del catalogo CEDIT sul sito www.ceri.uniroma1.it: esempio di pop-up relativo alla voce "Ground crack"
 - *On-line querying of CEDIT on the website www.ceri.uniroma1.it: example of pop-up window for the "Ground crack"*



Id effect 391

Site Reggio di Calabria

Effects: *ground cracks* *water and sand ejection from fissures* *subsidence*

Lat. 38.119 Long. 15.653



Sentence	ID reference	Title	Year	First author	Publishing
...lungo tutta la costa calabrese dello stretto una striscia più o meno larga di spiaggia per effetto dei franamenti è scomparsa, inghiottita dal mare.Spaccature parallele al lido nel terreno prossimo al mare.	30	Il terremoto del 28 dicembre 1908 in Reggio Calabria e provincia	1909	Novarese V.	Boll. del R. Comitato Geologico d'Italia, s.IV, vol. XL, fasc.1
Abbassamento del suolo a Reggio.	28	La catastrofe sismica Calabro-Messinese (28/12/1908).	1910	Baratta M.	Relazione alla Soc. Geografica Italiana, Roma.
Innumerevoli piccole frane nelle montagne di Reggio,e tra Reggio e Bagnara Calabria.	14	I terremoti d'Italia nel trentacinquennio 1899-1933	1935	Cavasino A.	Annali Uff. Centr. Meteo. e Geodinamica, s.III,vol.IV
Aperture con fuoriuscita d'acqua mista a fango con formazione di vulcanelli.	10	Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia	1993	Galli P.	Il Quaternario n.6
vedi testo	145	Le deformazioni del suolo e i forti terremoti in Italia	1993	De Natale G.	Le Scienze, n.293, gennaio 1993

THE NEW RELEASE OF THE ITALIAN CATALOGUE OF EARTHQUAKE-INDUCED GROUND FAILURES (CEDIT) BY FORTUNATO C., MARTINO S., PRESTININZI A. & ROMEO R.W. WITH THE CO-OPERATION OF FANTINI A. & SARANDREA P.

Fig. 6 - Esempio di tabella relativa ad un singolo effetto contenente le informazioni sulle fonti bibliografiche consultate
 - *Example of schedule containing the bibliographic sources considered for a specific effect*

compresi nell'attuale versione del catalogo in quanto tuttora in corso di acquisizione e validazione.

Il grafico della distribuzione tipologica degli effetti sismoindotti di Fig. 7, confronta gli effetti censiti nella prima versione del catalogo CEDIT, con quelli presenti nel suo attuale aggiornamento. Sono state, inoltre, riportate anche le distribuzioni relative alle sottocategorie di ciascuna tipologia di effetto.

Dalla distribuzione dei valori riportata nel grafico di Fig. 7, si può notare un aumento generale del numero degli effetti censiti per ciascuna categoria di effetto sismoindotto. Inoltre, mediante l'utilizzo di un sistema informativo geografico (GIS) è stato possibile allestire la carta degli effetti sismoindotti sul territorio nazionale, dall'anno 1117 d.C. al 2009, riportata in Tavola 1.

Solo raramente si è verificato un impoverimento del dato, relativo al precedente censimento, derivante da una rivisitazione e correzione delle fonti bibliografiche più aggiornate, in riferimento ad alcuni eventi sismici.

Dall'attuale analisi degli effetti censiti nella presente versione del catalogo CEDIT, si può dedurre come il maggior numero di effetti

The distribution of the values shown in Fig. 7 evidences a general increase in the number of ground failures censused for each category. A GIS-based map of Italian earthquake-induced ground failures from 1117 AD to 2009 is also provided in Plate 1. In most cases, the revision and update of the bibliographic sources available for some seismic events did not impoverish the previously censused data.

The analysis of seismically-induced effects reported in the current release of CEDIT infers that most of them are landslides, which account, alone, for about half of the total (44%). Landslides are followed by ground cracks (29%), liquefaction (14%), surface faulting (7%) and, finally, ground changes (6%) (Fig. 8).

Figure 9 exhibits the cumulative distribution of earthquake-induced ground failures over time, from 1000 AD to 2009. The rate changes of the cumulative curve are associated with the main earthquakes which led to a significant increase in the number of observed ground failures, such as the ones in southern Italy in 1693, 1783 and 1908. The further increase which may be noted approximately from the 1980s onwards (1976 Friuli earthquake) is due to the fact that the effects caused by strong earthquakes are now systematically censused.

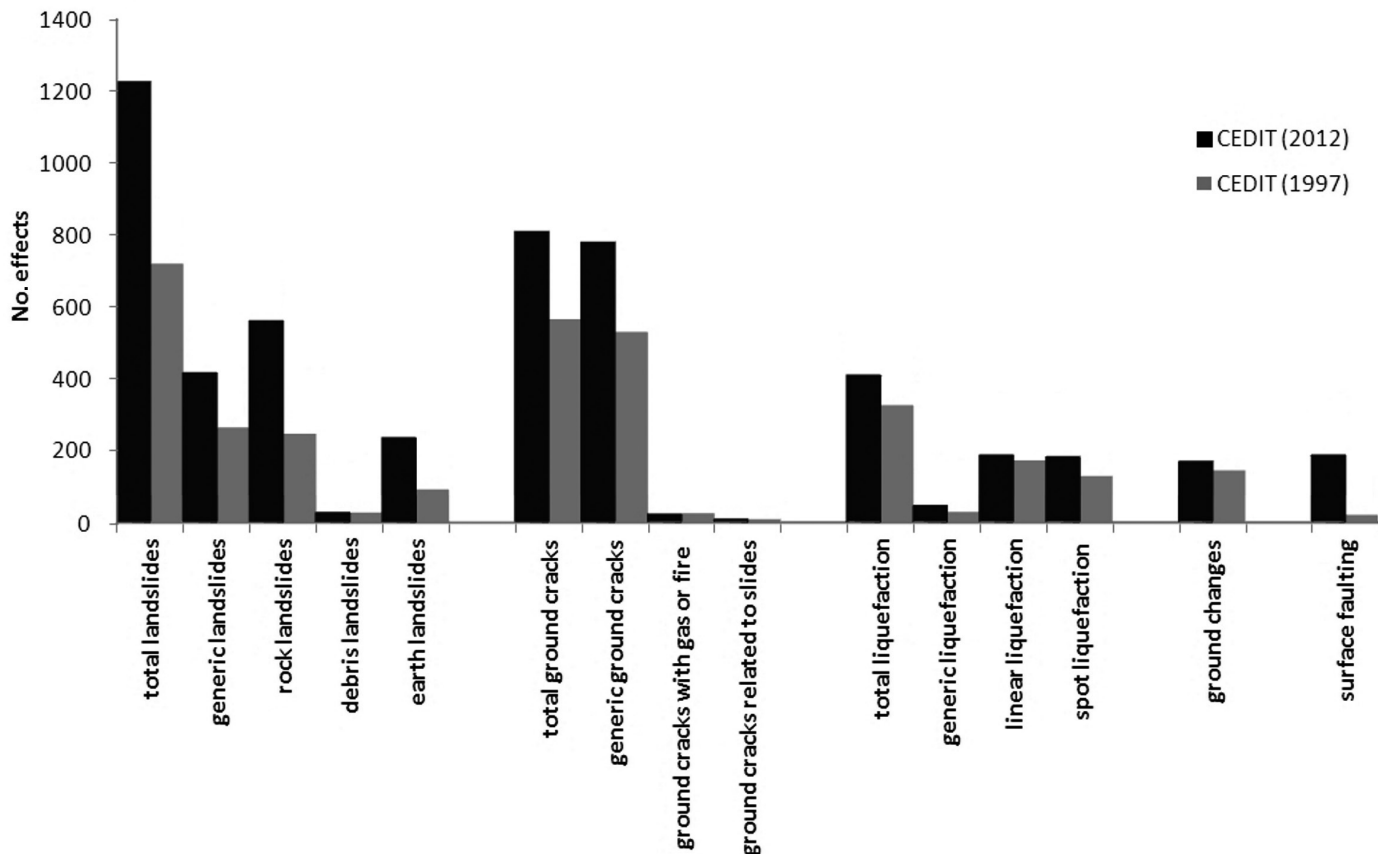


Fig. 7 - Distribuzione degli effetti per sottocategorie di fenomeni sismoindotti (vedi Tab. 1). In grigio, per confronto, i dati riportati nella precedente versione del catalogo (DELFINO & ROMEO, 1997)
 - Distribution of earthquake-induced ground failures by subcategory (see Tab. 1); for comparison, the data reported in the previous release are highlighted in gray (DELFINO & ROMEO, 1997)

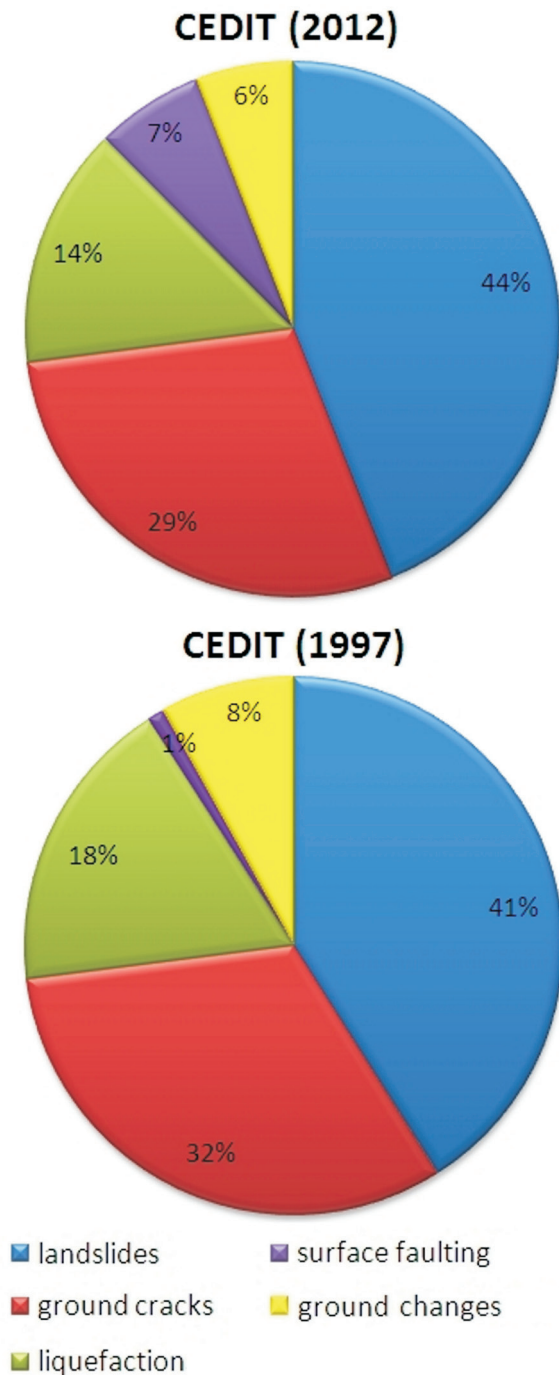


Fig. 8 - a) Percentuale di effetti indotti dai terremoti risultanti nella versione aggiornata del catalogo CEDIT. b) Percentuale di effetti indotti dai terremoti, distinti per tipologia, risultanti nella precedente versione del catalogo (DELFINO & ROMEO, 1997)
 - a) Percentage of earthquake-induced ground failures in the current release of the CEDIT catalogue. b) Percentage of earthquake-induced ground failures, by type, in the previous release of the CEDIT catalogue (DELFINO & ROMEO, 1997)

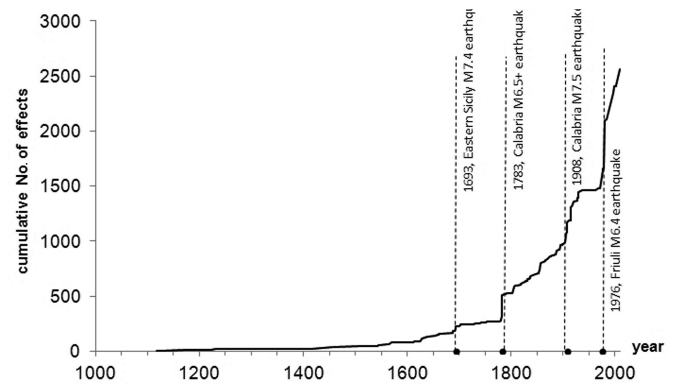


Fig. 9 - No. Cumulato di effetti in funzione dell'anno di occorrenza dei terremoti
 - Cumulative number of ground failures vs. year of earthquake occurrence

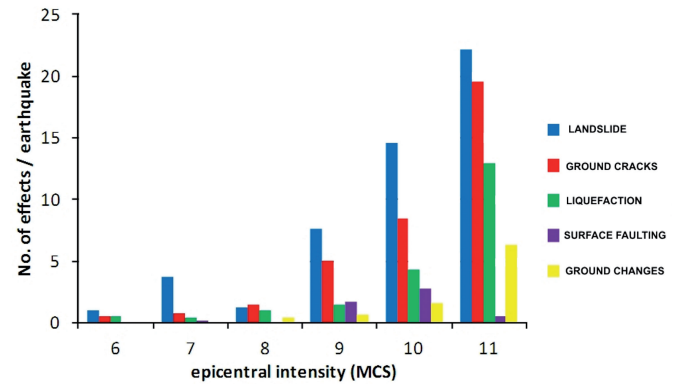


Fig. 10 - Frequenza assoluta degli effetti riportati nel catalogo CEDIT per evento sismico
 - Absolute frequency of ground failures by seismic event reported in the CEDIT catalogue

Fig. 10 gives the frequency of earthquake-induced effects; all effects point to an exponential increase with epicentral intensity, with the only exception of surface faulting, whose systematic monitoring was introduced only recently, in spite of a less frequent occurrence of strong earthquakes.

As regards the combined effect of severity and propagation of seismic events, Fig. 11 exhibits the relative distribution of effects vs. local intensity (MCS scale). All effects show a modal value at degree 8, whereas the triggering threshold (5% confidence level) ranges from 5 to 6 degrees for landslides and is about one degree higher (6-7) for all other types of ground failures.

As to the attenuation of effects with distance, Figure 12 gives the distribution of effects vs. epicentral distance. All effects have an exponential decay with distance, except for surface faulting, for which the number of effects observed at distances of 10 to 20 km is higher than those at shorter distances. However, this finding is justified by the fact that epicentral distance overestimates the actual distance with respect to the surface projection of the fault plane, whose surface ex-

sismoindotti sul terreno sia rappresentato da eventi franosi che, da soli, costituiscono quasi la metà degli effetti totali (44%); a questi seguono fenomeni di fratturazione superficiale (29%), di liquefazione (14%), di fagliazione superficiale (7%) ed, infine, di variazioni topografiche (6%) (Fig. 8).

In Fig. 9 è mostrata la distribuzione cumulata nel tempo degli effetti dall'anno 1000 d.C. al 2009. Le variazioni di pendenza corrispondono ai principali terremoti che hanno prodotto un significativo aumento delle osservazioni di fenomeni sismo indotti, come i terremoti dell'Italia Meridionale del 1693, del 1783 e del 1908. Inoltre, a partire circa dagli anni '80 (terremoto del Friuli 1976), l'ulteriore aumento è dovuto alla sistematicità con cui oramai gli effetti sismo indotti vengono censiti a seguito di forti terremoti.

In Fig. 10 è mostrata la frequenza degli effetti per terremoto; tutti gli effetti mostrano un aumento esponenziale al crescere dell'intensità epicentrale con la sola eccezione della fagliazione superficiale la cui l'osservazione sistematica si è diffusa solo in tempi recenti, pur se a fronte di una ridotta occorrenza di forti terremoti.

Per quanto riguarda l'effetto combinato della severità degli eventi sismici e della propagazione, in Fig. 11 è mostrata la distribuzione relativa degli effetti in funzione dell'intensità locale (scala MCS). Tutti gli effetti mostrano un valore modale in corrispondenza della classe VIII, mentre per quanto riguarda la soglia di innesco, fissato un livello di confidenza del 5%, questa risulta essere compresa tra il V-VI grado per le frane e di circa un grado superiore (VI-VII) per tutte le altre tipologie.

Per quanto riguarda l'attenuazione dei fenomeni con la distanza, in Figura 12 è mostrata la distribuzione degli effetti in funzione della distanza epicentrale. Tutti gli effetti mostrano un decadimento esponenziale con la distanza tranne nel caso della fagliazione superficiale, per la quale si osserva un maggior numero di effetti a distanze comprese tra 10 e 20 km, rispetto alla classe di distanza inferiore. Ciò, tuttavia, è spiegato dal fatto che la distanza epicentrale sovrastima la reale distanza rispetto alla proiezione in superficie del piano di faglia, la cui manifestazione superficiale è colta proprio dall'effetto della fagliazione.

CONCLUSIONI

Il Catalogo italiano degli Effetti Deformativi al suolo Indotti da forti Terremoti (CEDIT) è stato realizzato al fine di censire gli effetti sismo indotti prodotti dai principali terremoti avvenuti in Italia a partire dall'anno 1000 d.C. Il catalogo riprende la prima versione dello stesso realizzata da ROMEO & DELFINO (1997) con i principali terremoti occorsi fino al 1984, aggiornandolo per i terremoti più recenti con gli eventi dell'Umbria-Marche del 1997, del Pollino del 1998, del Molise e del Tirreno Meridionale del 2002 e dell'Aquila del 2009. Sono stati revisionati i dati relativi ad alcuni precedenti terremoti per i quali, nel frattempo, si erano resi disponibili ulteriori studi ed approfondimenti, tra i quali il terremoto del Molise del 1805 e dell'area Irpina del 1930 e del 1980. Pertanto, la corrente versione del catalogo CEDIT è costituita in parte di dati recepiti dalla prima

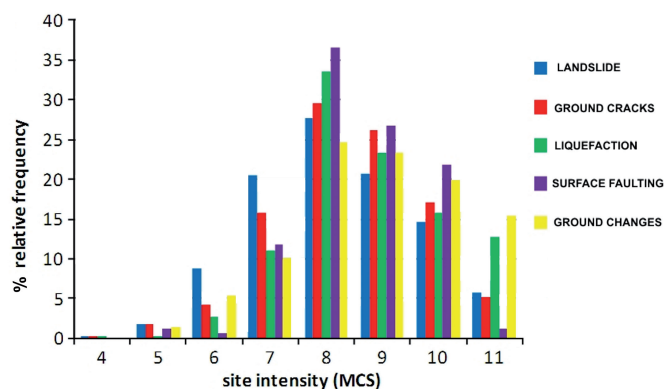


Fig. 11 - Frequenza relativa degli effetti riportati nel catalogo CEDIT in funzione dell'intensità locale (scala MCS)
 - Relative frequency of ground failures vs. local intensity (MCS scale) reported in the CEDIT catalogue

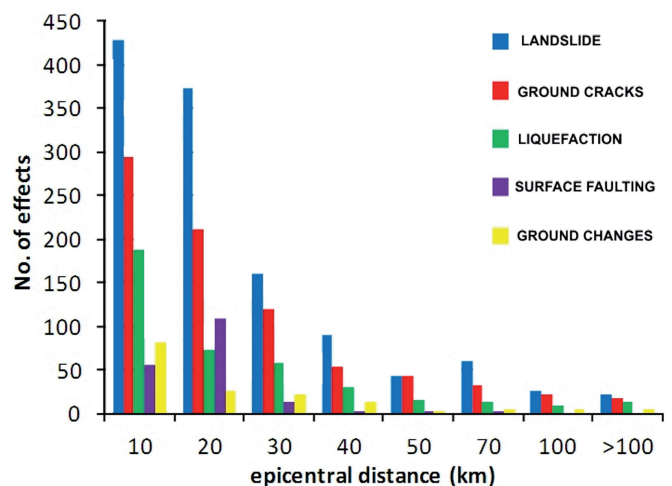


Fig. 12 - Distribuzione degli effetti riportati nel catalogo CEDIT in funzione della distanza epicentrale dal terremoto
 - Distribution of ground failures vs. epicentral distance from the earthquake reported in the CEDIT catalogue

pression is just the faulting effect.

CONCLUSIONS

The Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures (CEDIT) was created to report the effects produced by the main earthquakes which occurred in Italy from 1000 AD onwards. The new catalogue updates the previous release (ROMEO & DELFINO, 1997) concerning the main earthquakes occurred until 1984. The catalogue was updated with data about the more recent earthquakes: Umbria-Marche in 1997, Pollino in 1998, Molise and southern Tyrrhenian area in 2002 and L'Aquila in 2009. Data about some previously censused earthquakes were revised on the basis of additional studies which became available in the meantime, such as those on the Molise earthquake in 1805 and on the ones in the Irpinia area in 1930 and 1980. Therefore, the current CEDIT consists in part of data from the

versione ed in parte da quelli aggiunti nell'aggiornamento recente.

Dall'analisi effettuata sugli effetti riportati nel catalogo (frane, fratturazioni, liquefazioni, variazioni topografiche, fagliazioni superficiali) si nota come, tra le diverse tipologie di effetti sismoindotti, le frane, costituendo il 44% degli effetti totali censiti, rappresentino quella prevalente. L'abbondanza relativa di fenomeni franosi è dovuta alla maggiore rilevabilità di questa fenomenologia rispetto alle altre sia per l'esistenza di forme persistenti, come gli accumuli, sia per il più elevato potenziale di danneggiamento ad essa associato. Per tutte le tipologie di effetti sismoindotti si osserva, comunque, un sostanziale aumento della numerosità di quelli censiti con l'avvento del monitoraggio strumentale (ovvero a partire dal '900), che ha evidentemente comportato una maggiore sistematicità nell'osservazione e nel rilevamento degli effetti sismoindotti.

L'implementazione del database in ambiente GIS, oltre a permettere la realizzazione della carta, riportata in Tavola 1, relativa agli effetti sismoindotti censiti a scala nazionale, permette la consultazione del catalogo mediante un sistema *Web-GIS* di consultazione *on-line*, che è ora disponibile all'indirizzo <http://www.ceri.uniroma1.it> e di cui il presente lavoro costituisce anche una guida sintetica all'uso.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano F. Nardoni per il supporto tecnico alla gestione on-line del catalogo sul sito del CERi e L. De Martino per il *design* del logo CEDIT.

OPERE CITATE / REFERENCES

- BOZZANO F., LENTI L., MARTINO S., PACIELLO A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2008) - *Self-excitation process due to local seismic amplification responsible for the reactivation of the Salcito landslide (Italy) on 31 October 2002*. Journal of Geophysical Research, **113**: B10312, doi:10.1029/2007JB005309.
- BOZZANO F., LENTI L., MARTINO S., PACIELLO A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2011) - *Evidences of landslide earthquake triggering due to self-excitation process*. Int. Journal of Earth Sciences, **100**: 861-879. DOI. 10.1007/s00531-010-0514-5.
- CAMASSI R. & STUCCHI M. (a cura di) (1997) - *Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. A parametric catalogue of damaging earthquakes in the Italian area*. versione NT4.1.1 luglio 1997. <http://emidius.mi.ingv.it/NT/CONSNT.html>.
- DELFINO L. & ROMEO R.W. (1997) - *C.E.D.I.T., Catalogo nazionale degli Effetti Deformativi del suolo Indotti da forti Terremoti*. Rapporto Tecnico SSN/RT/97/04.
- DISS WORKING GROUP (2010) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- GALLI P. (2000) - *New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction*. Tectonophysics **32**, 169-187.
- GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it>
- I.N.G. (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G. (EDS.), ING-SGA, Bologna, 970 pp.
- KEEFER D.K. (1984) - *Landslides caused by earthquakes*. Bull.Soc.Geol.Am., **95**, 406-421
- MANCINI B., MARTINO S., PRESTININZI A., RISCHIA I. & ROMEO R. (2001) - *Studio delle condizioni di stabilità dei versanti a seguito di forti terremoti: applicazione ad un'area tipica dell'Appennino Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **56**: 83-98.
- MARTINI A. (1883) - *Manuale di metrologia*. Ed. Loescher, Torino.
- MARTINO S., PRESTININZI A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2004) - *Geological-evolutionary model of a gravity-induced slope deformation in the carbonate central Apennines (Italy)*. Q J Eng Geol Hydrogeology, **37** (1): 31-47.
- MARTINO S., PRESTININZI A. & ROMEO R. (2012) - *An upgrade of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures CEDIT*. In: 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbona, 24-28 settembre 2012.
- MICHETTI A.M., ESPOSITO E., GURPINAR A., MOHAMMADIOUN B., MOHAMMADIOUN J., PORFIDO S., ROGOZHIN E., SERVA L., TATEVOSSIAN R., VITTORI E., AUDEMARD F., COMERCI V., MARCO S., MCCALPIN J. & MORNER N.A. (2004) - *The INQUA Scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-*

first release and in part of data added upon its recent update.

The analysis of the effects reported in CEDIT (landslides, ground cracks, liquefaction, ground changes, surface faulting) highlights that landslides are the dominant type (44% of the total). The relative abundance of landslides is due to their more systematic monitoring through persistent landslide deposits and to their higher damage potential. However, the number of seismically-induced effects rose sharply after the advent of instrumental monitoring (since 1900), which clearly involved their more systematic detection and reporting.

The implementation of the database in the GIS environment made it possible to build the map shown in Plate 1 (earthquake-induced ground failures censused at national level) and to consult it through an on-line queryable Web-GIS system (<http://www.ceri.uniroma1.it>). This study represents, among others, a concise users' guide for the system.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Authors thank F. Nardoni for web-mastering the on-line version of the catalogue in the CERi web-site, L. De Martino for the CEDIT logo design.

- induced ground effects in natural environment*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, **67**. PADRE ELISEO DELLA CONCEZIONE, Teresiano Accademico Pensionario della Reale Accademia delle Scienze e delle Belle Lettere, *Carta Corografica della Calabria Ulteriore*, Acquaforte, 1416 x 1144, Napoli, 1783.
- PORFIDO S., ESPOSITO E., GUERRIERI L., VITTORI E., TRANFAGLIA G. & PECE R. (2007) - *Seismically induced ground effects of the 1805, 1930 and 1980 earthquakes in the Southern Apennines, Italy*. Boll.Soc.Geol.It., **126**, 333-346.
- POSTPISCHL D. ED. (1985a) - *Atlas of isoseismal Maps of Italian Earthquakes*. CNR-PFG, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114, **2A**, Bologna.
- POSTPISCHL D. ED. (1985b) - *Catalogo dei forti terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR-PFG, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114, **2B**, Bologna.
- PRESTININZI A. (1995) - *Il ruolo degli eventi naturali sulla evoluzione urbana del centro abitato di Caulonia-Castelvetere (Reggio Calabria)*. Geologia Applicata ed Idrogeologia, **30-1**: 393-405.
- SARCONI M. (1794) - *Historia dé fenomeni del tremuoto avvenuto nella Calabria e nel Valdemone nell'anno 1783*. Posti in luce alla Reale Accademia delle Scienze e delle Belle Lettere di Napoli.
- SERVA L., ESPOSITO E., GUERRIERI L., PORFIDO S., VITTORI E. & COMERCI V. (2007) - *Environmental effects from five historical earthquakes in southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: Contribution to INQUA EEE Scale Project*. Quaternary International 173-174 (2007) 30-44
- STUCCHI M., CAMASSI R., ROVIDA A., LOCATI M., ERCOLANI E., MELETTI C., MIGLIAVACCA P., BERNARDINI F. & AZZARO R. (2007) - *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*. Quaderni di Geofisica, **49**, 38 pp. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>.
- TINTI S., MARAMAI A. & GRAZIANI L. (2007) - *The Italian Tsunami Catalogue (ITC), Version 2*. web site: http://roma2.rm.ingv.it/facilities/data_bases/27/catalogue_of_the_italian_tsunamis
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movements types and processes*. In SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (ED.), "Landslides-Analysis and Control", 12-33, National Academy of Sciences and Transportation Research Board, Special report 176.
- ZECCHI R. (1987) - *Carta della distribuzione degli effetti geomorfologici indotti dai terremoti che hanno interessato l'Italia dall'anno 0 al 1986*. Mem.Soc.Geol.It, **37**: 823-826.

Received September 2012 - Accepted November 2012

MAP OF EARTHQUAKE-INDUCED GROUND FAILURES IN ITALY

Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2 (2012)

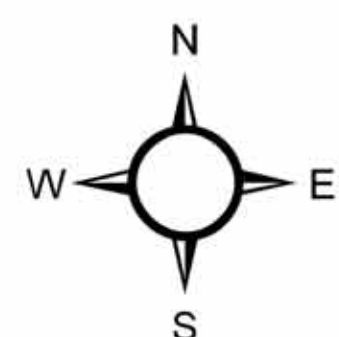
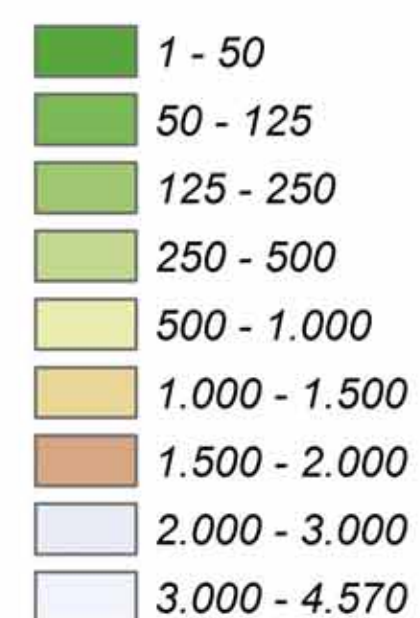
Carolina FORTUNATO(*), Salvatore MARTINO(**), Alberto PRESTININZI(**) & Roberto W. ROMEO(***)
with the co-operation of Andrea Fantini(****) and Paolo Sarandrea(****)
NUOVA VERSIONE DEL CATALOGO ITALIANO DEGLI EFFETTI DEFORMATIVI INDOTTI DA FORTI TERREMOTI (CEDIT)
NEW RELEASE OF THE ITALIAN CATALOGUE OF EARTHQUAKE-INDUCED GROUND FAILURES (CEDIT)

(*) Dipartimento Protezione Civile Italiana - Rome, Italy
(**) Sapienza Università di Roma - Centro di Ricerca CERI - Valmontone, Italy
(***) Università di Urbino "Carlo Bo" - Urbino, Italy
(****) Tecnostudi Ambiente s.r.l. Professional Company - Rome, Italy

TAVOLA / PLATE 1

Elevation

meters



Earthquakes

- Mw**
- ★ 4.5
 - ★ 5
 - ★ 5.5
 - ★ 6
 - ★ 6.5
 - ★ 7
 - ★ 7.5

Ground Failures

- ▽ landslide
- ▽ fall, topple, avalanche
- slide
- flow
- ground crack
- liquefaction
- surface faulting
- ground changes

