

IL GEODATABASE DEL CATALOGO DELLA SISMICITA' ITALIANA (CSI)

Maurizio Pignone (*), Raffaele Moschillo (*), Giulio Selvaggi (*), Marco Moro (*),
Barbara Castello (**)

(*) INGV - Centro per la Sismologia e l'Ingegneria Sismica, Grottaminarda (AV) - www.gm.ingv.it

(**) INGV - Centro Nazionale Terremoti, Roma - www.ingv.it

Riassunto

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'ambito del progetto GNDT "Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico" ha prodotto un catalogo dei terremoti italiani relativo a 22 anni di sismicità recente, dal 1981 al 2002. Il catalogo (CSI 1.0 1981-2002) contiene 99.780 terremoti localizzati dei 136.850 registrati e 48.299 stime di magnitudo superiori a 1.5 ed è attualmente distribuito sul sito dell'INGV nella sezione Banche Dati, in formato ASCII. Allo scopo di creare una nuova carta della sismicità recente in Italia ma anche per la realizzazione di una serie di prodotti per una distribuzione interattiva anche su WEB, il catalogo è stato trasformato in un banca dati gestita da un sistema GIS. La banca dati è stata strutturata in un GEODATABASE di ARCGIS 9 contenente *feature class* per ognuno dei 22 anni catalogati e le relative informazioni su ognuno degli eventi sismici. Partendo da un progetto di ArcMap in cui gli eventi sono stati classificati in base alla profondità degli ipocentri e alla loro magnitudo, sono state create applicazioni software per la distribuzione del catalogo (un CD sviluppato con l'estensione ArcGIS ArcPublisher visibile con il gis gratuito Arc Reader e un' interfaccia WEB sviluppata in ARCIMS con funzionalità standard) ed esempi di elaborazioni del dataset per analisi quantitative di tipo geostatistico e spazio-temporale.

Abstract

The National Institute of Geophysics and Vulcanology (INGV) within the GNDT project 'Probable earthquakes in Italy from year 2000 to 2030: guidelines for determining priorities in seismic risk mitigation' has produced a list of Italian earthquakes concerning the recent seismic activity from 1981 to 2002. The catalogue (CSI 1.0 1981-2002) contains 99.780 identified earthquakes out of the 136.850 registered and 48.299 estimates of magnitude superior to 1.5 and is currently published on the INGV web site under the heading 'database', in ASCII format. For the purpose of creating a new map of the recent seismic activity but also for the making of a series of products destined to an interactive distribution on the web, the list has been transformed into a database managed by a GIS system. The database has been structured into a GEODATABASE of ARCGIS 9 which contains the feature class for each one of the 22 listed years and the corresponding information on each seismic event. Based on a project by ArcMap in which the events have been classified based on the depth of the hypocentre and on their magnitude, software applications have been created for the distribution of the catalogue (a CD developed with the extension ArcGis - ArcPublisher readable with the free Gis ArcReader and a web interface developed in ARCIMS with standard functionality) and examples of the processing dataset of quantitative analyses and geostatistical or space-temporal data processing.

Il Catalogo della Sismicità Italiana (CSI 1.0)

Nell'ambito del progetto GNDT “Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico”, coordinatori A. Amato e G. Selvaggi, l'ISTITUTO NAZIONALE di GEOFISICA e VULCANOLOGIA ha prodotto un catalogo dei terremoti italiani (1981-2002), relativo a 22 anni di sismicità recente. Il catalogo comprende i parametri di localizzazione di 99.780 terremoti avvenuti in Italia. Accanto ai parametri di localizzazione sono anche disponibili i tempi di arrivo delle onde P e S registrate alle oltre 400 stazioni della rete sismica nazionale per un totale di 791.000 arrivi di fase P e 609.013 arrivi di fase S. La localizzazione è stata effettuata con una procedura omogenea su tutto il catalogo, ottimizzando il modello di velocità per le onde P e S e assegnando i pesi delle fasi in base a criteri basati su distanza stazione epicentro e residui tra arrivi osservati e calcolati. Il catalogo riporta infine i parametri statistici della localizzazione, inclusi errori sulle coordinate e rms finale (vedi Chiarabba et al., 2005).

La magnitudo dei terremoti è stata stimata per regressione lineare tra un *set* di dati di magnitudo e la durata degli eventi corrispondenti, parametro quest'ultimo anch'esso incluso nel catalogo. E' stato verificato che una relazione lineare del tipo $M = a + b \cdot \log(T) + C_s$, dove M è la magnitudo, T è la durata in secondi del terremoto, C_s è un parametro correttivo per stazione sismica e a e b sono i coefficienti della regressione, permette una soddisfacente *fit* sui dati. L'applicazione dei coefficienti di regressione all'intero *data set* del catalogo ha fornito la stima della magnitudo per oltre la metà dei terremoti del catalogo. In totale, il catalogo della sismicità italiana 1981-2002 contiene 48.299 stime di magnitudo superiori a 1.5.

La carta della Sismicità in Italia

La Carta della sismicità in Italia rappresenta la distribuzione epicentrale di 45.000 terremoti avvenuti in Italia tra il 1981 e il 2002. Tale numero è stato ottenuto operando dei filtri rispetto al



dato originale del CSI 1.0 (circa 100.000 eventi sismici localizzati nel periodo 1981-2002) secondo dei parametri opportuni alla rappresentazione della sismicità in Italia basati essenzialmente sulla bontà della localizzazione (errore sulle coordinate, *gap* azimutale, numero di fasi, *rms*). La mappa è stata realizzata utilizzando il *software* ARCGIS 9 differenziando gli eventi in base alla loro profondità ipocentrale ed in base alla loro magnitudo. Sono state realizzate quattro classi per la profondità, rispettivamente 0-18 km, 18-35 km, 35-190 km, 190-600 km e tre classi per la magnitudo, $M < 4$, $4 < M < 5$, $M > 5$. La maggior parte dei terremoti indicati hanno una magnitudo inferiore a 4.0 e sono localizzati nella crosta superiore, entro 12 km di profondità. Solo 33 terremoti hanno una magnitudo superiore a 5.0 ed il più forte è stato il terremoto che nel Settembre del 1997 ha colpito la regione umbro-marchigiana (Magnitudo $M_w=6.0$). In questa mappa è chiaramente mostrato come nell'Italia peninsulare ci sia una stretta correlazione tra la sismicità e la topografia e come, inoltre, si sia verificato un notevole rilascio sismico sia in corrispondenza

Fig. 1: Carta della Sismicità in Italia

dei vulcani attivi italiani (ad esempio il Monte Etna) che a largo delle coste settentrionali della Sicilia. Nella zona del Tirreno meridionale vi è un'abbondante sismicità profonda in relazione al processo di subduzione della litosfera ionica al di sotto dell'arco calabro. A questo processo sono collegati alcuni dei più forti terremoti registrati in Italia; nel periodo considerato (1981-2002) il più forte terremoto è avvenuto il 6 gennaio 1994 a circa 200 km di profondità ($M_w=5.8$). La Carta della Sismicità in Italia (Fig.1) è disponibile al seguente indirizzo: www.ingv.it/CSI/ stampabile o scaricabile in formato PDF.

Il Geodatabase del CSI

L'informatizzazione dei dati del CSI 1.0 all'interno di un sistema informativo geografico è avvenuta con la creazione di una Banca Dati in formato ESRI *Geodatabase* tramite il software *ArcGIS rel. 9*.

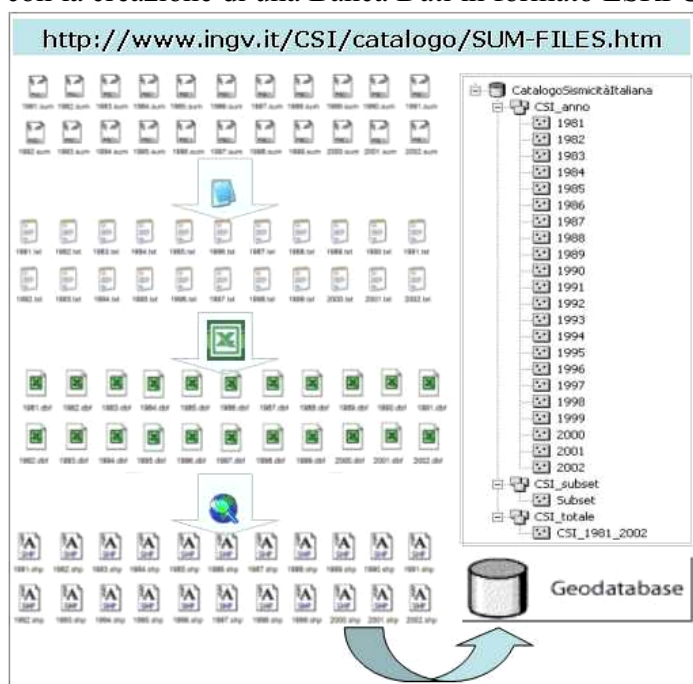


Fig. 2: Fasi per la realizzazione del Geodatabase

Il modello dati *Geodatabase* rende gli oggetti geografici "intelligenti" consentendo all'utente di assegnare regole e comportamenti fruibili nelle applicazioni di analisi spaziale. Fisicamente il *Geodatabase* è memorizzato all'interno di un database relazionale, nel nostro caso *Microsoft Access*, sfruttando una soluzione definita *Personal*. E' stato così possibile inserire all'interno di un singolo file (CatalogoSismicitàItaliana.mdb) tutto il catalogo suddiviso e normalizzato anno per anno ed è stato scelto come sistema di riferimento *GCS_WGS84*. Si è partiti dal formato di diffusione dei dati scelto dall'INGV e presente sul WEB (<http://www.ingv.it/CSI/catalogo/SUM-FILES.htm>) cioè 22 files di tipo ASCII con estensione *sum*, che inseriti in un editor di testo sono stati formattati e salvati con

estensione *txt*. Successivamente, attraverso *Microsoft Excel*, i dati sono stati importati per essere salvati in formato *DBF (db IV)* per essere inseriti in modo corretto all'interno del GIS. Nel *Geodatabase* sono stati creati 3 *Feature Dataset*, il primo chiamato CSI ANNO contenente le *feature class* suddivise anno per anno; il secondo CSI TOTALE, contenente la *feature class* con tutti gli eventi del catalogo (100.000 circa), questa FC è stata realizzata con un'operazione di *geoprocessing (merge)* tra le singole FC degli anni; il terzo FD CSI SUBSET in cui è stata inserita una FC ottenuta da una *query* sul dataset totale e che è servita ad eseguire le analisi spaziali e geostatistiche. Inizialmente i files ASCII erano costituiti da una tabella con 14 campi di attributi. Dopo aver effettuato le varie formattazioni ed eseguendo le modifiche sui files, nel corso dei vari salvataggi, le *feature class* prodotte presentano una tabella di attributi con 17 campi. Infatti rispetto al contenuto di informazioni iniziale del Catalogo, sono state normalizzate e riorganizzate alcune informazioni come la data dell'evento: infatti sono presenti singoli campi di attributi per Anno, Mese, Giorno, Ora e Minuto di ogni singolo evento.

NOME CAMPO	DESCRIZIONE
ANNO	Tempo Origine Espresso in UTC, rappresenta l'anno in cui è avvenuto l'evento
MESE	Tempo Origine Espresso in UTC, rappresenta il mese in cui è avvenuto l'evento
GIORNO	Tempo Origine Espresso in UTC, rappresenta il giorno in cui è avvenuto l'evento
ORA	Tempo Origine Espresso in UTC, rappresenta l'ora in cui è avvenuto l'evento
MINUTO	Tempo Origine Espresso in UTC, rappresenta il minuto in cui è avvenuto l'evento
LAT	Latitudine espressa in decimal degrees

LONG_	Longitudine espressa in decimal degrees
MAGN	Valore della Magnitudo
TMAGN	Tipo di scala di Magnitudo.
GAP_AZIMUT	Massimo GAP AZIMUTALE tra stazione ed epicentro
DIST_STAT_	Distanza dalla stazione più vicina usata nella soluzione di localizzazione (in Km)
NPH	Numero di tempi di arrivo P e S utilizzate nella soluzione di localizzazione
ID_EVENTO	Codice identificativo evento
PROF_Kilom	Profondità dell'ipocentro espresso in chilometri
RMS_sec	Scarto quadratico medio dei residui di stazione espresso in secondi
ERH_Kilom	Errore epicentrale orizzontale espresso in chilometri
ERZ_Kilom	Errore ipocentrale sulla profondità espresso in chilometri

Le applicazioni per la diffusione del Catalogo

Grazie all'inserimento delle informazioni del CSI 1.0 all'interno di un *Geodatabase* è stato possibile pensare allo sviluppo di applicazioni per la visualizzazione e la diffusione dei dati utilizzando le possibilità offerte da *ARCGIS 9*. E' stato realizzato un progetto di *ArcMAP* in cui è stata ripresa fedelmente la classificazione degli eventi per profondità ipocentrale e per magnitudo, sperimentata nella Carta della Sismicità in Italia ed applicata la stessa tematizzazione. In più sono stati aggiunti altri strati informativi (*dtm*, batimetria, confini nazionali, limiti provinciali, capoluoghi), in modo da rendere maggiormente consultabile ed interrogabile il *dataset*. Dal progetto di *ArcMAP* (*mxd*), tramite l'estensione *ArcPublisher*, è stato creato un *PMF*, che insieme ai dati organizzati in *package*, costituiscono il contenuto di un *CD* per la distribuzione. Il *set* di dati utilizzato è duplice: il primo è completo di tutti gli eventi, un secondo è filtrato secondo una *query* basata sulla qualità delle localizzazioni. Il *PMF* è consultabile con il *GIS* gratuito *ARC READER* (presente sul *CD*), che permette all'utente di visualizzare ed esplorare i dati, eseguire delle interrogazioni e selezioni, ed anche stampare ed esportare le mappe tematiche realizzate interattivamente.

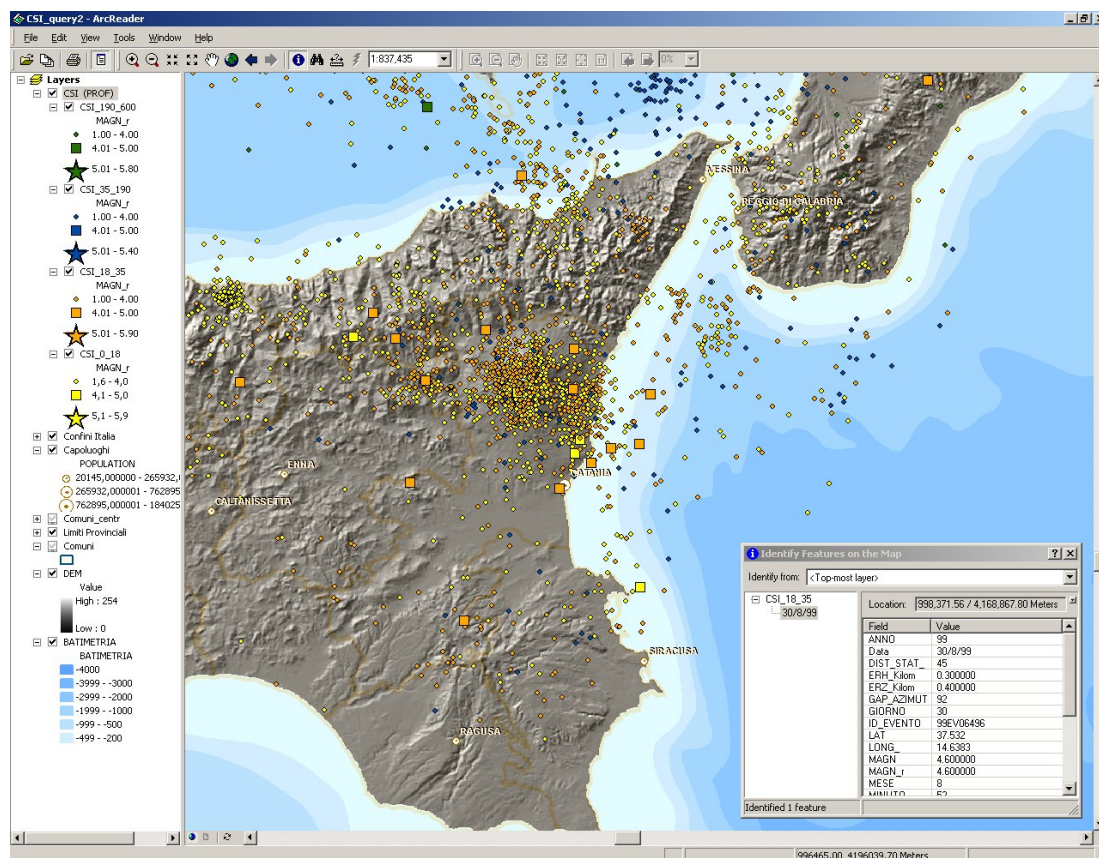


Fig. 3: Applicazione in ArcReader

Sempre dallo stesso progetto di ArcMAP, sono stati creati con ArcIMS 9, una serie di servizi di mappa (*mapservices*) del tipo ArcMapServer, che hanno permesso la pubblicazione su WEB del *geodatabase* del catalogo con le proprietà di classificazione e tematizzazione già descritte.

L'utente infatti, può accedere tramite *browser* ad una vera e propria Carta della Sismicità di Italia interattiva, infatti le funzionalità inserite nel *client HTML* base di ArcIMS permettono di interagire attraverso strumenti di navigazione territoriale (*pan e zoom*), di interrogazione e selezione (*identify*, selezione tramite attributi, selezione geografica), di analisi (*buffer*), di stampa e di esportazione di mappe. Attualmente è possibile consultare in *intranet* (per la sede INGV di Grottaminarda) il *WEBgis* del CSI 1.0 sia anno per anno che nella visione di insieme. Inoltre è in corso lo sviluppo di funzionalità customizzate per l'interfaccia di visualizzazione in modo da rendere ancora più efficace la consultazione e l'analisi dei dati.

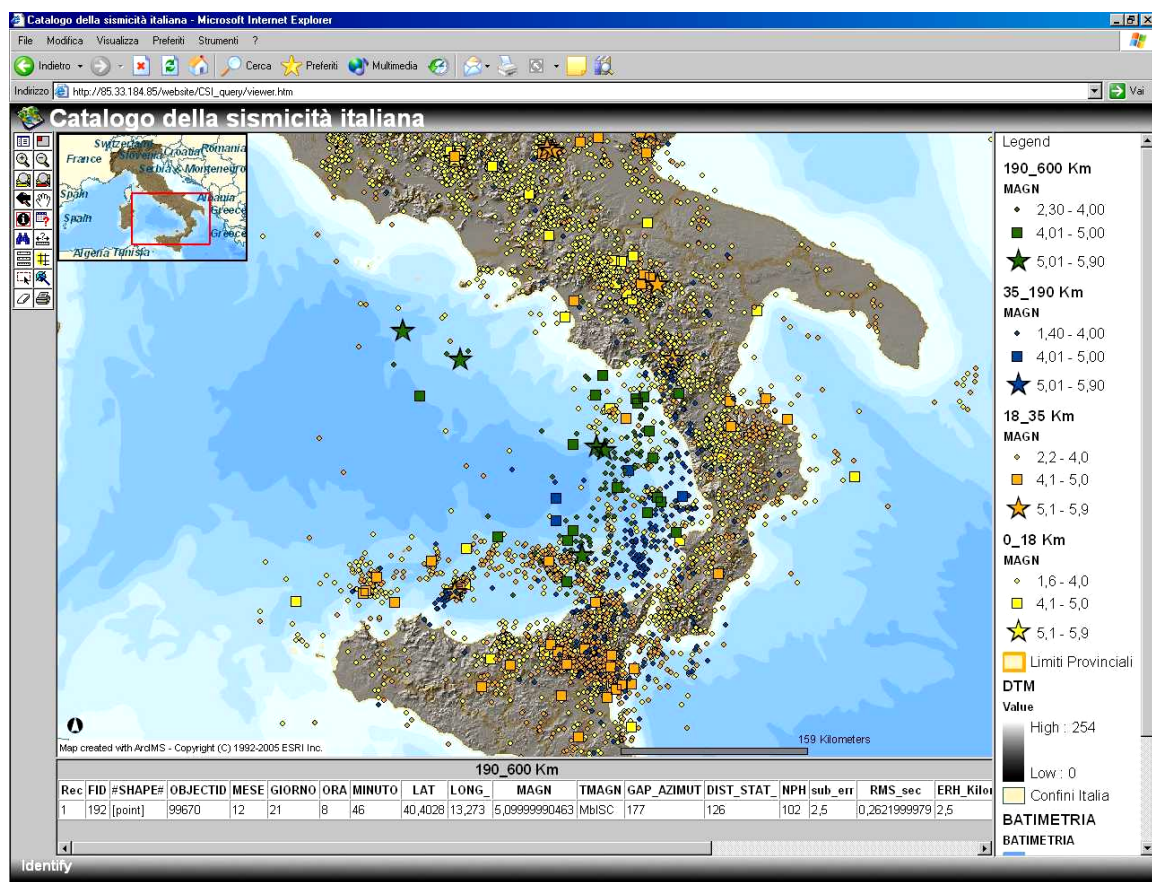


Fig. 4: Interfaccia del WEBGIS

Esempi di applicazioni scientifiche del database

Nel *Geodatabase* del CSI 1.0 è stato creato un *subset* degli eventi tramite una *query* su vari campi di attributi (*GAP_AZIMUT*, *NPH*, *PROF*, *RMS_sec*, *ERH_Kilom*, *ERZ_kilom*) per eseguire alcuni esempi di analisi di tipo quantitativo su terremoti superficiali (max 35 km di profondità) grazie agli strumenti presenti nel GIS. Si è così passati da una visione solo grafica dell'informazione parametrica delle localizzazioni ad una vera e propria analisi di tipo geografico. Dopo aver costruito una griglia di quadrati di tutto il territorio nazionale di grandezza 10x10 Km, si è eseguito uno *spatial join* con il *subset* di eventi sismici per contare il numero di terremoti per ogni elemento della griglia. Si è ottenuta quindi una densità di sismicità per l'area italiana (Fig. 5). Analogamente è stato calcolato per ogni elemento della griglia il logaritmo della sommatoria dei Momento Sismici (parametro fisico associato all'energia rilasciata dal terremoto) di tutti i terremoti inclusi all'interno. Questo ha consentito di avere per tutta Italia un'idea dell'effettivo rilascio energetico degli eventi sismici negli ultimi venti anni. (Fig. 5). Si nota ad esempio come la zona etnea è una delle aree che

ha rilasciato di più sia come numero di terremoti che come energia cumulata anche senza eventi di elevata magnitudo. Si noti inoltre come la regione delle Alpi Occidentali, sebbene sia caratterizzata da una elevata densità di numero di terremoti, non abbia un sensibile rilascio energetico associato. Ciò, ad esempio, riflette una sismicità caratterizzata da numerosi eventi a bassa o bassissima magnitudo. Questi semplici esempi di elaborazione del *subset* hanno evidenziato l'efficacia dell'organizzazione delle informazioni del CSI 1.0 all'interno di una banca dati geografica: il *geodatabase* è un efficace strumento che va al di là delle semplici rappresentazioni grafiche o mappe epicentrali, divenendo una base di partenza per la costruzione di scenari differenti inserendo o sovrapponendo ulteriori *database* territoriali come dati geologici e geomorfologici ma anche sociali o infrastrutturali.

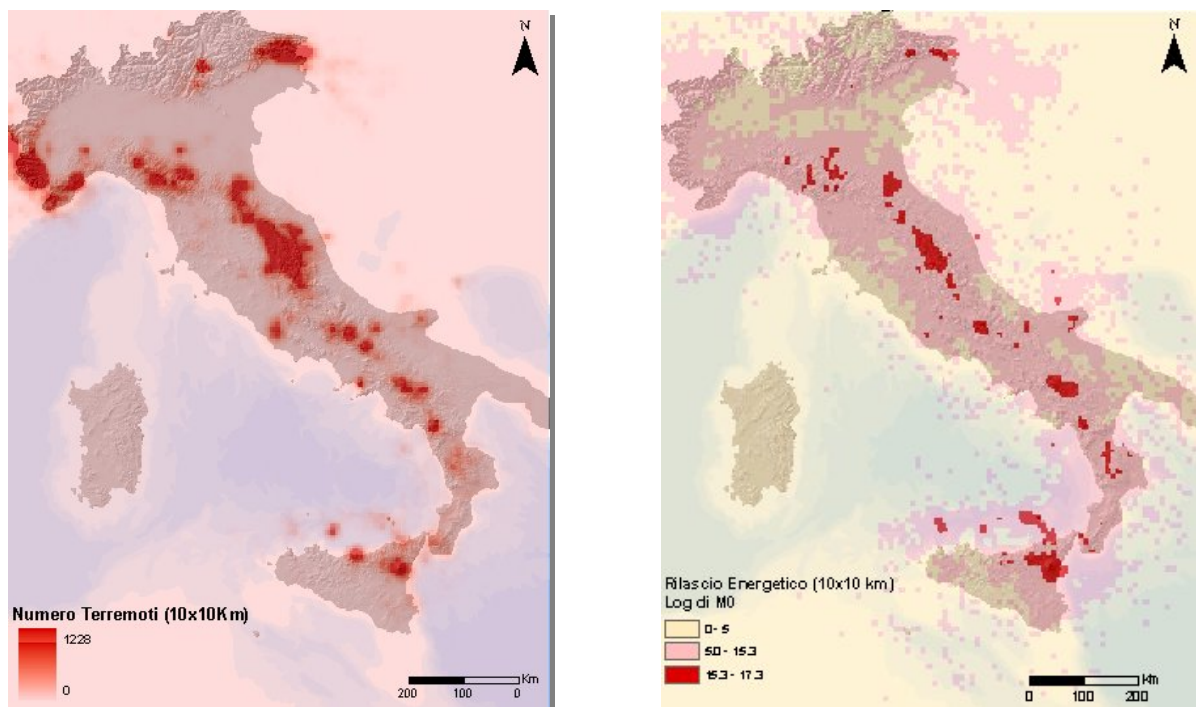


Fig.5: esempi di applicazioni scientifiche del database

Bibliografia

- (1) Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., 2005. *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.0*. INGV-CNT, Roma <http://www.ingv.it/CSI/>
- (2) Castello B., M. Moro, C. Chiarabba, M. Di Bona, F. Doumaz, G. Selvaggi and A. Amato (2004) "Revised magnitudes of relocated Italian earthquakes catalogue (1981-2002): a new seismicity map of Italy." XXIII Congresso del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida (GNGTS)
- (3) CSTI 1.0 Working Group (2001), "Catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996", Versione 1.0 ISBN 88-491-1734-5 Clueb Bologna, CD-ROM.
- (4) Modeling Our World: the ESRI Guide to Geodatabase Design.