

**REALIZZAZIONE DI UNA BANCA DATI DI EFFETTI
INDOTTI DA TERREMOTI SULL'AMBIENTE
(PROGETTO INQUA INTENSITY SCALE)**

Dott.ssa Chiara Spernanzoni

Tutor: Dott. Luca Guerrieri

Con la collaborazione del dott. Michelangelo Giulianelli

SOMMARIO

<i>PREFAZIONE</i>	<i>1</i>
<i>RIASSUNTO</i>	<i>3</i>
<i>1 - INTRODUZIONE</i>	<i>4</i>
<i>2 - METODOLOGIA DI LAVORO</i>	<i>5</i>
<i>2.1 - Il database</i>	<i>6</i>
<i>2.2 - L'interfaccia WEB</i>	<i>12</i>
<i>2.3 - La scala INQUA</i>	<i>16</i>
<i>3- APPLICAZIONE DELLA SCALA INQUA AL TERREMOTO DI IZMIT DEL 17 AGOSTO 1999</i>	<i>25</i>
<i>3.1 - Il terremoto di Izmit del 17 agosto 1999</i>	<i>25</i>
<i>3.2 - Pattern regionale del sistema di faglie nord-anatolico ed evidenza della superficie di rottura del terremoto di İzmit del 17 agosto 1999</i>	<i>27</i>
<i>3.3 - Applicazione della scala INQUA ai singoli siti ed alle località interessate dal terremoto di Izmit del 17 agosto 1999</i>	<i>33</i>
<i>4 - CONCLUSIONI</i>	<i>46</i>
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	<i>48</i>

PREFAZIONE

La Scala INQUA è una scala di intensità macrosismica basata unicamente sugli effetti dei terremoti sull'ambiente naturale (EEE = **EEE** = **Earthquake Environmental Effects**) sviluppata nell'ambito della *INQUA Subcommittee of Paleoseismicity* in stretta collaborazione con l'APAT e presentata durante il XVI Congresso dell'INQUA a Reno (Nevada, USA) il 23 luglio 2003.

Tale scala, impiegata in modo integrato con le scale di intensità macrosismiche tradizionali basate sugli effetti dei terremoti sulle strutture antropiche, costituisce uno strumento di primaria importanza per la stima dell'entità di eventi sismici che si sono verificati in zone dove l'urbanizzazione, al momento del fenomeno, era assente, scarsa o di qualità scadente, ed è quindi fondamentale per la zonazione della pericolosità e del rischio sismico, e per questa ragione è importante la sua divulgazione.

Per perseguire tale scopo è stata costruita un'interfaccia web di una banca dati di effetti di terremoti indotti sull'ambiente naturale ed antropico in continuo aggiornamento; il sito (<http://www.apat.it/INQUA>) è strutturato in modo tale che le pagine evidenzino la struttura gerarchica del database, che a sua volta mostra il rapporto "uno a molti" tra il singolo evento sismico, le varie località interessate, i diversi siti di una stessa località e le differenti tipologie di effetti indotti dal terremoto sull'ambiente.

Durante la costruzione dell'interfaccia web il database è stato aggiornato attraverso l'inserimento, dei dati di effetti di terremoti che si sono verificati in tempi storici a Taiwan, in Spagna, in Russia, in Italia ed in Turchia, ed è stata impiegata la scala INQUA per la stima dell'intensità macrosismica del terremoto di di İzmit (Turchia) del 17 agosto 1999, i cui effetti sull'ambiente naturale ed antropico sono stati riportati dettagliatamente nella pubblicazione "*Surface rupture associated with the August 17, 1999 İzmit Earthquake*" (AAVV, 2003, Special publication, General Directorate of Mineral Research and exploration).

L'obiettivo ultimo che si intende raggiungere è la disponibilità di un catalogo degli effetti degli eventi sismici sull'ambiente naturale in analogia con quello dei terremoti storici, ed è pertanto auspicabile l'ulteriore aggiornamento della banca dati attraverso il contributo dei gruppi di ricerca dei diversi Paesi.

RIASSUNTO

La finalità del presente lavoro consiste nella costruzione dell'interfaccia web di una banca dati in cui sono riportati gli effetti sull'ambiente prodotti da eventi sismici per l'impiego di suddetti dati nella stima delle dimensioni dei terremoti nell'ambito dell'applicazione e della validazione della scala INQUA.

La scala INQUA è una scala di 12 gradi delle intensità sismiche basata sugli effetti dei terremoti sull'ambiente naturale (**EEE = Earthquake Environmental Effects**) che è stata concepita per una stima delle intensità sia epicentrali che locali.

Tale scala è impiegata in modo integrato con le scale macrosismiche tradizionali basate sugli effetti dei terremoti sulle strutture antropiche. La catalogazione e l'analisi degli effetti sismici sull'ambiente sono di rilevante importanza e consentono la costruzione di un quadro più dettagliato dei campi macrosismici di terremoti di magnitudo comparabili nelle stesse zone.

Per favorire la divulgazione di tale scala è stata realizzata un'interfaccia WEB della banca dati le cui pagine, organizzate secondo una struttura gerarchica, riflettono il rapporto "uno a molti" tra i singoli eventi sismici, le località interessate, i siti e i differenti tipi di effetti dei terremoti sull'ambiente naturale e, dove sono stati rilevati, sui manufatti antropici.

La banca dati è stata arricchita con l'inserimento dei dati relativi ai terremoti avvenuti in tempi storici a Taiwan, in Spagna, in Russia ed in Italia.

È stato infine studiato l'evento sismico che ha colpito la città di İzmit (Turchia) il 17 agosto 1999, del quale sono stati analizzati gli effetti sull'ambiente naturale ed antropico, e dalle dimensioni di questi è stata effettuata una stima dell'intensità INQUA.

ABSTRACT

The aim of the project is building of a web interface of a database of seismically induced environmental effects for earthquake size assessment and consequently for the application and validation of the INQUA scale.

The INQUA scale a 12 degrees - scale of seismic intensities based on the seismically induced environmental effects (**EEE = Earthquake Environmental Effects**) conceived for the epicentral and local seismic intensities assessment.

This scale is integrated with the traditional macroseismic scales based on the earthquake effects on manmade structures. The cataloguing and the analyzing of the earthquake environmental effects are important because give a detailed frame of macroseismic fields of comparable maghitude in the same zones.

For the divulgation of this scale was built a web interface of database with a gerarchic structure that reflects the "one to many" relations between single seismic events, localities, sites and different EEE types.

The database was implemented with data of some historical earthquakes of Taiwan, Turkey, Spain, Russia and Italy.

With regard of the İzmit (Turkey) earthquake of 17th of August 1999 were analized the EEE effects integrated with the effects of manmade structures, and from the size of these effects the INQUA intensity was assessed.

1 - INTRODUZIONE

La scala INQUA EEE è una scala di intensità macrosismica basata solamente sugli effetti dei terremoti sull'ambiente naturale (**EEE = Earthquake Environmental Effects**).

La scala INQUA, che va integrata con le scale tradizionali di intensità macrosismica basate sui danni prodotti su manufatti antropici come edifici, infrastrutture viarie, ricopre un ruolo essenziale nella stima della pericolosità sismica e del rischio in zone interessate da eventi sismici quando le scale di intensità macrosismiche tradizionali, a causa della scarsa antropizzazione o della presenza di strutture antropiche di qualità scadente quando si è verificato il terremoto, non sono applicabili: infatti dagli effetti sull'ambiente di un terremoto – fagliazione superficiale, fratturazione del terreno, destabilizzazione dei versanti, liquefazione, compattazione del suolo, variazioni di carattere idrologico, tsunami – è possibile ricavare informazioni sulle sue dimensioni e sul campo delle intensità e, mediante la comparazione con eventi analoghi con effetti stimati con le scale di intensità tradizionali, è possibile una stima non solo per i terremoti avvenuti in tempi storici prima dell'avvento delle misure strumentali, ma anche, e questo è ancora più importante, per quelli privi di testimonianze scritte.

Per via di queste peculiarità la scala INQUA costituisce uno strumento necessario per la zonazione del rischio sismico, ed è pertanto fondamentale la divulgazione delle sue potenzialità. Per questa ragione è stata avviata la costruzione di un sito web (<http://www.apat.it/INQUA>) formato da pagine organizzate in modo tale da rispecchiare la struttura gerarchica del database al quale sono collegate e nel quale sono raccolti i dati relativi agli effetti sull'ambiente soprattutto naturale, ma anche antropico, di molti terremoti avvenuti in tempi storici. Il database è stato implementato con l'inserimento dei dati relativi ai terremoti avvenuti in tempi storici a Taiwan, in Turchia, in Spagna, in Russia ed in Italia.

È stata inoltre applicata la scala INQUA al terremoto di İzmit (Turchia) del 17 agosto 1999, del quale sono stati documentati in modo dettagliato gli effetti sull'ambiente.

2 - METODOLOGIA DI LAVORO

Per perseguire gli scopi del lavoro è stata creata una banca dati relazionale in *Access* in cui sono state riportate le caratteristiche degli eventi sismici organizzate in tabelle secondo una struttura gerarchica (cfr. fig 1 e tabelle) che mostrano le caratteristiche dei singoli eventi sismici (data, ora, coordinate, ecc., cfr. tab. 1) e delle località interessate da ogni evento (tab. 2) ed infine dei siti (tab. 3) le tipologie di effetti e le rispettive caratteristiche. E' stata realizzata un' interfaccia utente connessa al database attraverso la quale è possibile visualizzare graficamente i terremoti e le relative informazioni. Per la costruzione dell'interfaccia WEB sono stati impiegati i linguaggi di programmazione di programmazione *ASP (Active Server Pages) HTML (Hyper Text Mark-Up Language JAVASCRIPT* e i software *Dreamweaver, TakuGis* ed *ARCMAP*.

L'organizzazione delle diverse pagine del sito (<http://www.apat.it/INQUA>) rispecchia la struttura gerarchica del database ed evidenzia la relazione "uno a molti" tra il singolo evento sismico, le diverse località, i diversi siti e i differenti tipi di effetti del terremoto sull'ambiente (cfr fig 2).

La pagina iniziale mostra una mappa del mondo con collegamenti ipertestuali alle singole nazioni, colorate diversamente in pianta in relazione con lo stato di avanzamento (cfr. fig 3). Se si seleziona la nazione di interesse si apre un'altra pagina HTML con la mappa corrispondente che reca le ubicazioni degli epicentri e le rispettive date dei singoli eventi sismici (in etichette dinamiche) riportati anche in un'apposita tabella (cfr fig. 4). Qualora l'utente selezioni un epicentro di particolare interesse (sulla tabella o sulla mappa) si apre la pagina *Earthquake.asp* con la tabella contenente i dati sismologici: data, ora, coordinate, riferimenti bibliografici (cfr fig. 5). Per ogni terremoto c'è un collegamento ipertestuale che rimanda alla pagina *Locality.asp* con tabella in cui sono elencate le località interessate dall'evento sismico (cfr fig. 6). Ciascuna località è associata ad un collegamento ipertestuale alla pagina *EEEeffects.asp* contenente le informazioni sui singoli siti, ognuno dei quali può presentare differenti tipi di effetto (cfr fig. 7).

Il database è stato implementato attraverso l'inserimento dei dati relativi ai terremoti avvenuti nell'isola di Taiwan (2 epicentri, 20 località, 58 siti) in Turchia (un terremoto, 7 località, 321 siti) in Spagna (9 epicentri, 35 località, 35 siti) in Russia (1 epicentro, 8 località, 76 siti) ed infine in Italia (3 epicentri oltre ai 2 già catalogati, 83 località, 83 siti).

La scala INQUA è stata applicata al terremoto avvenuto a İzmit (Turchia) il 17 agosto 1999, del quale sono stati rilevati in modo dettagliato gli effetti sull'ambiente naturale (soprattutto fagliazione superficiale, ma anche fratture del terreno, movimenti di versante, subsidenza del terreno, anomalie idrologiche e variazioni temporanee del livello sia del mare che di un lago): dall'area interessata da tali effetti e dalle dimensioni di questi sono state stimate l'EEE intensity minima e l'EEE intensity massima.

Il database

Qui di seguito sono riportate le tabelle della banca dati con i rispettivi attributi

Earthquake

Earthquake code
Country
Earthquake region
Year
Month
Day
Greenwich time
Magnitude
Magnitude type (ML MB M MS MD Mw MbLg MM mb)
Macroseismic intensity
Intensity type (MM MSK MCS EMS JMA, other)
Latitude
Longitude
Location accuracy (m)
Focal depth (km)
Depth accuracy (km)
Earthquake references
Surface faulting (yes/no/debated)
Map of rupture zone (yes/no)
Max D = maximum displacement (m)
SRL = surface rupture length (km)
Slip - sense (normal, reverse, oblique, right – lateral, left – lateral)
SF (surface faulting) reference
Area of max secondary effects (Km ²)
Secondary effects references
EEE epicentral intensity
Notes
Authors

Locality

Earthquake code
Locality code
EEE survey date
Locality
Town-District
Surveyor
Locality latitude
Locality longitude
Locality altitude (m)
Location accuracy
Locality length (km)
Locality width (km)
Site-datum
Site distance (km)
Accuracy of local intensity (km)
Local PGA (g)
Geomorphological setting
EEE intensity
notes

EEE effects

Earthquake code
Locality code
EEE code
Site position
Status
Geological environmental effect type
Site length (m)
Site width (m)
Site latitude
Site longitude
Site altitude
Site accuracy
EEE description
Notes
Lithology rock
Lithology loose
Lithology strength (hard/semi – coherent/soft)
Lithology structure (massive/stratified/densely cleaved)
Site geomorphologic setting
References

EEE type

Surface faulting (SURFAU)
Slope movements (SLOMOV)
Ground cracks (GROCRACKS)
Ground settlements (GROSET)
Hydrological anomaly (HIDROL)
Tsunami
Other environment effects (NOT GEO)

Surface faulting

SURFAU – Strike (°)
SURFAU – Dip (°)
SURFAU - Slip vector (°)
SURFAU – Type of movement (normal, reverse, oblique, right – lat., left – lat.)
SURFAU – Vertical local offset (cm)
SURFAU – Horizontal local offset (cm)
SURFAU – Displaced features
SURFAU – Scarp (single or multiple)
SURFAU – Other features
SURFAU – Length of fault segment (km)

Slope movements

SLOMOV – Type
SLOMOV – Max size of block m ³
SLOMOV – Total volume m ³
SLOMOV – Linear density (n°/m)
SLOMOV – Areal density (n°/m ²)
SLOMOV – Humidity (very wet/moderately wet/dry)
SLOMOV – Time delay (hours)
SLOMOV – Width (m)
SLOMOV – Slip amount (m)

Ground cracks

GROCRACK – Origin slide/ground settling/detachment/ground shaking
GROCRACK – Humidity (very wet/moderately wet/dry)
GROCRACK – Strike (°)
GROCRACK – Dip (°)
GROCRACK – Areal density (n°/m)
GROCRACK – Shape (straight/sinuuous/curvilinear)
GROCRACK – Max opening (cm)
GROCRACK – Length (m)

Ground settlements

GROSET – Tipe (Liquefaction/compaction/subsidence)
GROSET – Max diameter (m)
GROSET – Linear density (n°/m)
GROSET – Areal density (n°/m ²)
GROSET – Max lowering/uplift cm (lowering is negative, uplift is positive)
GROSET – Shape (round /elliptical/elongated)
GROSET – Humidity (very wet/moderately wet/dry)
GROSET – Depth of water table (m)
GROSET – Water ejection
GROSET – Sand ejection
GROSET – Time delay/advance (delay is positive, advance is negative)

Hydrological anomalies

HYDROL – Surface water effects (overflow/waves/water fountain/variation of discharge rate/turbidity of river)
HYDROL – Groundwater effects (drying up of springs/appearance of springs/ temperature/chemistry/turbidity of spring)
HYDROL – Temperature anomaly
HYDROL – Temperature change (°C)
HYDROL – Discharge anomaly
HYDROL – Discharge change (l/s)
HYDROL – Chemical anomaly
HYDROL – Change chemical components
HYDROL – Gas emission
HYDROL – Gas element
HYDROL – Duration of anomaly (days)
HYDROL – Time delay (hours)
HYDROL – Velocity (very wet/moderately wet/dry)

Tsunami

TSUNAMI – Max wave height
TSUNAMI - Widht
TSUNAMI – Lenght of affected coast
TSUNAMI – Time delay

Not geological effects

NOT GEO - Type
NOT GEO - Notes

EEE intensity

Site EEE intensity - MIN
Site EEE intensity MAX

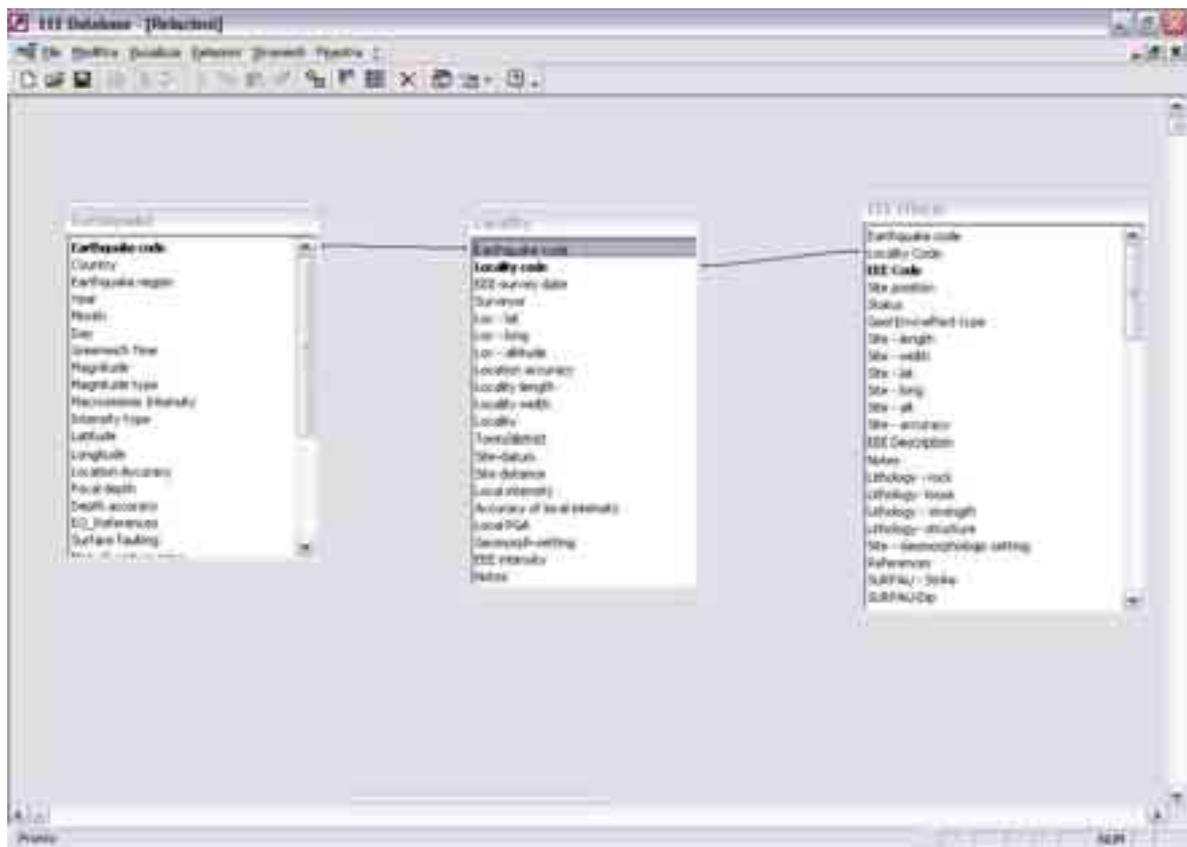


Fig 1 - Relazioni tra tabelle dei dati relativi agli eventi sismici, alle località e ai tipi di effetti dei terremoti sull'ambiente

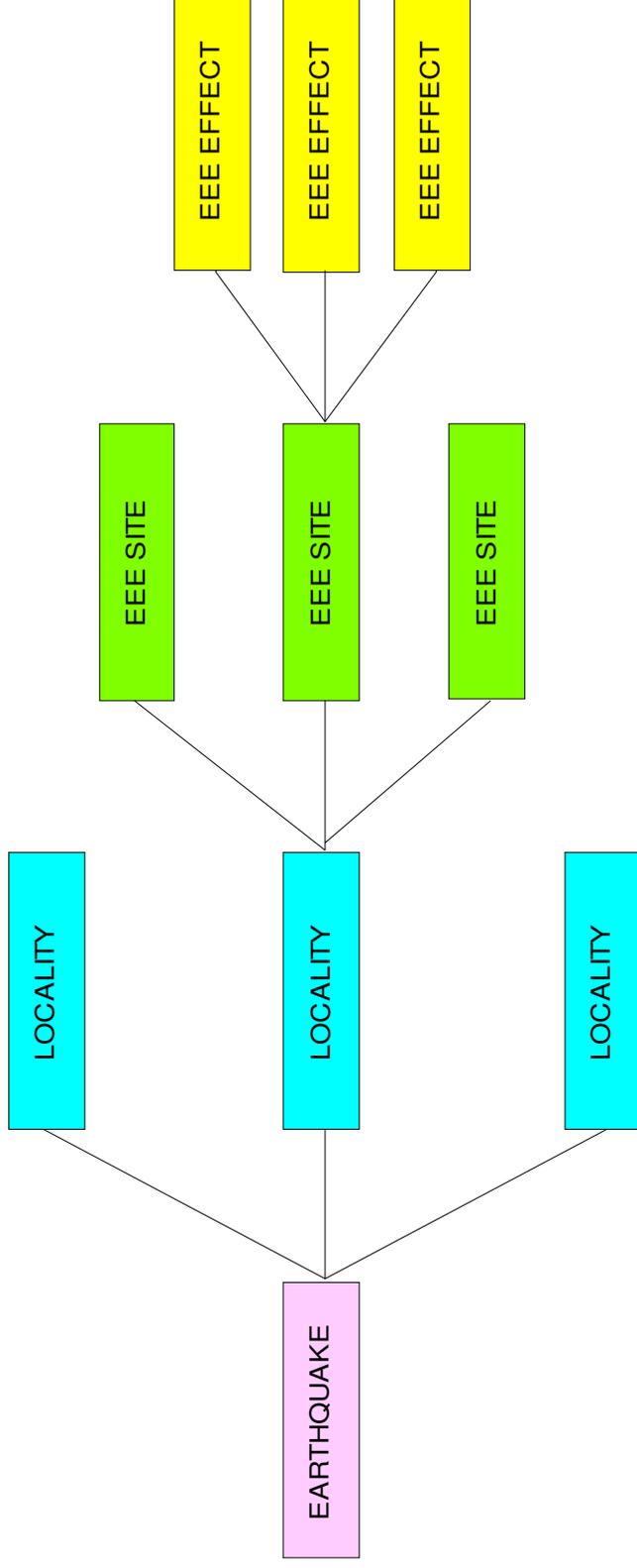


FIG 2 - Relazione "uno a molti" tra il singolo evento sismico, le diverse località, i diversi siti e i differenti tipi di effetti del terremoto sull'ambiente

L'interfaccia WEB

Qui di seguito sono riportate le pagine dell'interfaccia WEB della banca dati dei terremoti

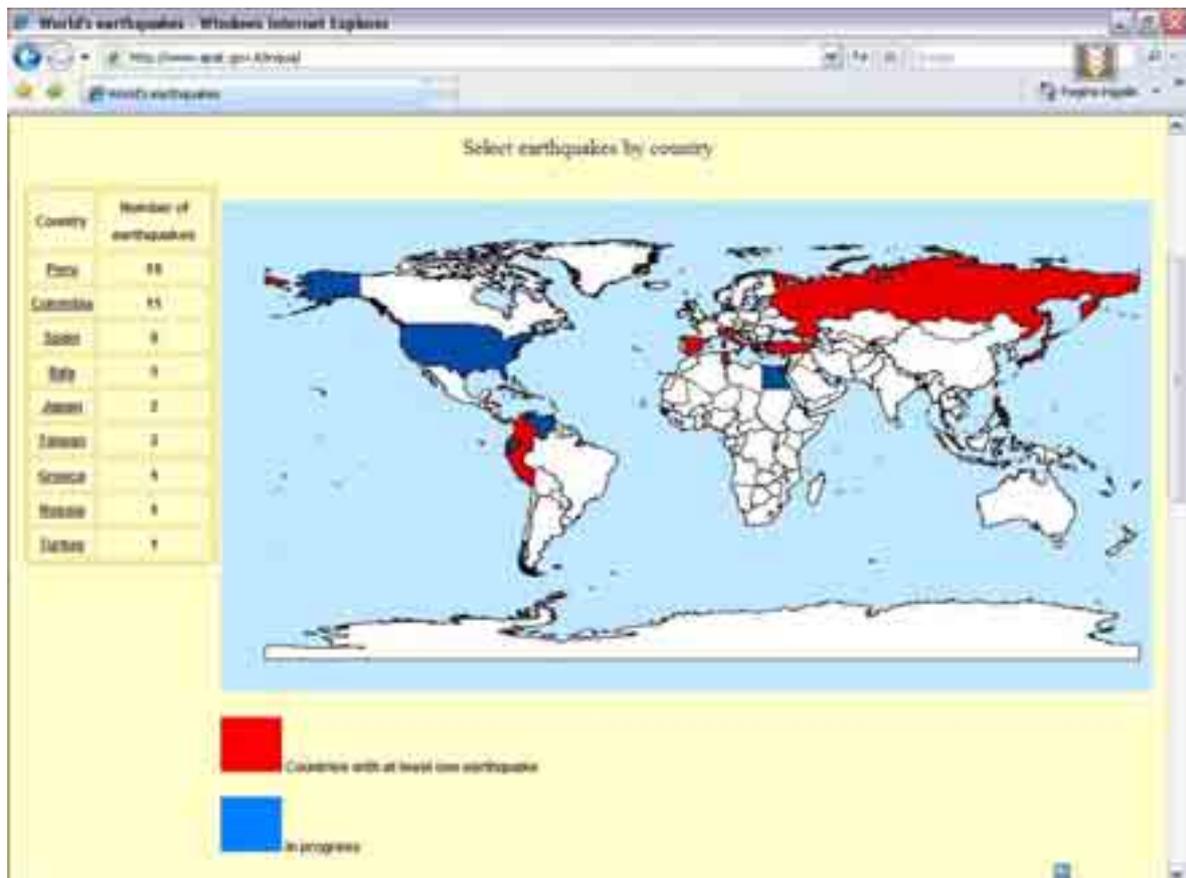


FIG 3 - Pagina iniziale del sito <http://www.apat.it/INQUA> con la mappa del mondo con i collegamenti ipertestuali alle singole nazioni; queste ultime sono colorate diversamente in relazione con lo stato di avanzamento della banca dati.



FIG 4 - Pagina con la mappa con le ubicazioni degli epicentri e le rispettive date dei singoli eventi sismici (in etichette dinamiche) e la relativa tabella con i collegamenti ipertestuali alle località

2.3 - La scala INQUA

(da A.M. Michetti *et alii*, 2004)

I, II – Effetti sull’ambiente non percettibili

- a) Occorrenza estremamente rara di piccoli effetti rilevabili solo mediante osservazioni strumentali, tipicamente in zone lontane dagli epicentri di forti terremoti.

III - Effetti sull’ambiente non percettibili

- a) Gli effetti primari sono assenti
- b) Occorrenza estremamente rara di piccole variazioni del livello dell’acqua in pozzi e/o nella velocità di flusso in sorgenti, tipicamente in zone lontane dagli epicentri di forti terremoti.

IV - Effetti sull’ambiente non percettibili

- a) Gli effetti primari sono assenti
- b) Pochissimi casi di fitta fratturazione in località dove la litologia (p.e. depositi alluvionali sciolti, sabbie sature) e/o la morfologia (versanti o zone di cresta) sono prossimi all’epicentro.
- c) Rara occorrenza di piccole variazioni del livello dell’acqua in pozzi e/o nella velocità di flusso in sorgenti.
- d) Occorrenza estremamente rara di piccole variazioni delle caratteristiche chimico – fisiche dell’acqua e della torbidità dell’acqua in laghi, sorgenti e pozzi, specialmente all’interno di grandi sistemi di sorgenti carsiche prossimi all’epicentro.
- e) Eccezionalmente possono verificarsi crolli in roccia e possono essere (ri)attivate piccole frane lungo versanti dove l’equilibrio è già molto instabile, p.e. versanti ripidi e tagli, con suolo sciolto o saturo.
- f) Occorrenza molto rara di crolli di volte in cavità carsiche, che possono sfociare nella formazione di *sinkholes*, dove la tavola d’acqua è poco profonda in ampi sistemi di sorgenti carsiche.
- g) Variazioni molto rare e temporanee del livello del mare lontano dall’epicentro di forti terremoti
- h) Possibili scuotimenti dei grandi rami degli alberi.

V – Effetti marginali sull’ambiente

- a) Gli effetti primari sono assenti.

- b) Pochissimi casi di di fitta fratturazione in località dove la litologia (p.e. depositi alluvionali sciolti, sabbie sature) e/o la morfologia (versanti o zone di cresta) sono prossimi all'epicentro.
- c) Rara occorrenza di piccole variazioni del livello dell'acqua in pozzi e/o nella velocità di flusso in sorgenti.
- d) Occorrenza estremamente rara di piccole variazioni delle caratteristiche chimico – fisiche dell'acqua e della torbidità dell'acqua in laghi, sorgenti e pozzi.
- e) Rari piccoli crolli in roccia, rari scorrimenti rotazionali e flussi di terra lungo versanti dove l'equilibrio è instabile, p.e. versanti ripidi e tagli, con suolo sciolto o saturo.
- f) Estremamente rari casi di liquefazione (bolle di sabbia) di piccole dimensioni in aree molto prossime all'epicentro (depositi altamente suscettibili, recenti, alluvionali e costieri, tavola d'acqua poco profonda).
- g) Occorrenza estremamente rara di di crolli di volte in cavità carsiche, che possono sfociare nella formazione di *sinkholes*, dove la tavola d'acqua è poco profonda in ampi sistemi di sorgenti carsiche.
- h) Occorrenza di frane al di sotto del livello del mare (o del lago) in zone costiere.
- i) Rare e temporanee variazioni del livello del mare lontano dall'epicentro di forti terremoti.
- j) Possibili scuotimenti dei grandi rami degli alberi.

VI – Effetti modesti sull'ambiente

- a) Gli effetti primari sono assenti.
- b) Occasionalmente sottili, millimetriche fratture sono osservate in depositi alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; lungo versanti acclivi e lungo gli argini dei fiumi possono essere ampie 1-2 cm. Sviluppo minore in strade lastricate (in asfalto o in pietra).
- c) Rara occorrenza di piccole variazioni del livello dell'acqua in pozzi e/o nella velocità di flusso in sorgenti.
- d) Occorrenza estremamente rara di piccole variazioni delle caratteristiche chimico – fisiche dell'acqua e della torbidità dell'acqua in laghi, sorgenti e pozzi.
- e) Crolli in roccia e frane di oltre 10^3 km^3 dove l'equilibrio è instabile, p.e. versanti ripidi e tagli, con suolo sciolto o saturo.
- f) Rari casi di di liquefazione (bolle di sabbia) di piccole dimensioni in aree molto prossime all'epicentro (depositi altamente suscettibili, recenti, alluvionali e costieri, tavola d'acqua poco profonda).

- g) Occorrenza estremamente rara di di crolli di volte in cavità carsiche, che possono sfociare nella formazione di *sinkholes*, dove la tavola d'acqua è poco profonda in ampi sistemi di sorgenti carsiche.
- h) Occorrenza di frane la di sotto del livello del mare (o del lago) in zone costiere.
- i) Occasionalmente possono prodursi onde significative in acque calme.
- j) In aree boschive possono verificarsi scuotimenti di alberi; pochi tronchi instabili possono spezzarsi e cadere (dipende dalle specie e dallo stato di salute della pianta).

VII – Effetti apprezzabili sull'ambiente

- a) Molto raramente si osservano effetti primari. Fagliazione superficiale limitata, di lunghezza dell'ordine delle decine di m, con spostamento laterale centimetrico, può occorrere in associazione con terremoti di origine vulcano – tettonica.
- b) Fratture ampie più di 5-10 cm sono osservate comunemente in depositi alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; rare fratture ampie più di 1 cm in sabbie asciutte, sabbie argillose e suoli argillosi. Fratture centimetriche comuni in strade lastricate (in asfalto o in pietra).
- c) Rara occorrenza del livello dell'acqua in pozzi e/o nella velocità di flusso in sorgenti. Molto raramente piccole sorgenti possono diventare secche o essere riattivate.
- d) Occorrenza abbastanza comune di variazioni delle caratteristiche chimico – fisiche dell'acqua e della torbidità dell'acqua in laghi, sorgenti e pozzi.
- e) Sollecitazione di frane nelle zone vicine all'epicentro; crolli in rocce dove l'equilibrio è instabile (versanti acclivi con suoli sciolti/saturi, crolli in roccianelle gole e in falesie) le loro dimensioni a volte sono significative (10^3 - 10^5 m³); in sabbie asciutte, argille sabbiose i volumi in genere superano i 100 m³. Rotture, scorrimenti e crolli possono interessare argini fluviali e terrapieni artificiali e scavi (p.e. tagli stradali, cave) in sedimenti sciolti o in rocce soggette a degradazione meteorica o fratturate). L'area coinvolta è in genere minore dei 10 km².
- f) Rari casi di liquefazione con bolle di sabbia di oltre 50 cm di diametro in aree prossime all'epicentro (depositi alluvionali e costieri recenti altamente suscettibili, tavola d'acqua poco profonda).
- g) Possibile collasso di volte in cavità carsiche, che possono sfociare nella formazione di *sinkholes*, persino dove la tavola d'acqua è profonda.
- h) Occorrenza di frane al di sotto del livello del mare (o del lago) in zone costiere.

- i) Possibile sviluppo di onde in acque sia calme che correnti.
- k) In aree boschive si verificano scuotimenti di alberi; molti rami instabili possono spezzarsi e cadere (dipende anche dalle specie e dallo stato di salute delle piante).

VIII – Effetti considerevoli sull’ambiente

- a) Raramente si osservano effetti primari. Fratture nel terreno (fagliazione superficiale) possono svilupparsi per lunghezze fino a parecchie centinaia di metri, con spostamenti laterali in genere minori di 5 cm, in modo particolare per terremoti con ipocentro poco profondo, come nel caso di eventi di origine vulcano – tettonica. Possibile occorrenza di subsidenza tettonica o sollevamento della superficie del terreno con valori massimi dell’ordine di pochi cm.
- b) Fratture ampie fino a 20-25 cm sono comunemente osservate in depositi alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; in rari casi in rocce asciutte competenti possono essere osservate fratture di più di 1 cm. In strade lastricate (in asfalto o in pietra) sono comuni fratture decimetriche così come piccole ondulazioni da pressione.
- c) Nelle sorgenti possono variare, in genere in via temporanea, le velocità di flusso e/o la quota di sbocco
- d) La temperatura dell’acqua spesso varia in sorgenti e/o nei pozzi. L’acqua in laghi e fiumi diviene spesso fangosa, così come nelle sorgenti.
- e) Frane da piccole a medie (10^3 - 10^5 m³) estese nelle zone prossime all’epicentro, raramente possono interessare versanti poco acclivi. Dove l’equilibrio è instabile (versanti acclivi con suoli sciolti/saturi, crolli in roccianelle gole e in falesie) le loro dimensioni sono maggiori (10^5 - 10^6 m³). Le frane possono occasionalmente sbarrare valli strette portando alla formazione di laghi temporanei o permanenti. Rotture, scorrimenti e crolli possono interessare argini fluviali e terrapieni artificiali e scavi (p.e. tagli stradali, cave) in sedimenti sciolti e/o in rocce interessate da degradazione meteorica e/o fratturazione, l’estensione dell’area interessata è generalmente minore di 100 km².
- f) La liquefazione può essere frequente nell’area epicentrale, l’occorrenza dipende dalle condizioni locali; bolle di sabbia con diametro maggiore di 1 m. Apparenti fontane d’acqua in acque calme. *Lateral spreadings* e subsidenza di oltre 30 cm con fessurazione parallela al fonte d’acqua in argini fluviali, laghi, canali, coste marine.
- g) Volte carsiche possono crollare portando alla formazione di *sinkholes*.
- h) Frequente occorrenza di frane al di sotto del livello del mare in aree costiere.

- i) Onde significative si sviluppano in acque sia calme che in movimento.
- j) Gli alberi vengono scossi energicamente; alcuni rami e persino tronchi di alberi in equilibrio molto instabile possono spezzarsi e cadere.
- k) In zone aride possono sollevarsi nuvole di polvere nell'area epicentrale.

IX – Gli effetti sull'ambiente naturale lasciano tracce significative e permanenti

- a) Si osservano spesso effetti primari. Si sviluppano rotture nel terreno (fagliazione superficiale) lunghe fino a pochi km, con spostamenti laterali generalmente minori di 10-20 cm. Può verificarsi subsidenza (o sollevamento tettonico) della superficie del terreno con valori massimi dell'ordine di pochi decimetri.
- b) Fratture ampie fino a 50-100 cm sono comunemente osservate in depositi alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; in rocce competenti possono raggiungere i 10 cm di ampiezza. Sono comuni fratture significative in strade lastricate (con asfalto o pietra) così come piccole ondulazioni da pressione.
- c) Nelle sorgenti può variare la velocità di flusso e/o la quota di affioramento per una considerevole estensione. Alcune piccole sorgenti possono seccarsi. Si osservano variazioni del livello dell'acqua nei pozzi.
- d) La temperatura dell'acqua spesso cambia in sorgenti e/o nei pozzi. L'acqua in laghi e fiumi diviene spesso fangosa, così come nelle sorgenti.
- e) Frane estese in prossimità dell'epicentro, anche su versanti poco acclivi; dove l'equilibrio è instabile (versanti ripidi di suoli sciolti e/o saturi, crolli in gole ripide, falesie) le loro dimensioni sono generalmente grandi (10^5 m³). Le frane possono occasionalmente sbarrare valli strette portando alla formazione di laghi temporanei o permanenti. Argini fluviali e terrapieni artificiali e scavi (p.e. tagli stradali, cave) possono collassare.
- f) Liquefazione e fontane d'acqua sono frequenti; bolle di sabbia con diametro maggiore di 3 m. Apparenti fontane d'acqua in acque calme. Frequenti *lateral spreadings* e subsidenza di oltre 30 cm con fessurazione parallela al fonte d'acqua in argini fluviali, laghi, canali, coste marine.
- g) Volte carsiche di dimensioni rilevanti possono crollare portando alla formazione di *sinkholes*.
- h) Frequente occorrenza di frane al di sotto del livello del mare in aree costiere.
- i) Grandi onde si sviluppano in acque sia calme che in movimento. Piccoli tsunami possono colpire le zone costiere con onde di marea alte fino a 50-100 cm.

- j) Gli alberi vengono scossi energicamente; alcuni rami e persino tronchi di alberi in equilibrio molto instabile possono spezzarsi e cadere.
- k) In zone aride possono sollevarsi nuvole di polvere.
- l) Nell'area epicentrale piccole pietre possono saltare sul terreno, lasciando tracce tipiche in suoli teneri.

X – Gli effetti sull'ambiente diventano dominanti

- a) Le rotture primarie divengono dominanti. Rotture del terreno (fagliazione superficiale) possono estendersi per parecchie decine di km, con spostamenti laterali che raggiungono 50-100 cm (fino a circa 100-200 cm in caso di faglia inversa e 300-400 cm in faglie normali). Si sviluppano *graben* per gravità e depressioni allungate. Per terremoti con epicentro poco profondo, come quelli di origine vulcano – tettonica, le lunghezze delle fratture possono essere di gran lunga minori. Può verificarsi subsidenza (o sollevamento tettonico) della superficie del terreno con valori massimi dell'ordine di pochi metri.
- b) Grandi frane e crolli in roccia ($>10^5-10^6$ m³) sono frequenti indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, e possono portare alla formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti, gli argini fluviali, i terrapieni artificiali e le pareti degli scavi collassano. Argini e dighe di terra sono soggetti a danni seri. L'area interessata in genere è più ampia di 5000 km²).
- c) In molte sorgenti può variare la velocità di flusso e/o la quota di affioramento per una considerevole estensione. Alcune piccole sorgenti possono seccarsi o sperire, in genere in via temporanea. Si osservano variazioni del livello dell'acqua nei pozzi.
- d) La temperatura dell'acqua spesso varia in sorgenti e/o pozzi. L'acqua nei laghi e nei fiumi spesso diventa fangosa.
- e) Fratture nel terreno con apertura di oltre 1 m sono frequenti, principalmente in materiali alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; in rocce competenti l'apertura raggiunge parecchi decimetri. Si sviluppano fratture aperte in strade lastricate (con asfalto o pietra) così come ondulazioni da pressione.
- f) Liquefazione, con fontane d'acqua e compattazione del suolo possono cambiare l'aspetto di ampie zone; vulcani di sabbia con diametro di oltre 6 m; subsidenza maggiore di 1 m; fessure larghe e lunghe a causa di espansione laterale.
- g) Collasso di grandi cavità carsiche, con la formazione di grandi *sinkholes*.
- h) Frequenti grandi frane al di sotto del livello del mare in aree costiere.

- i) Gli alberi vengono scossi energicamente; alcuni rami e persino tronchi di alberi in equilibrio molto instabile possono spezzarsi e cadere.
- j) In zone aride possono sollevarsi nuvole di polvere.
- k) Nell'area epicentrale persino le pietre ancorate al terreno possono saltare sul terreno, lasciando tracce tipiche in suoli teneri.

XI – Gli effetti sull'ambiente diventano essenziali per la stima dell'intensità

- a) La fagliazione superficiale primaria può estendersi per parecchie decine di km fino ad oltre 100 km, con *offsets* che raggiungono parecchi metri. Si sviluppano *graben* per gravità, depressioni allungate e dorsali da pressione. Le linee di drenaggio possono essere dislocate in modo significativo. Può verificarsi subsidenza (o sollevamento tettonico) della superficie del terreno con valori massimi dell'ordine di parecchi metri.
- b) Grandi frane e crolli in roccia ($>10^5$ - 10^6 m³) sono frequenti indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, e possono portare alla formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti, gli argini fluviali, i terrapieni artificiali e le pareti degli scavi collassano. Argini e dighe di terra sono soggetti a danni seri. Frane significative possono aver luogo ad una distanza di 200 – 300 km dall'epicentro. Gli effetti sull'ambiente sia primari che secondari possono essere osservati su un territorio ampio 10'000 km²).
- c) In molte sorgenti può variare la velocità di flusso e/o la quota di affioramento per una considerevole estensione. Alcune piccole sorgenti possono seccarsi o sparire contemporaneamente. Si osservano variazioni del livello dell'acqua nei pozzi.
- d) La temperatura dell'acqua spesso varia in sorgenti e/o pozzi. L'acqua nei laghi e nei fiumi spesso diventa fangosa.
- e) Fratture nel terreno con apertura di parecchi m sono frequenti, principalmente in materiali alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; in rocce competenti l'apertura raggiunge 1 m. Si sviluppano fratture aperte in strade lastricate (con asfalto o pietra) così come ondulazioni da pressione.
- f) Liquefazione, con fontane d'acqua, e compattazione del suolo possono cambiare l'aspetto di zone molto estese di pianura, determinando una subsidenza verticale di parecchi metri; numerosi grandi vulcani di sabbia; numerose forme riconducibili ad espansione laterale.
- g) Collasso di grandi cavità carsiche, con la formazione di grandi *sinkholes*.

- h) Frequenti grandi frane al di sotto del livello del mare in aree costiere.
- i) Grandi onde si sviluppano in acque sia calme che in movimento e si infrangono violentemente sulle coste. Acque sia in movimento (fiumi, canali) che calme (laghi) possono tracimare dai loro letti. Gli *tsunami* possono colpire le zone costiere con onde di marea alte parecchi metri.
- j) Gli alberi vengono scossi energicamente; molti rami e molti alberi sono sradicati.
- k) In zone aride possono sollevarsi nuvole di polvere.
- l) Persino i piccoli massi e le pietre ancorate al terreno possono saltare sul terreno, lasciando tracce tipiche in suoli teneri.

XII – Gli effetti sull’ambiente costituiscono l’unico strumento che permette la stima dell’intensità

- a) La fagliazione superficiale primaria può estendersi per parecchie centinaia di km fino ad oltre 1’000 km, con spostamenti laterali che raggiungono parecchie decine di metri. Si sviluppano *graben* per gravità, depressioni allungate e dorsali da pressione. Le linee di drenaggio possono essere dislocate in modo significativo. I cambiamenti geomorfologici indotti dagli effetti primari possono raggiungere estensioni e dimensioni straordinarie (tipici esempi sono il sollevamento o la subsidenza di parecchi metri di linee di costa, comparsa o scomparsa dalla vista di parecchi elementi del paesaggio, fiumi che cambiano il loro corso, origine di cascate, formazione o scomparsa di laghi).
- b) Grandi frane e crolli in roccia ($>10^5$ - 10^6 m³) sono frequenti indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, e possono portare alla formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti, gli argini fluviali, i terrapieni artificiali e le pareti degli scavi collassano. Argini e dighe di terra sono soggetti a danni seri. Frane significative possono aver luogo ad una distanza di 200 – 300 km dall’epicentro. Gli effetti sull’ambiente sia primari che secondari possono essere osservati su un territorio ampio 50’000 km²).
- c) In molte sorgenti può variare la velocità di flusso e/o la quota di affioramento per una considerevole estensione. Alcune piccole sorgenti possono seccarsi o sparire contemporaneamente. Si osservano variazioni del livello dell’acqua nei pozzi.
- d) La temperatura dell’acqua spesso varia in sorgenti e/o pozzi. L’acqua nei laghi e nei fiumi spesso diventa fangosa.

- e) Fratture nel terreno con apertura di più di 1 m sono frequenti nel substrato, e sono più ampie di 10 m in depositi alluvionali sciolti e/o in suoli saturi; in rocce competenti l'apertura raggiunge 1 m. Si sviluppano fratture aperte in strade lastricate (con asfalto o pietra) così come ondulazioni da pressione.
- f) La liquefazione interessa ampie aree e cambia la morfologia di molto estese aree pianeggianti, determinando una subsidenza verticale di parecchi metri; numerosi grandi vulcani di sabbia; numerose forme riconducibili a *lateral spreading*.
- g) Collasso di grandi cavità carsiche, con la formazione di grandi *sinkholes*.
- h) Frequenti grandi frane al di sotto del livello del mare in aree costiere.
- i) Grandi onde si sviluppano in acque sia calme che in movimento e si infrangono violentemente sulle coste. Acque sia in movimento (fiumi, canali) che calme (laghi) possono tracimare dai loro letti. Gli *tsunami* possono colpire le zone costiere con onde di marea alte parecchie decine di metri.
- j) Gli alberi vengono scossi energicamente; molti rami e molti alberi sono sradicati.
- k) In zone aride possono sollevarsi nuvole di polvere.
- l) Persino i piccoli massi e le pietre ancorate al terreno possono saltare sul terreno, lasciando tracce tipiche in suoli teneri.

3 - APPLICAZIONE DELLA SCALA INQUA AL TERREMOTO DI IZMIT DEL 17 AGOSTO 1999

3.1 - Il terremoto di İzmit del 17 agosto 1999

Nel 1999 la regione orientale di Marmara (Turchia) è stata interessata da due importanti eventi sismici successivi, quello di İzmit (Mw 7,4) e quello di Düzce (MW 7,1).(cfr. fig 8)

Il sistema di faglie nord-anatolico (cfr. fig 9) lungo il quale si sono verificati i due terremoti, è una delle fasce sismiche più importanti della Turchia e corre lungo la zona di sutura che si è formata in seguito alla chiusura dell'oceano Intra-Potide all'inizio dell'Eocene-Oligocene. Tale sistema di faglie (con movimento di tipo trascorrente destro) mette in contatto tettonico:

- le unità litologiche della zona di Istanbul, a N della faglia, con rocce pre-neogeniche
- le unità della zona di Sakarya, a S della faglia, con basamento metamorfico e copertura sedimentaria giurassico – cretacea.

I *records* storici indicano un'elevata sismicità pregressa lungo questa fascia: a cominciare dall'evento di Herzincan (1939) ciascun terremoto ha trasferito lo *stress* ai segmenti adiacenti verso ovest e ha sollecitato l'evento successivo in modo sequenziale, per questo si riscontra la progressione degli epicentri verso W (cgr. Fig 10). Sette terremoti forti hanno prodotto 900 km di superficie di rottura tra Herzincan e Sakarya prima dei terremoti del 1999. Il terremoto di İzmit del 17 agosto 1999 è attualmente il più occidentale dei forti terremoti di tale sequenza, e l'epicentro della scossa principale è situato a W dell'epicentro di un forte terremoto avvenuto nel 1967. I terremoti di İzmit e Düzce del 1999 si sono verificati in corrispondenza del tratto settentrionale del sistema di faglie nord – anatolico, ed hanno prodotto rispettivamente 150 e 43 km di superfici di rottura continue. Il terremoto di İzmit ha prodotto una superficie di rottura con più segmenti che ha ricalcato le tracce prodotte dagli eventi sismici precedenti.



FIG 8 - Epicentro del terremoto di Izmit del 17 agosto 1999



FIG 9 – L'epicentro del terremoto di Izmit del 18 agosto 1999 ed il sistema di faglie nord – anatolico

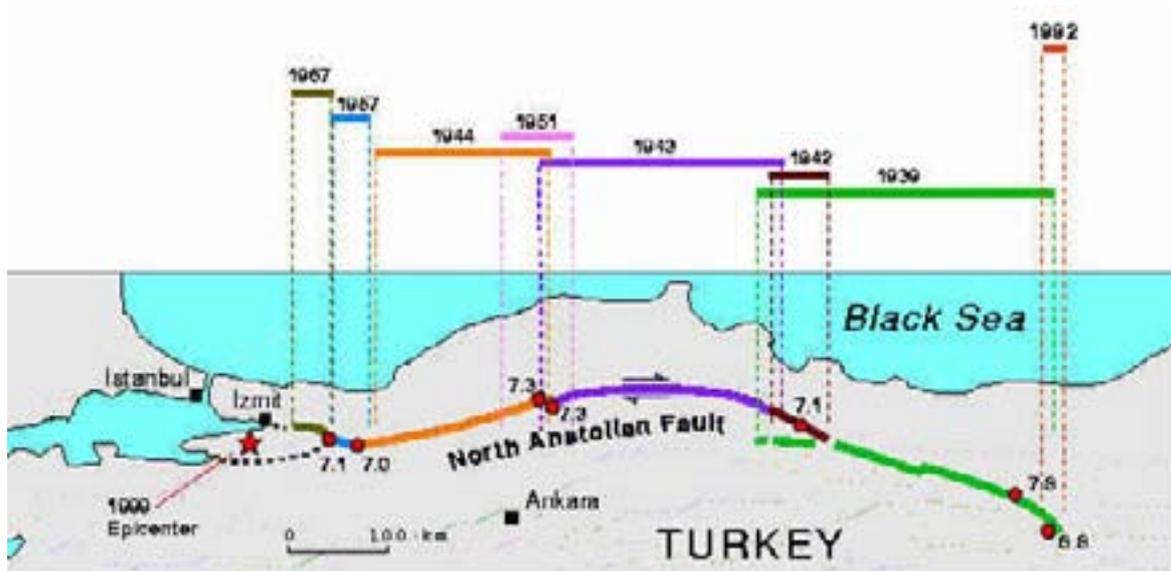


FIG 10 - Progressione degli epicentri dei terremoti verso W lungo il sistema di faglie nord – anatolico

3.2 - Pattern regionale del sistema di faglie nord-anatolico ed evidenza della superficie di rottura del terremoto di İzmit del 17 agosto 1999

La faglia nord- anatolica si estende in un'ampia zona di 80-100 km. Nella regione orientale di Marmara le faglie riconducibili ad una fase neotettonica possono essere ricondotte a 2 tipologie

- 1) Inattive o relativamente meno attive – Hanno in genere direzione NE-SW e solo in minima parte hanno andamento NW-SE. Tali faglie rappresentano le strutture degli stadi iniziali dell'evoluzione del sistema nord anatolico.
- 2) Attive – possono essere osservate lungo i tratti settentrionale e meridionale, e si sono evidenziate, dal punto di vista morfologico, in una fase tardiva. Lungo tali faglie ci sono sia depressioni tettoniche che bacini di *pull – apart* riempiti da depositi quaternari; alcuni di questi ora sono sommersi nel mare di Marmara, e sono situati lungo il golfo di İzmit e la baia di Gemlik.

A E di İzmit la faglia nord- anatolica assume direzione E-W da N80°W (cfr fig. 9). Questo tratto si biforca in due bracci a W della valle di Docurcum. Il braccio meridionale corrisponde ad una faglia paleotettonica posta tra le zone di sutura e le unità continentali

della zona di Sakarya, e taglia le unità del Miocene – Pliocene. I dati paleosismologici rivelano superfici di rottura riconducibili a forti terremoti avvenuti in tempi storici.

Il braccio settentrionale, lungo il quale si sono verificati il terremoto del 1967 e gli eventi del 1999, forma una connessione strutturale tra i due tratti principali del sistema nord-anatolico; nella sua terminazione occidentale si trasforma in una faglia normale a basso angolo che borda la piana di Sakarya lungo il suo limite meridionale. Questo tratto durante i terremoti del 1999 è stato interessato da fratturazione per tutta la sua lunghezza e può essere suddiviso in 6 segmenti principali.

Il terremoto di İzmit del 17 agosto 1999 ha avuto una durata di 90 secondi. Gli *aftershoks* si sono distribuiti per circa 170 km a W in mare rispetto a Yalova nel mar di Marmara e a E e W del bacino di Düzce, mostrando una semplice fagliazione di tipo *strike – slip* in direzione E-W. In associazione con il terremoto una superficie di faglia con un predominante spostamento laterale destro fino a 4,9 m si è formata da W verso l'entroterra della porzione occidentale del golfo di İzmit verso E fino alla porzione occidentale del bacino di Düzce lungo il tratto settentrionale della zona della faglia nord anatolica.

Le fratture superficiali del terreno e le probabili faglie sorgenti del terremoto nel golfo di İzmit sono riconducibili, sulla base della geometria dei tratti della faglia e della discontinuità della distribuzione dello spostamento lungo le faglie, a 6 segmenti (cfr. fig 11) che, procedendo da W verso E, sono denominati

- 1 Hersek
- 2 Gölcük
- 3 Tepetarla
- 4 Arifiye
- 5 Karadere
- 6 Aksu

Ad eccezione della fascia che costituisce un limite a cavallo dei segmenti Hersek e Gölcük e la fascia di Akyazi tutti i segmenti sono separati tra loro da zone con geometria a gradinata verso destra (*right-stepping*). La piana di Düzce e Sakarya, il lago Sapanka e le depressioni di Gölcük e Karamusel nel golfo di İzmit rappresentano i bacini di *pull – apart* sviluppati tra i vari segmenti. Ogni segmento della superficie di rottura ha una lunghezza di 15-31 km ed una dislocazione massima di 1,7-4,9 m ed è costituito da una *body section* e da una *tail section* in entrambe le estremità del tratto.

La *body section* è il tratto principale del segmento, ha una linea relativamente retta ed uno spostamento laterale > 1 m senza interruzione; in genere una *body section* è formata da una serie di sub-sezioni lunghe parecchi km separate tra loro da rotture dove il tratto sembra superare lunghi metri e/o variazioni nell'entità dello spostamento. Le *tail sections* sono parti lunghe alcuni o parecchi km in entrambe le estremità del segmento e sono separate dalle *body sections* da improvvisi cambiamenti della direzione e/o dell'entità della dislocazione. Alle *tail sections* tra due *body sections* adiacenti corrisponde un cambio di direzione (*jog*) con salti (*step over*), *offset*, curvatura (*bend*) o interruzioni.

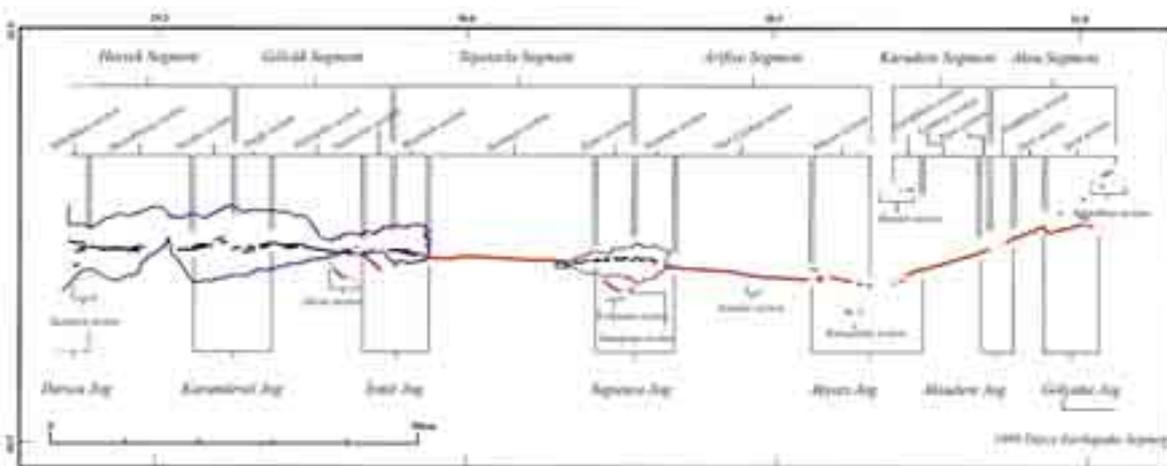


FIG 11 – Segmenti principali del sistema di faglie sorgenti del terremoto di Izmit del 17 agosto 1999 (da O.Emre *et alii*, 2003).

Il segmento di **Hersek** è una faglia con orientazione E-W nota dal punto di vista geologico che è stata attiva alla fine del Pleistocene e nell'Olocene. È più lunga di 22 km e si trova nel golfo di İzmit al largo di Yalova ed Hereke. Il segmento è suddiviso dal punto di vista geometrico in 3 sub – sezioni:

- Hersekburun (*body section*) – è stata riscontrata la fratturazione superficiale con un movimento laterale destro di parecchi cm sulla terraferma nel promontorio di Hersek.
- Yelkankaya (*tail section* occidentale)
- Hereke (*tail section* orientale)-

L'entità della dislocazione in ogni sito va da pochi a parecchi cm di movimento laterale destro e con la parte S rialzata e fino a 24 cm di apertura nella componente orizzontale dell'immersione

Il segmento di **Gölcük** si estende per 22 km al largo di Karamüsel e dalla costa SE del golfo di İzmit fino a E di Gölcük. Il tratto principale del segmento è suddiviso nelle sub – sezioni di

- Yüzbasilar (*body section*) – taglia il promontorio di Gölcük ed ha orientazione E-W e ad essa è associato uno spostamento laterale di 3,5-4,3 m,
- Eregli (*tail section* occidentale)
- Denizevler (*tail section* orientale) – ha direzione E-SE, e delimita il margine sud – occidentale di un bacino di *pull – apart* in corrispondenza del cambio di direzione tra i segmenti di Gölcük e di Tepetarla.

Il segmento di **Tepetarla** è la superficie di rottura con *trend* E-W sommersa tra il bacino del Golfo di İzmit ed il centro del lago Sapanca, ed è suddiviso nelle 3 sezioni di

- Sarimeşe (*body section*) - continua per 19 km sulla terraferma tra la costa orientale del golfo di İzmit e la costa occidentale del lago Sapanca. L'entità della dislocazione è pressoché uniforme sulla terraferma, e varia tra 2,3 e 3,6 m e la dislocazione laterale media è pari a 2,9 m. Lungo questo tratto si sono verificate rotture ad intervalli relativamente regolari tra 3 ed 8 km; in corrispondenza di queste la faglia forma strutture di *pull –a apart* e di *push – up*.
- Başiskele (*tail section* occidentale)- borda il margine nord – orientale di un bacino di *pull – apart* tra i segmenti di Golcuk e di Tepetarla ed è formata da due zone di faglia con struttura a gradinata con immersione verso sinistra (*left – stepping*) ed *en – echelon* lunga 6 km ed ampia 0,5 km con trend W- NW
- Ezme (*tail section* orientale) - è una zona di faglie con struttura a gradinata con immersione verso sinistra (*left – stepping*) ed *en – echelon* del tratto settentrionale rialzato situata nel centro del lago di Sapanca per 5 km. La zona di *en – echelon* diviene gradualmente più ampia verso E. Due tratti secondari, ossia le sezioni di Kirkpinar (lunghezza 3 km, *trend* NW-SE spostamenti fino a 0,2 m nella parte S sollevata e pochi cm di dislocazione laterale) e Ismetpasa (cui sono associate la subsidenza fino a 0,7 m ed il movimento laterale della costa verso NE, in concomitanza con una liquefazione intensa) si trovano a sud della sezione di Ezme sulla terraferma in prossimità del lago Sapanca.

Il segmento di Arifiye è la superficie di rottura con strike W-NW lunga 31 km che attraversa il bacino di Sakarya nella porzione centrale del lago di Sapanca fino ad E del fiume Mudurnu. Nel lago di Sapanca, al largo della costa in prossimità della città di

Sapanka, c'è il limite poco distinguibile tra i segmenti di Tepetarla e di Arifiye. Questo segmento è suddiviso nelle sezioni di

- Türk – Caibasi (*body section*) - si estende per 18 km con direzione N86°W ed è formata da 5 sub – sezioni con lunghezza variabile tra i 2 e i 5 km separate da piccoli *step – over* estensionali ed un improvviso cambiamento della dislocazione; uno spostamento massimo di 4,9 m della superficie di rottura di İzmit è stato registrato sulla sezione più occidentale a sud della città di Arifiye
- Esentepe (*tail section* occidentale) - si estende per 6 km con trend W-NW dalla costa orientale a quella centrale al largo nel lago di Sapanca
- Yahyalı (*tail section* orientale) - è una porzione lunga 5 km con strike W-NW con spostamento laterale destro fino a 0,6 m; sono presenti rotture secondarie associate a questo segmento (sezioni di Karakalik, Kalayar e Karacalilik).

Il segmento di **Karadere** è una rottura con *trend* E-NE lunga 12 km che corre attraverso la porzione settentrionale delle montagne di Almacık lungo il fiume Kinzalik. Ci sono un *gap* significativo lungo 6 km ed una flessione (*bend*) di 22° tra i segmenti di Arifiye e di Karadere.

Il segmento è suddiviso nelle sezioni di

- Çamlıca (*body section*) - è un tratto lungo 8 km con direzione N74°E formato da 2 sub – sezioni, una occidentale con dislocazione media di 1,7 m ed una massima di 2,1 m, ed una orientale con dislocazione media di 1 m ed una massima di 1,7 m.
- Çarığıkuru (*tail section* occidentale)- è lunga 4 km, è svincolata dalla *body section*, e la dislocazione diminuisce verso W
- Kara (*tail section* orientale)- è un tratto lungo 1 km che si rastrema verso E.

Il segmento di **Aksu** è il segmento più orientale del sistema di superfici di rottura attivate dal terremoto del 17 agosto 1999, ha *trend* E-NE e segue il fiume Aksu nel settore settentrionale delle montagne Almacık. Il segmento si ramifica verso E nella porzione SW del bacino di Düzce e si estende per 17 km di lunghezza in direzione E-W con un'ampiezza massima di 8,5 km in direzione N-S nel bordo orientale.

Il segmento è suddiviso nelle sezioni di

- Dere (*body section*) - è una rottura con direzione N68°W che ha seguito la valle del fiume Aksu verso E fino all'angolo sud – occidentale del bacino di Düzce. Le dislocazioni laterali massime e medie di questa sezione sono rispettivamente di 1,7

ed 1,4 m. A questa sezione è associato uno spostamento della porzione settentrionale rialzata pari a 0,35 m

- Kadifekale (*tail section* occidentale)- - è lunga 3 km, ha direzione N56°E e mostra un sollevamento del lato S fino a parecchi cm nella porzione occidentale della sezione
- Serif (*tail section* orientale)- ha seguito la linea di contatto tra il bacino di Düzce e le montagne di Almacık per 10 km. Ci sono rotture secondarie all'interno degli 8,5 km della parte settentrionale della sezione di Serif, con spostamenti fino a 0,2 m. La sezione di Koprübasi, all'estremità settentrionale di quest'area, una rottura distinta lunga 3,5 km, appare in modo continuo con dislocazione fino a 10 cm sia laterale che del tratto N rialzato.

La faglia di **Hendek** è isolata rispetto alle principali zone di faglia e di rottura del terremoto di Izmit, ed è situata 11-12 km a nord del gap tra i segmenti di Arifiye e Karadere. Una porzione di 5 km di tale segmento, posta a NW della città di Hendek, è stata attivata durante il terremoto di İzmit del 17 agosto 1999, con una dislocazione laterale destra pari a 0,3 m in corrispondenza dell'estremità orientale di questo segmento. Verso ovest sono state osservate fratture in strade e in giardini. Questa zona di rottura è isolata dalle zone di rottura principali.

3.3 - Applicazione della scala INQUA ai singoli siti ed alle località interessate dal terremoto di İzmit del 17 agosto 1999

La scala INQUA è stata applicata al terremoto di İzmit del 17 agosto 1999. Le località sono state identificate in base ai 6 segmenti principali del sistema delle fratture superficiali del terreno e delle probabili faglie sorgenti che, procedendo da W verso E, sono denominati

- 1 Hersek
- 2 Gölcük
- 3 Tepetarla
- 4 Arifiye
- 5 Karadere
- 6 Aksu

Oltre a questi segmenti è stata presa in considerazione anche la faglia di Hendek, situata 11-12 km a nord del *gap* tra i segmenti di Arifiye e Karadere.

Per ogni località è stata stimata l'intensità INQUA in base alla valutazione dei valori minimo e massimo per ciascun sito, mediante l'analisi dei dati forniti dalla pubblicazione "***Surface rupture associated with the August 17, 1999 İzmit Earthquake***" (AAVV, 2003 – *Special publication, General Directorate of Mineral Research and exploration*). Tale analisi è stata effettuata fondamentalmente sulla base dell'entità della dislocazione massima osservata nell'ambito della fagliazione superficiale e sull'ampiezza delle fratture nel terreno, dal momento che non sono stati riportati molti dati relativi agli effetti secondari (movimenti di versante, subsidenza del terreno, anomalie di carattere idrologico come le variazioni del livello del mare e di laghi, tsunami) anche quando sono stati rilevati. È stata ricavata un'intensità INQUA pari a 11 in base alla dislocazione laterale sinistra con valori compresi tra 4,50 e 4,90 m riscontrati in molti siti della località di Arifiye.

Qui di seguito sono riportate le tabelle e le maschere di inserimento con i dati relativi all'evento sismico ed alle singole località

Earthquake

Earthquake code	TU19990817
Country	Turkey
Earthquake region	Marmara
Year	1999
Month	08
Day	17
Greenwich time	
Magnitude	7,4
Magnitude type (ML MB M MS MD Mw MbLg MM mb)	Mw
Macroseismic intensity	
Intensity type (MM MSK MCS EMS JMA, other)	
Latitude	40,745
Longitude	29,9600
Location accuracy (m)	
Focal depth (km)	17
Depth accuracy (km)	
Earthquake references	O.Emre, Y.Awata, Dugan, (eds.) - 2003
Surface faulting (yes/no/debated)	Yes
Map of rupture zone (yes/no)	
Max D = maximum displacement (m)	5
SRL = surface rupture length (km)	110
Slip - sense (normal, reverse, oblique, right – lateral, left – lateral)	Right-lateral
SF (surface faulting) reference	Y.Awata, T.Yoshioka, E. Tsukuda - Active Fault Research Center, Geological Survey of Japan
Area of max secondary effects (Km ²)	
Secondary effects references	Y. Awata et ali
EEE epicentral intensity	11
Notes	The Mw 7.4 Izmit, Turkey earthquake produced about 110 kilometers of surface rupture, with up to 5 m of dextral slip, along a western portion of the North Anatolian fault zone (NAFZ). The August 17, 1999 earthquake is the latest in a sequence of large events that have occurred this century, and which have ruptured a nearly 1000-km-long section of the NAFZ. This sequence began with the 1939 Erzincan earthquake, followed by a generally westward progression of earthquakes in 1942, 1943, 1944, 1951, 1957, 1967, and finally the 1999 Izmit earthquake. This apparent progression of earthquakes has led many scientists to use the NAFZ as a natural laboratory in order to better understand fault interaction and behavior, and thereby apply lessons learned there to other high slip-rate strike-slip faults, such as the San Andreas fault in California
Authors	C. Spernanzoni

Tab 1 - Dati del terremoto di Izmit del 17 agosto 1999.

Qui di seguiti sono riportate le tabelle con i dati relativi alle 7 località interessate dal terremoto di Izmit del 17 agosto 1999.

Locality 1 – Hersek - Taskopru

Earthquake code	TU19990817
Locality code	HERSTASK
EEE survey date	
Locality	Hersek-Taskopru
Town-District	Hersek
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4146
Locality longitude	29,2188
Locality altitude (m)	5
Location accuracy	
Locality length (km)	22
Locality width (km)	3
Site-datum	
Site distance (km)	35,825
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	offshore-coast
EEE intensity	9
Notes	The Hersek segment is a fault which has been active through the Late Pleistocene and Holocene. It is more than 22 km and lies in the Gulf of Izmit between offshore Yalova and Offshore Hereke. This segment is geometrically subdivided into three sections: Yelkankaya, Hersekburun and Hereke. No significant surface rupture has been observed associated with the Izmit earthquake along the main faults, except the cracking with a several cm of right-lateral around the Hersekburun section on land of the Hersek Promontory. A secondary surface rupture, the Taskopru section occurred onshore of the Catal Promontory approximately 4 km south of the main strand of the Hersek segment; it's an E-W striking rupture zone which extends over 3km in length and 0,4 to 1,5 km in width along the pre-existing 5 m-high scarp flexure scarp on terrace surface. The amount of displacement at each site was a few to several cm of right-lateral and south-side up, and up to 24 cm of opening in horizontal dip component.

Locality 2 – Golcuk

Earthquake code	TU19990817
Locality code	GOLCU
EEE survey date	
Locality	Golcuk
Town-District	Golcuk
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4355
Locality longitude	29,818
Locality altitude (m)	5
Location accuracy	
Locality length (km)	22
Locality width (km)	3
Site-datum	
Site distance (km)	2,23
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	Coast, fan delta
EEE intensity	10
Notes	The Golcuk segment extend for 22 km between offshore Karamursel and southeast coast of the Gulf of Izmit to the East of Golcuk. The main strand of this segment is subdivided into three sections: Eregli, Yuzbasilar and Denizevler. The eastern part of this segment is traceable on land southeast of the gulf. A totally 8,5 long surface rupture which comprises two main traces, the eastern part of the Yuzbasilar section and the Denizevler section appeared in the vicinity of Golcuk.

Locality 3 – Tepetarla

Earthquake code	TU19990817
Locality code	TEPET
EEE survey date	
Locality	Tepetarla
Town-District	Tepetarla
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4328
Locality longitude	29,0495
Locality altitude (m)	35
Location accuracy	
Locality length (km)	34
Locality width (km)	11
Site-datum	
Site distance (km)	24,4
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	shores
EEE intensity	10
Notes	The Tepetarla segment extend from the eastern basin of the Gulf of Izmit and the center of Lake Sapanca. This segment is subdivided into three sections: Basiskele, Sarimese and Esme. The body section of this segment (most of the Sarimese section) continues for 19 km on land, between the eastern shore of Gulf of Izmit and the western shore of the Lake Sapanca. The amount of the displacement is almost uniform over a length along the section on land, and ranges between 2,3-3,6 m and 2,9 laterally).

Locality 4 – Arifiye

Earthquake code	TU19990817
Locality code	ARIFI
EEE survey date	
Locality	Arifiye
Town-District	Arifiye
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,7094
Locality longitude	30,216
Locality altitude (m)	35
Location accuracy	
Locality length (km)	31
Locality width (km)	15
Site-datum	
Site distance (km)	48,3
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	lake - river valley
EEE intensity	11
Notes	<p>he Arifiye segment is the west-northwest striking surface rupture of 31 km long across the Sakarya Basin from the middle of Lake Sapanca to the East of Mudurnu River. This segment is subdivided into three sections: Esentepe, Turk Caybasi and Yahyali. The body section of this segment (Turk Caybasi section) Extends for 18 km, striking N86°W, and consists of five sub-sections ranging between 2-5 km in length separated by small extensional step-overs and sudden change in displacement. A 4,9 m of maxD of the Izmit surface rupture was recorded in the westernmost sub-section south of the town of Arifiye. The amount of displacement value is constant within each sub-section, and distinctively and gradually decreases eastward from 4,6 to 0,9 m along the section. Secondary component of slip of 0,3 to 0,5 m north-side up occurred along a 7 km-long central part of the section, where the ruptures of small vertical displacement were observed during the Mudurnu Valley earthquake of 1967.</p>

Locality 5 – *Karadere*

Earthquake code	TU19990817
Locality code	KARAD
EEE survey date	
Locality	Karadere
Town-District	Karadere
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4372
Locality longitude	30,4947
Locality altitude (m)	480
Location accuracy	
Locality length (km)	12
Locality width (km)	4
Site-datum	
Site distance (km)	90,475
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	Mountain valley
EEE intensity	10
Notes	The Karadere segment is the east-north-east trending rupture of 13 km-long running through the northern Almacik Mountains along the Kizanlik River. The segment is subdivided into Three sections: Carigikuru, Camlica and Kara. The body section of the segment (Camlica Section) is an 8 km-long strand striking N74°E, and consists of two sub-sections ruptured 1,0 m in average and 1,7 m in maximum.

Locality 6– *Aksu*

Earthquake code	TU19990817
Locality code	AKSU
EEE survey date	
Locality	Aksu
Town-District	Aksu
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4554
Locality longitude	30,5744
Locality altitude (m)	250
Location accuracy	
Locality length (km)	17
Locality width (km)	7
Site-datum	
Site distance (km)	101,13
Accuracy of local intensity	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	Mountain valley
EEE intensity	10
Notes	The Aksu segment is the Easternmost segment of the August 1999 rupture, which trend east-northeast following the Aksu River in the Northern Almacik Mountains. The segment branches off eastward into the southwestern Duzce Basin. The segment occupied 17 km in E-W length and maximum 8,5 km in N-S width at the eastern border, and the eastern tip of main strand overlaps the western part of the November 1999 Duzce Rupture for 5 km. The body section of this segment (the Dere section) is a 4 km-long rupture striking N68°W which followed the valley of Aksu River Eastward to the southwestern corner of the Duzce Basin. The maximum and average right-lateral displacements of this section are 1,7 m and 1,4 m respectively. The section is accompanied by a north-side up displacement of up to 0,35m.

Locality 7– Hendek

Earthquake code	TU19990817
Locality code	HENDE
EEE survey date	
Locality	Hendek
Town-District	Hendek
Surveyor	Y.Awata et alii
Locality latitude	40,4846
Locality longitude	30,4283
Locality altitude (m)	
Location accuracy	
Locality length (km)	17
Locality width (km)	7
Site-datum	
Site distance (km)	101,13
Accuracy of local intensity (km)	
Local PGA (g)	
Geomorphological setting	Hillslope
EEE intensity	10
Notes	The Hendek fault is isolated from the main rupture zone of Izmit (12-13 km N of the gap between Arifiye and kKaradere segments. A 5 km-long portion of this fault was activated during t the Izmit earthquake of August 1999; along the eastern s 1 km-long strand shows right-lateral displacement up to 0,3 m; toward the s west cracks were observed cutting across the roads and house yards.

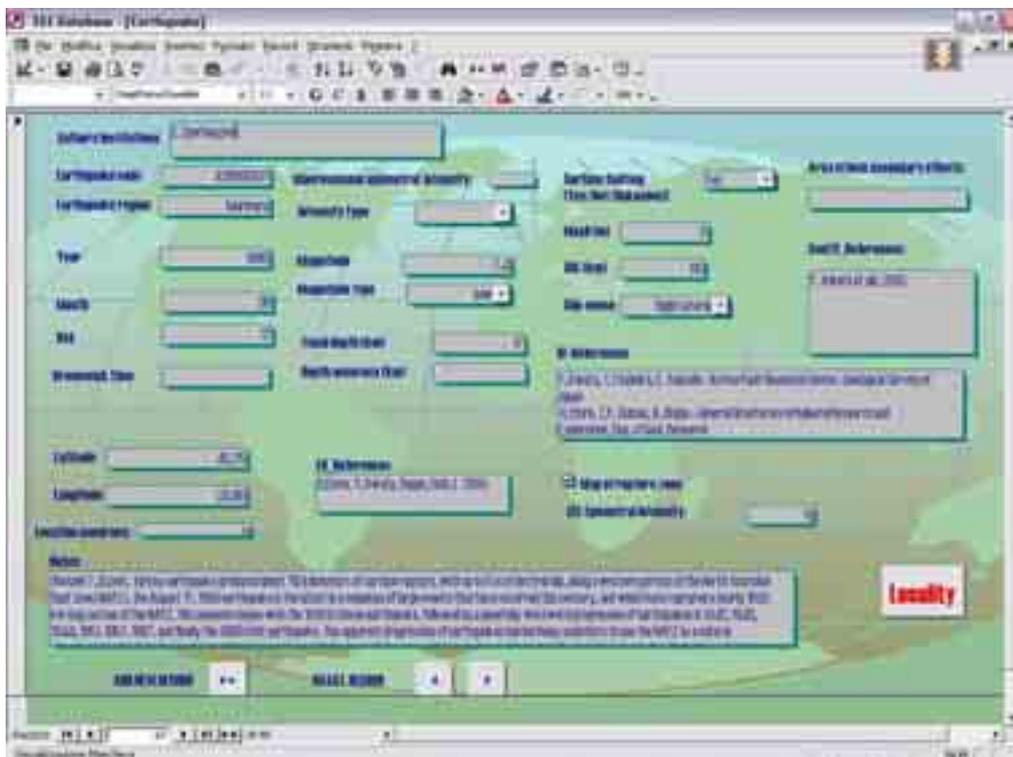


FIG 12 - Maschera di inserimento dei dati del terremoto di Izmit

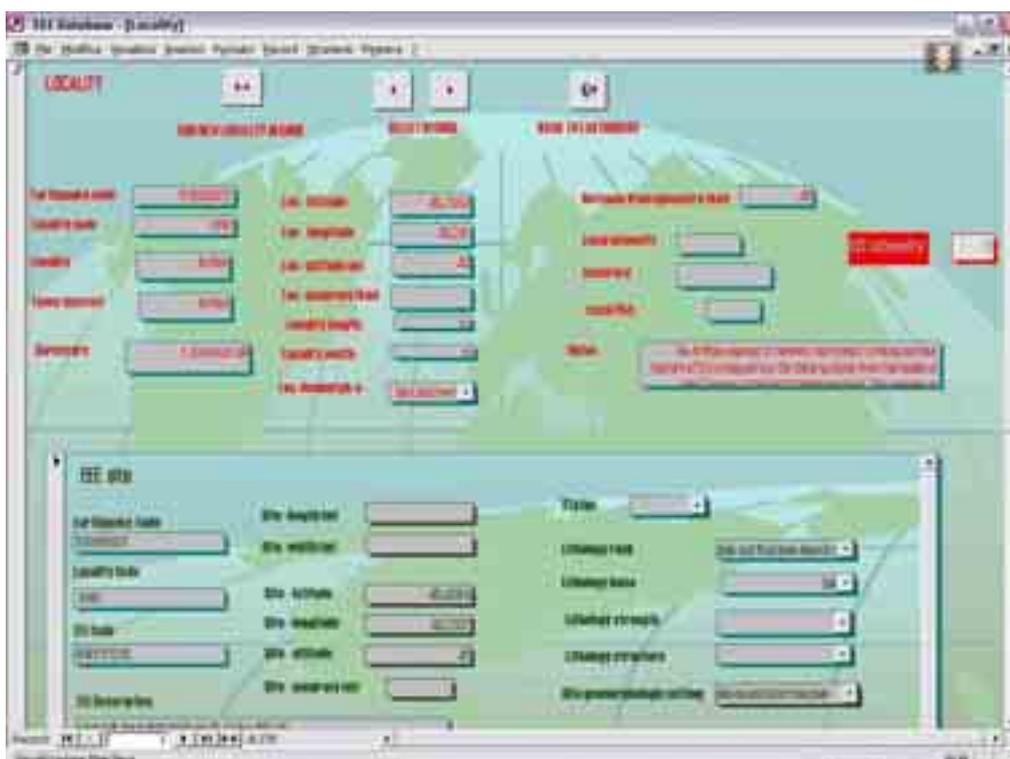


FIG 13 - Maschera di inserimento dei dati relativi alla località di Arifiye, interessata dal terremoto di Izmit del 17 agosto 1999

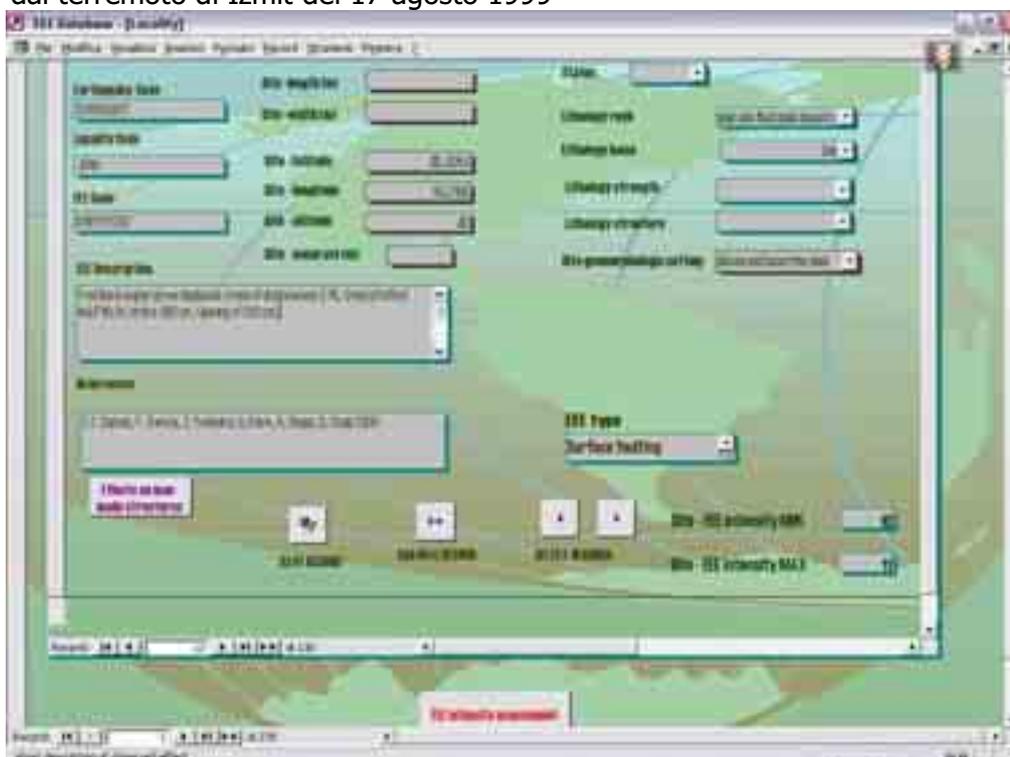


FIG 14 - Maschera di inserimento dei dati relativi ai siti della località di Arifiye, interessate dal terremoto di Izmit del 17 agosto 1999

SURFACE FAULTING

SELECT

EEF Code

Strike (°)

Dip (°)

Slip vector (°)

Slip-sense

Other features

Vert Local offset (cm)

Displaced features

Horiz Local offset (cm)

Scarp

Length of fault segment (km)

EEF intensity MIN

EEF intensity MAX

SAVE RECORD

FIG 15 - Maschera di inserimento dei dati relativi alla fagliazione superficiale

GROUND CRACKS

SELECT

EEF Code

Origin

Strike (°)

Dip (°)

Max opening (cm)

Length (m)

Shape

Humidity

Areal density (N²/mq)

Stiffness intensity MIN

Stiffness intensity MAX

SAVE RECORD

FIG 16 - Maschera di inserimento dei dati relativi alle fratture del terreno

GROUND SETTLEMENTS - COLLAPSE

SELECT

EEF Code

Type

Max Diameter (m)

Linear density (N²/m)

Areal density (N²/mq)

Max lowering/uplift (m)

Shape

Humidity

Depth of water table (m)

Velocity

Time delay/advance (hrs)

Water ejection

Sand ejection

Stiffness intensity MIN

Stiffness intensity MAX

SAVE RECORD

FIG 17 - Maschera di inserimento dei dati relativi alla subsidenza del terreno

HYDROLOGICAL ANOMALY

SELECT

EFF code

Surface waters effects

Duration of anomaly (days)

Groundwater effects

Time delay (hrs)

Temperature Anomaly

Chemical Anomaly

Temperature change (°C)

Chemical components

Discharge Anomaly

Gas emission

Discharge change (l/s)

Gas element

Velocity

SAVE RECORD

MinEffIntensity_MIN

MinEffIntensity_MAX

FIG 18 - Maschera di inserimento dei dati relativi alle anomalie di carattere idrologico

SLOPE MOVEMENTS

SELECT

EFF Code

Type

Humidity

Max size of blocks

Time delay

Total volume

Linear density

Width

Areal density

Slip amount

SAVE RECORD

MinEffIntensity_MIN

MinEffIntensity_MAX

FIG 19 - Maschera di inserimento dei dati relativi ai movimenti di versante

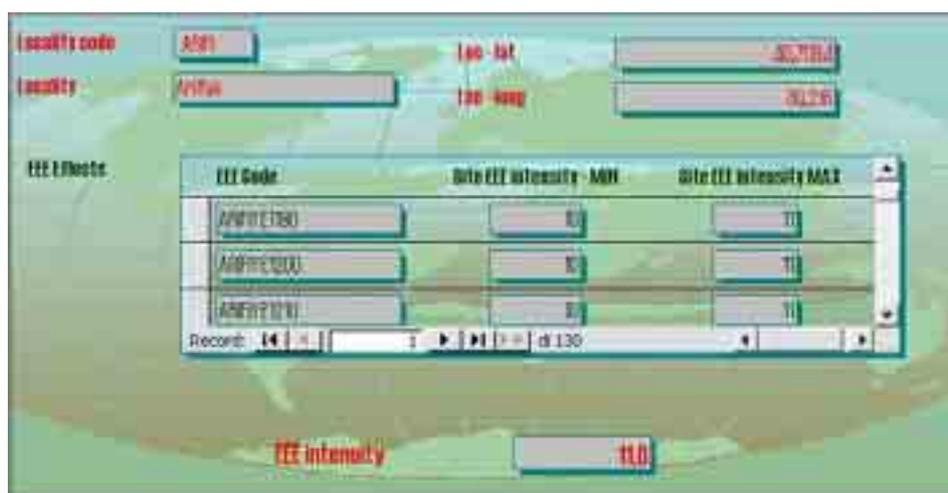


FIG 20 - Maschera di inserimento dei valori di intensità INQUA nei diversi siti

Nella tabella di seguito sono riportate le intensità INQUA stimate per i singoli siti della località Arifiye, dalle quali è stata calcolata l'intensità INQUA di tale località. Da queste è stata ricavata l'intensità INQUA del terremoto di Izmit pari a 11 in quanto in alcuni di questi siti sono state rilevate le dislocazioni massime legate alla fagliazione superficiale.

ARIFI	AKYAZI 2200	8	9
ARIFI	AKYAZI 2210	8	9
ARIFI	AKYAZI 2220	8	9
ARIFI	ARIFBEY1120	8	9
ARIFI	ARIFBEY1130	8	9
ARIFI	ARIFBEY1140	9	10
ARIFI	ARIFBEY1150	9	10
ARIFI	ARIFBEY1160	10	11
ARIFI	ARIFBEY1170	9	10
ARIFI	ARIFBEY1180	9	10
ARIFI	ARIFIYE1190	10	11
ARIFI	ARIFIYE1200	10	11
ARIFI	ARIFIYE1210	10	11
ARIFI	ARIFIYE1220	10	11
ARIFI	ARIFIYE1230	10	11
ARIFI	CAYBASI1440	9	10
ARIFI	CAYBASI1450	9	10
ARIFI	CAYBASI1460	9	10
ARIFI	CAYBASI1470	9	10
ARIFI	CAYBASI1480	9	10
ARIFI	CAYBASI1490	10	11
ARIFI	CAYBASI1500	9	10
ARIFI	CAYBASI1510	9	10
ARIFI	CAYBASI1520	9	10
ARIFI	CAYBASI1530	9	10
ARIFI	CAYBASI1540	9	10
ARIFI	CILDIRL1900	9	10
ARIFI	CILDIRL1910	9	10

ARIFI	CILDIRL1920	9	10
ARIFI	CILDIRL1930	9	10
ARIFI	CILDIRL1940	9	10
ARIFI	CILDIRL1950	9	10
ARIFI	CILDIRL1960	9	10
ARIFI	CILDIRL1970	9	10
ARIFI	CILDIRL1980	9	10
ARIFI	CILDIRL1990	9	10
ARIFI	CILDIRL2000	9	10
ARIFI	CILDIRL2010	9	10
ARIFI	CUMHUR 1260	10	11
ARIFI	CUMHUR 1270	10	11
ARIFI	CUMHUR 1280	10	11
ARIFI	CUMHUR 1290	10	11
ARIFI	CUMHUR 1300	10	11
ARIFI	CUMHUR 1310	10	11
ARIFI	CUMHUR 1320	10	11
ARIFI	CUMHUR 1330	9	10
ARIFI	CUMHUR 1340	10	11
ARIFI	CUMHUR 2340	8	9
ARIFI	DAGDIBI2320	8	9
ARIFI	DAGDIBI2330	8	9
ARIFI	DEMIR 1240	10	11
ARIFI	DEMIR 1250	10	11
ARIFI	EFECIM 2230	8	9
ARIFI	EFECIM 2240	8	9
ARIFI	EFECIM 2250	8	9
ARIFI	EKINLI 1850	9	10
ARIFI	EKINLI 1860	9	10
ARIFI	EKINLI 1870	9	10
ARIFI	EKINLI 1880	9	10
ARIFI	EKINLI 1890	9	10
ARIFI	EMIRLER1550	9	10
ARIFI	EMIRLER1560	9	10
ARIFI	EMIRLER1570	9	10
ARIFI	EMIRLER1580	9	10
ARIFI	ERDOGDU2130	8	9
ARIFI	ERDOGDU2140	8	9
ARIFI	ERDOGDU2150	9	10
ARIFI	ERDOGDU2160	9	10
ARIFI	HOROZL 1720	9	10
ARIFI	HOROZL 1730	9	10
ARIFI	HOROZL 1760	8	9
ARIFI	HOROZL 1770	9	10
ARIFI	HOROZL 1780	9	10
ARIFI	HOROZL 1790	9	10
ARIFI	HOROZL 1800	9	10
ARIFI	HOROZL1750	9	10
ARIFI	KARACAL2260	8	9
ARIFI	KARACAL2270	8	9
ARIFI	KARACAL2280	8	9
ARIFI	KARACAL2290	9	10

ARIFI	KARACAL2300	8	9
ARIFI	KARACAL2310	9	10
ARIFI	KAYALAR1590	9	10
ARIFI	KAYALAR1600	9	10
ARIFI	KAYALAR1610	9	10
ARIFI	KAYALAR1620	9	10
ARIFI	KAYALAR1630	9	10
ARIFI	KAYALAR1640	8	9
ARIFI	KAYALAR1650	9	10
ARIFI	KAYALAR1660	9	10
ARIFI	KAYALAR1670	9	10
ARIFI	KAYALAR1680	9	10
ARIFI	KAYALAR1690	9	10
ARIFI	KAYALAR1700	8	9
ARIFI	KAYALAR1710	9	10
ARIFI	KAYALk 1810	9	10
ARIFI	KAYALk 1820	9	10
ARIFI	KAYALk 1830	9	10
ARIFI	KAYALk 1840	9	10
ARIFI	KAYALm 1740		
ARIFI	MUDURNU2120	8	9
ARIFI	NEHIRK 1350	10	11
ARIFI	NEHIRK 1360	10	11
ARIFI	NEHIRK 1370	9	10
ARIFI	NEHIRK 1380	9	10
ARIFI	NEHIRK 1390	10	11
ARIFI	NEHIRK 1400	9	10
ARIFI	NEHIRK 1410	10	11
ARIFI	SAGIRL 2020	9	10
ARIFI	SAGIRL 2030	9	10
ARIFI	SAGIRL 2040	9	10
ARIFI	SAGIRL 2050	9	10
ARIFI	SAGIRL 2060	9	10
ARIFI	SAGIRL 2070	8	9
ARIFI	SAGIRL 2080	9	10
ARIFI	SAGIRL 2090	8	9
ARIFI	SAGIRL 2100	8	9
ARIFI	SAGIRL 2110	8	9
ARIFI	SAKARYA1420	9	10
ARIFI	SAKARYA1430	9	10
ARIFI	SAPAN 1030	9	10
ARIFI	SAPAN 1040	9	10
ARIFI	SAPAN 1050	9	10
ARIFI	SAPAN 1060	9	10
ARIFI	SAPAN 1070	9	10
ARIFI	SAPAN 1080	9	10
ARIFI	SAPAN 1090	9	10
ARIFI	YAHYALI2170	8	9
ARIFI	YAHYALI2180	8	9
ARIFI	YAHYALI2190	8	9

Tab 2 – Valori di intensità INQUA minima e massima riferiti ai siti della località di Arifiye

4 - CONCLUSIONI

La scala INQUA è uno strumento necessario per la stima della pericolosità sismica e del rischio e soprattutto in zone interessate da terremoti per i quali è difficile l'applicazione delle scale di intensità macrosismiche basate sugli effetti sulle strutture antropiche (per scarsa urbanizzazione o presenza di strutture antropiche di qualità scadente al momento dell'occorrenza del terremoto). Dagli effetti indotti dai terremoti sull'ambiente naturale possono essere ricavate informazioni sulle dimensioni e sul campo delle intensità e, mediante la comparazione con eventi analoghi con effetti stimati con le scale di intensità macrosismiche tradizionali, è possibile una valutazione non solo per i terremoti avvenuti in tempi storici prima dell'avvento delle misure strumentali, ma anche, e questo è ancora più importante, per quelli privi di testimonianze scritte. Per queste ragioni sono importanti sia la divulgazione di tale scala a livello internazionale che l'impostazione di un database e di un'interfaccia WEB che possano essere aggiornati di continuo mediante l'aggiunta di ulteriori dati. L'obiettivo finale che si vuole raggiungere è la costruzione di un vero e proprio catalogo degli effetti dei terremoti sull'ambiente naturale simile a quello dei terremoti storici.

BIBLIOGRAFIA

AAVV, 2003 – *Surface rupture associated with the August 17, 1999 İzmit Earthquake* – Special publication, General Directorate of Mineral Research and exploration.

A.M. Blumetti, E. Esposito, L. Ferreli, A.M. Michetti, S. Porfido, L. Serva, E. Vittori, 2002 – *New data and reinterpretation of the november 23, 1969, M 6,9, irpinia – Lucania earthquake (Southern Apennine) coseismic surface effects* – *International Workshop "Large scale vertical movements and related gravitational processes"*, Special Issue, Studi Geologici Camerti, 2002: 19-27.

A.M. Michetti et alii, 2004 – *An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically – induced ground effects in natural environment* – special paper APAT (Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per I Servizi Tecnici) Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d’Italia, Memorie descrittive della Carta Geologica d’Italia, vol LXVII, 118 pp.

L. Serva, E. Esposito, L. Guerrieri, S. Porfido, E. Vittori, V. Commerci, 2006 – *Environmental effects from some hystorical earthquakes in Southern Apennines (Italy) snd macroseismic intensity assessment: contribution to INQUA EEE scale project* –

E. Vittori, G. Deiana, E. Esposito, L. Ferreli, L. Marchegiani, G. Mastrolorenzo, A.M. Michetti, S. Porfido, L. Serva, A.L. Simonelli, E. Tondi, 2000 – *Ground effects and surface faulting in the September – October 1997 Umbria – Marche (Central Italy) seismic sequence* – *Journal of Geodynamics*, 29: 535-564.