

## INTEGRAZIONE DELLA MODELLAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI CON I DATI STORICI E LA PERCEZIONE DEL RISCHIO DELLE CALAMITÀ NATURALI

### INTEGRATING EXTREME EVENTS MODELING WITH DIACHRONIC DATA AND RISK PERCEPTION OF NATURAL HAZARDS

ENRICA CAPORALI, TIZIANA PILEGGI & GIORGIO FEDERICI

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
Via S. Marta, 3 - 50139 Firenze, Italy - Email: enrica.caporali@unifi.it

#### RIASSUNTO

I fenomeni coinvolti in eventi alluvionali estremi sono complessi e la loro previsione è fortemente influenzata da un certo grado di incertezza, che rende la comunicazione degli stati di allarme molto difficile da realizzare. La promozione della percezione dei rischi naturali e il miglioramento della comunicazione degli allarmi, volti a ridurre le perdite di vite umane, diventa dunque quanto mai auspicabile.

In questo lavoro viene esaminato il disastroso evento alluvionale che si è verificato il 19 giugno 1996 nei bacini idrografici delle Alpi Apuane in Italia centrale. L'evento è stato eccezionale, gli impatti sulla popolazione drammatici, catastrofici sono stati gli effetti sugli edifici e sulle infrastrutture.

Facendo riferimento all'evento, è stato progettato e sviluppato un geodatabase che integra i dati diacronici con i risultati dei modelli idrologici e sedimentologici. L'obiettivo è quello di fornire un aiuto prezioso alla previsione delle inondazioni improvvise, alla valutazione del rischio e agli interventi di mitigazione.

E' stato inoltre effettuato un primo tentativo, di combinare tutte le informazioni disponibili sull'evento e sulla storia delle alluvioni in Versilia, con l'esposizione sociale al rischio di alluvione improvvisa. L'obiettivo è quello di indagare le circostanze di tipo idrometeorologico dettagliate che portano a perdite accidentali e meglio comprendere i fattori fisici predominanti di rischio.

L'importanza della promozione della percezione del rischio idrogeologico è stata infine evidenziata in occasione di una specifica esperienza formativa realizzata a seguito dell'evento.

**PAROLE CHIAVE:** eventi idrometeorologici estremi, modellazione idrologica e sedimentologica distribuita, dati diacronici, esposizione della collettività agli stati di rischio, percezione del rischio.

#### INTRODUZIONE

L'attivazione di eventi alluvionali estremi è causata da verificarsi contemporaneo di condizioni critiche delle componenti meteorologiche, idrologiche e geologiche. La capacità di modellare eventi passati conduce pertanto ad una migliore valutazione del rischio idrogeologico e delle possibili misure e strategie di mitigazione (NEPPEL *et alii*, 2006). Inoltre, i dati di alluvioni passate possono essere considerati come un indice preliminare per la valutazione delle zone vulnerabili e allo stesso tempo utili elementi di validazione dei modelli fisici.

#### ABSTRACT

The phenomena involved in extreme flood events are complex and their prediction is affected by a given degree of uncertainty, that makes the warning communication very difficult to achieve. The promotion of the natural hazards perception and the improvement in warning communication, aimed at human life losses reduction, therefore, became extremely desirable.

This work analyzes the disastrous flash-flood occurred on 19 June 1996 in the mountain river basins of the Apuanian Alps in Central Italy. The event was exceptional, the impacts on the population were dramatic, the effects on building and infrastructures were catastrophic.

With reference to the event, a geodatabase integrating diachronic data with the results of hydrological and sedimentological modeling, has been implemented. The purpose is to provide valuable aid to flash-floods prediction, risk assessment and mitigation activities.

The attempt, to combine all the information available on the event and on the history of floods of Versilia region together with human exposure to flash-flood risk, has also been explored. The aim is to investigate the detailed hydrometeorological circumstances that lead to accidental casualties and to better understand the predominant physical factors of risk.

The importance of the promotion of the hydrogeological risk perception was also highlighted during a specific training experience carried out after the event.

**KEY WORDS:** extreme idrometeorological events, distributed hydrological and sedimentological modeling, diachronic data, human exposure to risk, risk perception.

#### INTRODUCTION

The triggering mechanisms of extreme flood events are caused by the contemporaneous critical situation of meteorological, hydrological and geological components. The capacity to model past events leads, therefore, to a better evaluation of hydrogeological risk and of the possible mitigation measures and strategies (NEPPEL *et alii*, 2006). Furthermore, the data of past floods can be considered as a preliminary index for the vulnerable areas assessment and at the same time suitable elements of validation for physical models.

Tali affermazioni diventano particolarmente evidenti quando gli eventi sono caratterizzati da brevi tempi di risposta e livelli elevati di incertezza o di scarsa prevedibilità, come l'evento alluvionale che si è verificato sulle Alpi Apuane, nel Centro Italia, il 19 giugno 1996, qui di seguito analizzato e discusso (BURLANDO & ROSSO, 1998; GOZZINI *et alii*, 1998; MANCINI, 1998).

L'analisi di questi eventi è infatti molto spesso problematica, a causa delle dimensioni del fenomeno e per la mancanza o insufficienza di adeguate reti di monitoraggio in tempo reale (BECCHI *et alii*, 1999; CAPORALI, 2001). Inoltre, la potenzialità della previsione è implicitamente condizionata sia dalla rapidità della risposta idrologica del bacino, sia dall'incertezza della descrizione della dinamica e della variabilità spaziale dei campi di precipitazione, nonché delle proprietà idrologiche del suolo. La dimensione del bacino idrografico diventa, infatti, molto spesso paragonabile a quella dell'evento di precipitazione e la risposta idrologica è fortemente dipendente dalle caratteristiche locali del suolo.

Risulta, in questo modo, riconosciuta la rilevanza della ricostruzione fisicamente basata degli eventi passati e allo stesso tempo il miglioramento della conoscenza dei complessi processi idrologici mette in evidenza la necessità di analizzare i fenomeni a risoluzione spaziale di dettaglio (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999; CAPORALI, 2001; FATICHI & CAPORALI, 2007b).

Inoltre, i fenomeni idrosedimentologici descritti sono molto particolari, ma non così rari, come testimonia la documentazione su episodi simili nell'area del Mediterraneo (NEPPEL *et alii*, 2006). Modellare questo tipo di eventi è quanto mai importante ai fini della conoscenza della distribuzione spaziale delle precipitazioni e della dinamica della propagazione della portata liquida e solida.

Qui di seguito viene analizzata la disastrosa alluvione verificatasi il 19 giugno 1996 nei bacini montani dei fiumi delle Alpi Apuane. L'evento è stato eccezionale, con una intensità di pioggia di circa 150 mm per ora, concentrata su una superficie di 5x5 km. Le conseguenze hanno gravemente colpito la popolazione; le vittime sono state 13 e ingenti sono stati i danni registrati agli edifici e alle infrastrutture.

L'evento è stato analizzato sia dal punto di vista meteorologico che idrologico; vengono riportati, i principali risultati relativi alla simulazione della trasformazione afflussi-deflussi, della produzione e della propagazione dei sedimenti. Viene inoltre discusso il possibile miglioramento connesso a questo tipo di simulazione nelle comunicazioni di stati di allerta e nella percezione dei rischi naturali. I processi di mitigazione dei rischi naturali sono complessi e richiedono diversi punti di vista; le indagini sugli eventi del passato possono fornire un supporto prezioso per le attività di previsione e di mitigazione, nonché per il miglioramento della percezione del rischio idrogeologico da parte della collettività.

Al fine di potenziare e migliorare questi aspetti, è stato progettato e sviluppato un geodatabase con i dati di input e i risultati della modellazione, combinati con i dati storici delle inondazioni nella Versilia. Più recentemente, il database è stato popolato anche con la cronologia dell'evento e la sequenza degli interventi. Le vittime documentate e gli incidenti sono stati collocati nel tempo e nello spazio. L'obiettivo è

The statements above are particularly evident when the events have short lead times and high levels of uncertainty or low predictability, as the flash flood event, occurred on the Apunian Alps, in Central Italy, on 19 June 1996, analyzed and discussed here (BURLANDO & ROSSO, 1998; GOZZINI *et alii*, 1998; MANCINI, 1998).

The monitoring of these events is in fact very often problematic, due to the size of the phenomena and to the lack or failure of appropriate real-time monitoring networks (BECCHI *et alii*, 1999; CAPORALI, 2001). Furthermore the forecasting potentiality is implicitly limited either by the fast hydrologic response of the catchment area and the uncertainty in the description of the dynamic and spatial variability of rainfall fields and the hydrological soil hydrological properties. The scale dimension of the basin becomes in fact very often comparable to that of clusters of rain cells forming during the storms and the hydrological response is strongly dependent on the soil local characteristics.

The relevance of physically based reconstruction of past events is therefore recognized and the increasing knowledge of the complex hydrological and sedimentological processes has stressed the necessity to analyze the phenomena at quite fine spatial resolution (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999; CAPORALI, 2001; FATICHI & CAPORALI, 2007b).

Moreover, the hydro-sedimentological phenomena described here are very peculiar, but not so rare, like testify the documentation about similar episodes in the Mediterranean area (NEPPEL *et alii*, 2006). Modelling this kind of events is important also in order to offer a valuable aid to the knowledge about the spatial distribution of rainfall and the routing dynamic of water and sediment.

The disastrous flash flood occurring on 19 June 1996 in the mountain river basins of the Apunian Alps in Central Italy is analyzed here. The event was exceptional, with a rainfall intensity of about 150 mm per hour concentrated over an estimated area of 5x5 km. The consequences of the event have severely hit the population. In the mountain part of the Versilia river basin, the event took 13 human lives. Costly damages to buildings and infrastructure have been also recorded.

The event has been analyzed from the meteorological, hydrological and sedimentological point of view. Major results related to the simulation of the rainfall and runoff process, sediment production and routing, are reported. The possible improvement related to this kind of simulation in warning communication and natural hazards risk perception is also discussed. Natural hazards mitigation processes are complex and require several perspectives. Investigation on past events can provide a precious support for prediction and mitigation activities as well as promotion of the hydrogeological risk perception of the community.

In order to enhance and improve this aspects, a geodatabase of the modeling input data and results, combined with the historical floods data of Versilia region, has been designed and developed. More recently, the database has been populated also with the chronology of the event and the sequence of interventions. Documented casualties and accidents have been located in time and space. The objective is

quello di combinare le informazioni sul numero di vittime con le condizioni idrometeorologiche dominanti, riscontrate nella zona in cui è avvenuto l'incidente. In effetti, il miglioramento delle previsioni e dei sistemi di allerta è sempre auspicabile e deve essere volto a ridurre le perdite di vite umane (ANDAH *et alii*, 2002; MONTZ & GRUNTFEST, 2002). L'indagine sulle circostanze idrometeorologica che portano a perdite accidentali e sui fattori fisici predominanti possono essere un valido aiuto per realizzare l'obiettivo di cui sopra e al tempo stesso essere un efficace supporto per la promozione della percezione dei pericoli naturali e della comunicazione degli allarmi (RUIN *et alii*, 2008).

Nell'ambito della promozione della percezione dei rischi naturali, i risultati delle indagini condotte sull'evento della Versilia sono stati condivisi e discussi con il personale che può essere coinvolto nel sistema di allerta e nelle attività di protezione civile. In particolare, sono stati organizzati dei corsi di formazione e tirocini (CERAFRI, 2005), per il personale che opera sul territorio con diversi ruoli e in diversi settori (ad esempio polizia municipale, polizia provinciale, Corpo Forestale nazionale italiano, associazioni di volontariato, ecc.) con l'obiettivo di migliorare la loro percezione dei precursori di evento e le conoscenze per comprendere i principali fenomeni che creano le condizioni di rischio idraulico e di frana sul territorio.

### L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 19 GIUGNO 1996 IN VERSILIA

Il 19 giugno 1996, un disastroso evento alluvionale, ha colpito i bacini idrografici di montagna delle Alpi Apuane, una catena montuosa relativamente elevata (i.e. le vette più alte raggiungono 1600-1800 m s.l.m), molto vicina al Mar Tirreno, situata nella parte nord-occidentale della Toscana (Fig. 1). Questo lavoro, concentra l'analisi sul bacino idrografico del fiume Versilia, il più colpito dall'evento, che si estende su una superficie di circa 105 km<sup>2</sup> (CASTELLI *et alii*, 1996; BURLANDO & ROSSO, 1998; GOZZINI *et alii*, 1998; MANCINI, 1998; BECCHI *et alii*, 1999).

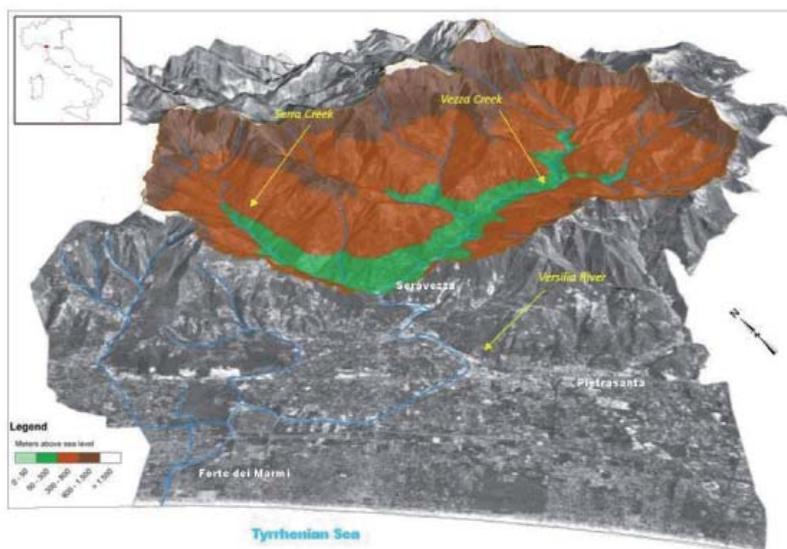
to combine the information on the fatal casualties and the prevailing hydrometeorological conditions, encountered in the area where the accident occurred. In fact, improvement in forecasts and warnings of flash - flood events are still desirable and must be aimed at human life losses reduction (ANDAH *et alii*, 2002; MONTZ & GRUNTFEST, 2002). The investigation on the hydrometeorological circumstances that lead to accidental casualties and on the predominant physical factors of risk can be a valuable aid to achieve the above task and at the same time an efficient support to the promotion of natural hazard perception and warning communication (RUIN *et alii*, 2008).

In the framework of enhancing natural hazards perception, the results of the investigations carried out on the Versilia flash flood event, have been shared and discussed with personnel that can be involved in the warning system and the Civil Protection activities. In particular a series of training courses and stages have been organized (CERAFRI, 2005), for personnel that work on the territory with different roles and in different areas (i.e. municipal police, provincial police, Italian national forest body, voluntary association, etc.) with the aim to enhance their perception of event precursors and their knowledge to understand the main phenomena that create the conditions for hydraulic and landslide risk on the territory.

### THE VERSILIA FLASH FLOOD EVENT ON 19 JUNE 1996

On 19 June 1996 a disastrous flash-flood, in terms of dramatic impacts on the population and on the territory, has interested the mountain river basins of the Apuanian Alps, in North-West Tuscany, Central Italy (Fig. 1). A relatively high mountainous chain (i.e. 1600-1800 m a.s.l. the higher peaks) very close to the Tyrrhenian Sea. We focus here the attention on the Versilia catchment, the most affected one, that covers an area of about 105 km<sup>2</sup> (CASTELLI *et alii*, 1996; BURLANDO & ROSSO, 1998; GOZZINI *et alii*, 1998; MANCINI, 1998; BECCHI *et alii*, 1999).

Fig. 1 - Rappresentazione 3D del bacino idrografico del Fiume Versilia (Tuscany), coordinate UTM ED50 [LL;UR] [596053,4870181;608053,4878181]  
- 3D view of the Versilia river basin, boundary coordinate UTM ED50 [LL;UR] [596053,4870181;608053,4878181]



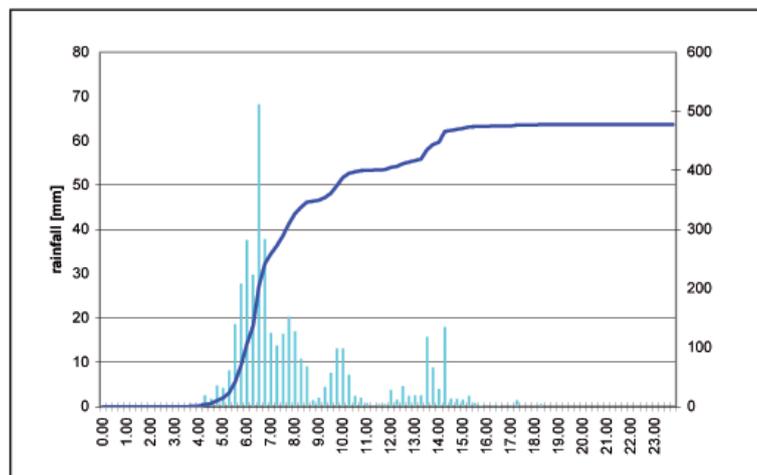


Fig. 2 - Dati pluviometrici della stazione di Pomeziana (UTM Est: 607750 m, UTM Nord: 4873470 m, Quota 600 m s.l.m.)  
- Rainfall records at Pomeziana rain-gauge (UTM East: 607750 m, UTM North: 4873470 m, Elevation 600 m a.s.l.)

I fenomeni idrometeorologici che si sono verificati durante l'evento in esame sono stati molto intensi anche per una regione come quella di studio caratterizzata da quasi 2000 mm di precipitazione annua. La precipitazione più elevata registrata è stata di 478 millimetri, in meno di 15 ore (Fig. 2). Anche la precipitazione oraria massima è stata eccezionale, con un picco di 153,4 millimetri (paragonabile alle tempeste tropicali più intense). L'estensione delle aree interessate da una precipitazione nelle 24 ore superiori a 100, 200, 300 e 400 millimetri, sono state stimate rispettivamente di circa 662, 202, 62.1 e 4.8 km<sup>2</sup> (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999). Per i valori registrati dalle stazioni di precipitazione, per tutte le durate confrontabili con i tempi di risposta idrologica del bacino idrografico, sono stati stimati tempi di ritorno tra 250-500 anni (BURLANDO & ROSSO, 1998).

La grande quantità di precipitazione è stata causata dalla formazione di un sistema convettivo enorme, veloce e violento, connesso alle alte temperature e all'umidità al livello del mare, nonché alla presenza di vento dal mare verso la montagna, associato alla circolazione sinottica e al ruolo della complessa situazione orografica delle Alpi Apuane (GOZZINI *et alii*, 1998). La zona interessata presenta, infatti, alte vette distanti solo 15 km dal Mar Tirreno.

Le registrazioni pluviometriche dell'evento evidenziano il carattere eccezionale delle precipitazioni locali. D'altra parte, alcune evidenze a terra suggeriscono che anche la distribuzione delle precipitazioni su scale spaziali ridotte, non del tutto spiegate dalle misure dei pluviometri, deve aver avuto un ruolo importante nella produzione di tali effetti drammatici. Gli eventi di precipitazione registrati, infatti, sono caratterizzati da valori di variazione ed intermittenza elevati e, allo stesso tempo, da bassi valori di correlazione, anche su scala spaziale di poche centinaia o migliaia di metri e sulla scala di tempo di meno di un'ora (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999).

La distanza di tempo tra i massimi relativi di pioggia, per lo più intervallati da piogge di modesta intensità, nonché la diversa estensione e localizzazione delle aree maggiormente interessate dall'even-

The hydro-meteorological phenomena occurred during the event were very intense, even for this region that has an annual precipitation of almost 2000 mm. The recorded highest total rainfall was of 478 mm in less than 15 hours (Fig. 2). The maximum hourly precipitation has been also exceptional with a peak of 153.4 mm (comparable with the most intense tropical storms). The extension of the areas interested by a 24 hours total rainfall of 100, 200, 300 and 400 millimeters, have been estimated respectively of about 662, 202, 62.1 e 4.8 km<sup>2</sup> (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999). For the values recorded at the rain gauges, at all the durations related to the hydrologic response time of the catchment, return periods between 250-500 years have been estimated (BURLANDO & ROSSO, 1998).

The large amount of rainfall has been caused by the formation of an enormous, fast and violent convective system associated to the high temperature and humidity at sea level, as well as to the presence of wind from the sea to the mountains associated to the synoptic circulation and the role of the complex orography of the Apuanian Alps (GOZZINI *et alii*, 1998). The interested zone presents, in fact, mountains of 1600 1800 m a.s.l. of elevation, which are distant only 15 km from the Tyrrhenian Sea.

Pluviographic records of the event underline the exceptional character of the point rainfall. On the other side, particular ground evidences suggest that the short-scale spatial rainfall distribution, not fully resolved by the point measurements, should also have had an important role in producing such dramatic effects. The recorded precipitations are, in fact, characterized by an elevated value of variation and intermittenza but also by low values of correlation, also on spatial scale of a few hundreds or thousands of meters and on a time scale less than one hour (CASTELLI *et alii*, 1996; BECCHI *et alii*, 1999).

The time-distance among the relative rainfall maxima, mostly alternated by rains of modest intensity, and the different extension and location of the zones mainly interested by the event, suggest that two successive showers were produced that might have been originated

to, suggeriscono il susseguirsi di due eventi di precipitazione che potrebbero essere stati originati da celle convettive sviluppatesi in modo indipendente, anche se prodotte dalla stessa condizione meteorologica. Il primo evento è iniziato alle 6.00 del mattino, nella parte sud-est del bacino, proseguendo fino alle ore 9.00 circa; esso ha prodotto alcuni movimenti di massa e ha causato condizioni critiche e instabili della superficie del suolo. Il secondo, iniziato alle ore 12.00, ha presentato il suo epicentro nella parte nord-est del bacino ed ha raggiunto l'intensità massima alle ore 13.00 terminando alle ore 15.00. Alla fine della mattinata, molti sono stati i segnali che preannunciavano la catastrofe che di lì a poco si sarebbe verificata.

A causa delle condizioni iniziali di suolo asciutto ovvero un'elevata capacità di infiltrazione, la portata è aumentata improvvisamente solo durante il secondo evento, producendo numerose esondazioni lungo la rete idrografica. Congiuntamente alla propagazione delle piene, fenomeni di erosione, frane e movimenti di massa hanno contribuito alla formazione di una enorme quantità di sedimenti (PARIS, 1996).

I principali dissesti si sono verificati dopo le ore 13.00 negli abitati della parte montuosa del bacino, con gravi perdite di vite umane; 13 sono state le vittime. Numerosi e onerosi sono stati anche i danni agli edifici e alle infrastrutture che sono stati registrati.

### RICOSTRUZIONE DEGLI EFFETTI AL SUOLO

La ricostruzione degli effetti al suolo è stata effettuata sia dal punto di vista idrologico che sedimentologico. La descrizione dei fenomeni e l'indagine su tutte le componenti coinvolte, del ciclo idrologico e sedimentologico, sono fondamentali per la valutazione dei rischi e per definire le diverse strategie di protezione oltre che utili per definire le opportune misure di mitigazione (NEPPEL, 2006).

Il modello idrologico descritto brevemente qui di seguito permette di simulare l'evoluzione e la variabilità dei complessi processi fisici coinvolti nel ciclo idrologico e la propagazione della portata di piena (CAPORALI, 2001). I fenomeni idrologici nelle diverse classi di suolo non sono da attribuire a un unico fattore, poiché dipendono da numerosi processi, come ad esempio l'infiltrazione, l'assorbimento, la percolazione, il flusso ipodermico e l'evapotraspirazione. La complessità dell'evento alluvionale improvviso verificatosi in Versilia è stata analizzata utilizzando un modello distribuito fisicamente basato in modo congiunto alla ricostruzione dei campi di precipitazione (BECCHI *et alii*, 1999).

Più recentemente, è stato sviluppato un modello idrologico e di propagazione dei sedimenti, semidistribuito, a scala di bacino idrografico, focalizzando l'attenzione sulla parte montana del bacino Versilia, la più colpita dall'evento del 1996, che si estende su una superficie di circa 67 km<sup>2</sup> (FATICHI & CAPORALI, 2007b). L'obiettivo del modello è di quantificare l'ammontare del carico sedimentologico e caratterizzare la dinamica dell'onda di fango, durante l'evento estremo del 1996. In particolare, è stato applicato un modello concettuale di trasporto di sedimenti, basato su un insieme di serbatoi lineari in cascata (FATICHI & CAPORALI, 2007a). Vengono, infine, brevemente descritti la simulazione della produzione dei sedimenti e la loro propagazione.

from convective storm-cells independently developed, even if forced by the same meteorological situation. The first began at 6 am in the south east part of the catchment and it continued until about 9 am. The second, initiated at 12 am, has presented its epicenter in the north east side of the catchment and it has reached the maximum intensity at 1 pm to the end at 3 pm. The first storm, which started in the early hours of the dawn, produced some mass movements and caused critical and unstable ground conditions. At the end of the morning, many were the signals of the catastrophe that occurred shortly after. The discharge, because of the previous soil dry conditions or high infiltration capacity, increased suddenly only during the second intense storm, producing several floods along the hydrographic network. Jointed to the flood propagation, erosion phenomena, mass movements and landslides contributed to the formation of a huge amount of sediment (PARIS, 1996).

Major instability phenomena occurred after 1.00 pm in the settlements in the mountain parts of the river basin, with dramatic casualties. The consequences of the event have severely affected the population. In the catchment upstream of the Versilia River 13 casualties were counted. Numerous and costly damage to buildings and infrastructure have been also registered.

### THE RECONSTRUCTION OF GROUND EFFECTS

The phenomena description and the investigation on all the involved components, of the hydrological and sedimentological cycle, are crucial in natural hazards assessment and in the definition of different protection strategies as well as of appropriate mitigation measures (NEPPEL, 2006).

The hydrological model, here in the following briefly described, allows simulating the evolution and the variability of the complex physical processes involved in the hydrological cycle and flood routing (CAPORALI, 2001). The hydrological phenomena in the different soil classes are attributed to several factors, as they depend upon several processes, such as infiltration, capillary absorption, percolation, hypodermic flow and evapotranspiration. The complexity of the Versilia flash - flood event, has been analyzed using a physically based distributed model coupled with the reconstruction of precipitation field (BECCHI *et alii*, 1999).

More recently, a semi distributed hydrological model and sediment routing, at river basin scale, has been also applied focusing the attention on the mountain part of the Versilia catchment, the most affected during the 1996 event, that covers an area of about 67 km<sup>2</sup> (FATICHI & CAPORALI, 2007b). The aim of the model is to quantify the amount of the sediment load and to characterize the dynamic of the mud wave, through the reconstruction of the sedigraph during the 1996 severe event. Particularly, a conceptual sediment transport model, based on linear reservoir cascades concept, coupled with sediment deposition and degradation representation (FATICHI & CAPORALI, 2007a), has been applied. Finally, the simulation of the sediment production and of the sediment routing of the event are briefly discussed.

Nonostante il numero considerevole di stazioni di misura della precipitazione, anche con una risoluzione nel tempo elevata (5 minuti), i dati di livello idrico e di portata sono piuttosto limitati. La rete idrometrica in tempo reale era stata installata nelle settimane precedenti all'evento e collaudata solo all'inizio di giugno, ma sfortunatamente alcune delle stazioni sono state rimosse durante l'alluvione (BECCHI *et alii*, 1999).

La calibrazione dell'idrogramma è stata effettuata sull'idrometro di Seravezza, situato nella parte terminale dell'area montuosa del bacino del Versilia, e l'unico disponibile. Lo strumento ha registrato i dati fino alle ore 15.00, subito dopo è stato rimosso dall'onda di piena. Qualche incertezza è presente anche sulla scala di deflusso stimata dopo l'evento (MANCINI, 1998; BECCHI *et alii*, 1999).

### IL MODELLO IDROLOGICO

Il modello descrive il comportamento idrologico del bacino idrografico, utilizzando mappe digitali in formato raster, ovvero griglie equispaziate a maglie rettangolari, e migliorando il significato fisico della modellazione riproducendo le proprietà idrologiche distribuite spazialmente del bacino idrografico, come la capacità di infiltrazione, il tempo di risposta idrologica, la velocità di propagazione nella rete idrografica, l'influenza dell'umidità del suolo. Il modello permette, in particolare, il controllo del flusso del fiume, valutando la distribuzione nello spazio della capacità di assorbimento del bacino idrografico e producendo mappe della distribuzione spaziale della saturazione del suolo, al fine di dare una stima dei fenomeni di deflusso superficiale.

Il modello idrologico distribuito è composto da due moduli separati. Il primo descrive il suolo e vari processi del sottosuolo che contribuiscono al deflusso totale mediante una equazione di bilancio idrologico sviluppata ad una ridotta scala spaziale ( $\leq 1$  km), ovvero della griglia equispaziata di discretizzazione. Per ogni cella della griglia, considerata come un sistema unitario, la varianza interna delle variabili coinvolte è stata analizzata attraverso un approccio stocastico che assume, a livello locale nello spazio, funzioni di distribuzione stazionarie (CAPORALI & PETRUCCI, 1994). Il trasferimento di massa idrica tra celle adiacenti avviene su base geomorfologica. Il secondo modulo è dedicato alla propagazione dell'onda di piena. Per valutare la dinamica del primo ordine dell'onda di piena, ciascun ramo del reticolo idrografico, considerato come un insieme di celle, è modellato come un serbatoio lineare. La portata alla sezione fluviale di controllo viene calcolata, tenendo conto delle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua a monte (CAPORALI, 2001).

Il modello digitale del terreno (DTM) dell'area analizzata è stato utilizzato per la costruzione delle griglie delle esposizioni, delle pendenze, dei puntatori idrologici, ovvero della direzione di flusso di ogni cella rispetto alle otto celle circostanti, e della griglia dell'ordine di calcolo, per il controllo della formazione del deflusso dalle celle di sorgente fino alla foce. Per la caratterizzazione delle proprietà idrologiche del suolo si è fatto riferimento alla carta pedologica d'Italia (MANCINI, 1966), disponibile per tutto il territorio nazionale. Riferimento è stato fatto anche a studi precedenti nei quali è stata analizzata

Even though a considerable number of rain - gauges observations, also with a fine time resolution (5 minutes), the stage and discharge data recorded are very limited. The hydrometric real time network was installed in the weeks preceding the event and just tested at the beginning of June, but unfortunately some of the stations were removed during the flash-flood event BECCHI *et alii*, 1999).

The hydrological calibration has been carried out on the hydrometer of Seravezza, located in the last reach of the mountain part of the Versilia catchment, which is the only one available. It has recorded data until 3 pm, immediately after the hydrometer was removed by the flood. Some uncertainty exists also on the rating curve estimated after the event (MANCINI, 1998; BECCHI *et alii*, 1999).

### THE HYDROLOGICAL MODEL

The model describes the river basin hydrologic behavior, employing digital maps in raster format (i.e. equispaced grids with a rectangular mesh), and reproducing the spatially distributed physical properties of the basin, such as infiltration capacity, runoff concentration time, network propagation velocity. In particular the model allows the control of river flow by spatially evaluating the absorption capacity of the catchment area and producing distributed maps of soil saturation, in order to give an estimation of the runoff phenomena.

Two sub-models compose the distributed hydrological model. The first one describes the various soil and subsoil processes, which contribute to the total runoff, on the basis of an hydrological budget equation at a small-scale ( $\leq 1$  km) discretization or equispaced grid. Inside each grid-cell, considered as a unitary system, the internal variance of all the involved quantities is analyzed through a stochastic approach, which assumes locally stationary, in space, distribution functions (CAPORALI & PETRUCCI, 1994). The water mass transfer among adjacent cells is considered on geomorphological basis. The second sub-model addresses the flood routing. To evaluate the first order dynamics of the flood event each stream-branch, considered as a group of cells, is modeled as a linear reservoir. The discharge to the control river cross-section is calculated, taking into account the hydraulic and geometric characteristics of the upstream branches (CAPORALI, 2001).

A Digital Terrain Model (DTM) of the analyzed area has been processed to produce some geomorphological grids used in the model, such as aspect and slope, and hydrological pointers representing the flow direction for each cell to the eight surrounding cells, and the calculation order raster, which controls the development of the runoff from the soil cells, to the drainage system, to the outlet. A pedological map of Italy available for the whole national territory (MANCINI, 1966), has been used to characterize the soil hydraulic properties. Reference has been made also to previous studies (CAPORALI & PETRUCCI, 1994) where the correlation among the pedological classes and some soil physical properties, such as porosity and thickness have been analyzed. Also the hydro-meteorological data obtained by point measurements, i.e. air temperature and humidity, to calculate the evapotranspiration, rainfall and the

la correlazione esistente tra le classi pedologiche e alcune caratteristiche del suolo, come porosità e spessore (CAPORALI & PETRUCCI, 1994).

Anche i dati idrometeorologici ottenuti da misure di punto, come temperatura e umidità dell'aria, utilizzate per calcolare l'evapotraspirazione, la probabilità di assenza di precipitazione per la stima delle precipitazioni efficaci, sono in forma di griglia.

Per modellare la propagazione dell'onda di piena, è stato necessario reperire anche informazioni sulla topologia e sulle caratteristiche della rete idrografica. Tutte le informazioni sono state connesse alle caratteristiche geomorfologiche ed idrologiche dei bacini idrografici mediante un raster di "puntatori al reticolo idrografico".

La variabilità della trasformazione afflussi-deflussi è stata analizzata attraverso un approccio Monte Carlo. Al fine di descrivere la struttura spaziale dei campi di precipitazione, con una risoluzione congruente con il modello, e per caratterizzare l'evento meteorologico, è stato usato un algoritmo stocastico; attraverso il quale è stato prodotto un insieme elevato di campi di precipitazioni equiprobabili, vincolati ai punti di misura e ai parametri statistici delle grandezze misurate disponibili. Ad ogni campo di pioggia generato corrisponde una simulazione del modello idrologico (BECCHI *et alii*, 1999). Diversi sono i campi di precipitazione generati utilizzando diverse scale spaziali. I risultati della modellazione sono stati infine analizzati in termini probabilistici.

Le indicazioni che si ottengono dalle diverse simulazioni confermano l'eccezionalità dell'evento meteorologico e consentono anche di considerare sufficientemente attendibile la ricostruzione delle portate. Inoltre, come mostrato in Figura 3, le simulazioni evidenziano l'elevata sensibilità della risposta idrologica alla struttura spaziale delle precipitazioni alla scala di poche centinaia di metri. L'esperimento ha mostrato la bontà della modellistica idrologica distribuita nel ricostruire eventi improvvisi di alluvione, sia per quanto riguarda le portate al colmo sia per i tempi di picco. Il modello distribuito ha

zero-rainfall probability maps to estimate the effective rainfall, are in equispaced grid form.

In order to model the dynamics of flood routing, information on the topology and on the hydraulic and geometric characteristics of the hydrographic network were also collected. All the hydrographic network properties were connected with the geomorphological and hydrological characteristics of the river basin trough a "network pointer raster".

The variability of rainfall-runoff processes has been analyzed through a Monte Carlo approach. In order to describe the spatial structure of the rainfall-fields, in a congruent resolution with the model, and with the aim to characterize the meteorological event, a stochastic algorithm was used. Through the algorithm, an elevated set of equiprobable rainfall-fields, constrained to point observations and to the statistic parameters of the available rainfall on site measurements, was produced. To each generated rainfall-field corresponds a simulation of the hydrological model (BECCHI *et alii*, 1999). Different rainfall fields were generated using different values of the spatial correlation scale. The model results were analyzed in probabilistic terms.

The indications from the different simulations confirm the exceptionality of the meteorological event and they also allow to consider sufficiently reliable the discharge reconstruction. Furthermore, as shown in figure 3, the simulations underline the high sensibility of the hydrological response to the spatial structure of rainfall at the scale of few hundred meters. The experiment show a good performance of the distributed analysis in reconstructing the flash flood event, in terms of both peak flow and time-to-peak. The distributed model exhibits a good consistency in estimating the flood characteristics in different cross-sections of the channels network.

The analysis highlights the relevance of an explicit representa-

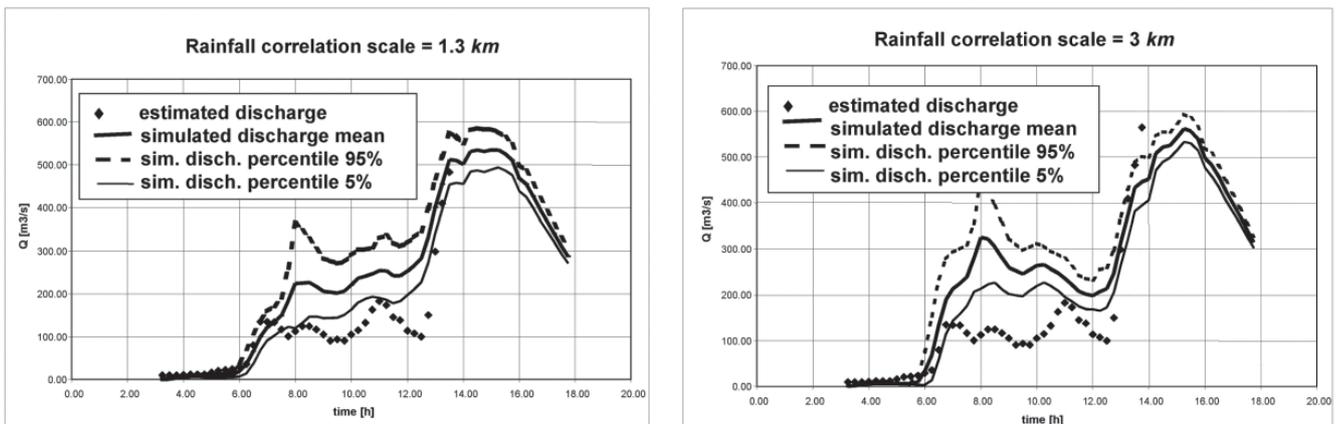


Fig. 3 - Statistiche degli idrogrammi di piena simulati alla sezione idrometrica di Seravezza, ottenute con diverse scale di correlazione delle precipitazioni. Le serie idrometriche sono ricostruite con scala di deflusso teorica derivata dalla geometria della sezione  
 - Statistics of the simulated discharge at the Seravezza river cross - section, obtained with different rainfall correlation scale. The estimated discharge has been calculated using a theoretical rating curve derived from the cross-section geometry

mostrato inoltre una buona robustezza nel valutare le caratteristiche dell'onda di piena in diversi punti della rete idrografica.

L'analisi effettuata ha evidenziato la rilevanza di una rappresentazione esplicita della distribuzione spaziale delle proprietà idrauliche del suolo e la sensibilità del modello alle condizioni iniziali di saturazione del suolo. Anche la ricostruzione della struttura spaziale e della dinamica dei campi di precipitazione svolge un ruolo fondamentale, dato il comportamento non-lineare del modello idrologico per quanto riguarda l'infiltrazione e i processi di assorbimento, ma principalmente data la peculiarità dell'evento idrologico estremo.

### IL MODELLO IDROSEDIMENTOLOGICO

Più recentemente è stato messo a punto e sviluppato anche un modello concettuale di trasporto dei sedimenti, basato su serbatoi lineari in cascata, e sui concetti di erosione e deposito dei sedimenti (FATICHI & CAPORALI, 2007b). In particolare, è stato realizzato uno studio dell'eterogeneità spaziale e temporale dei processi di propagazione dei sedimenti e delle sue interazioni con le precipitazioni e le caratteristiche del bacino idrografico. Lo scopo è stato di quantificare l'ammontare del carico di sedimento e caratterizzare la dinamica dell'onda di fango durante l'evento. Al fine di simulare la portata, è stato messo a punto un modello idrologico semidistribuito di propagazione della portata di piena. L'area del bacino è stata divisa in unità morfologiche (i.e. canali e versanti). Per la stima della precipitazione efficace e dell'infiltrazione è stato utilizzato il metodo del SCS-CN Curve Number. La propagazione dei deflussi sui versanti è stata realizzata mediante lo schema a serbatoi lineari. Per la propagazione delle portate nella rete idrografica è stato applicato il metodo Muskingum-Cunge.

La portata ottenuta dalla modellazione è stata confrontata con le misure disponibili della stazione idrometrica di Seravezza. Alcuni parametri del modello, come la perdita iniziale di pioggia del metodo del CN, il coefficiente di Manning e altri ancora, sono stati calibrati mediante una procedura di ottimizzazione. Particolare attenzione è stata data all'introduzione di un coefficiente di attenuazione del deflusso dipendente da un fattore di scala dell'ampiezza del canale.

La simulazione della produzione e della propagazione dei sedimenti è stata fatta attraverso un modello concettuale che schematizza la dinamica del complesso processo di propagazione dei sedimenti, con una cascata di serbatoi lineari insieme ai processi di erosione e deposito (FATICHI & CAPORALI, 2007a). Il bilancio dei sedimenti invece è legato al fattore di capacità di trasporto (FATICHI & CAPORALI, 2007b).

La bontà dei risultati ottenuti è stata valutata sulla base delle quantità di sedimenti coinvolti nel processo e depositati nel bacino

tion of the spatial distribution of the soil hydraulic properties and the sensitivity of the model to the soil saturation initial conditions. Also the reconstruction of the spatial structure and dynamic of rainfall field plays a crucial phase in the application, given the non-linear behavior of the hydrological model with respect to the infiltration and the absorption processes, but mainly given the peculiarity of the hydrological extreme event.

### THE HYDRO-SEDIMENTOLOGICAL MODEL

A conceptual sediment transport model, based on linear reservoir cascades, coupled with sediment degradation and deposition concepts, has been also used in the more recent studies done on the event (FATICHI & CAPORALI, 2007b). Particularly a study of the spatial and temporal heterogeneity of sediment routing processes and its interactions with rainfall and catchment characteristics has been carried out. The aim has been to quantify the amount of the sediment load and to characterize the dynamic of the mud wave, reproducing the sedigraph, during the event. To simulate the discharge along the river network, a semi-distributed hydrological model of flow routing, has been implemented. The catchment area is divided into morphologic units (i.e. channels and sub watersheds). The Curve Number-CN method is used to estimate the net precipitation and the infiltration. The flow routing in the sub watersheds and the subsurface flow is calculated with a linear reservoir scheme. To propagate the water flow in the hydrographic network, the Muskingum-Cunge method is applied.

The discharge obtained from the model has been compared with the measurement available at the Seravezza gauge-station. An optimization procedure was performed to calibrate some model parameters, like the initial abstraction of the CN method, the Manning coefficients, and others. A particular attention has been given to the introduction of a flow attenuation coefficient, dependent by a scale factor of the channel width.

The simulation of the sediment production and the sediment routing was performed using the conceptual model, that schematizes the dynamic of the complex process of sediment routing, with a cascade of linear reservoirs coupled with deposition and degradation processes (FATICHI & CAPORALI, 2007a). The sediment balance is instead related to a transport capacity factor (FATICHI & CAPORALI, 2007b).

The goodness of the obtained results was evaluated on the basis of the sediment amount involved in the process and deposited in

	Model	<i>A posteriori</i> analysis
Total Erosion	33.3	34.5
Total Deposition	20.2	23.8
Subwatersheds Deposition	9.4	17.1
Channels Deposition	10.7	6.7

Tab. 1 - Valori delle quantità di sedimenti (105 ton) stimati nell'analisi a posteriori e simulati nella modellazione  
- *Values of the sediment amount involved (105 tons) in the event estimated in a posteriori analysis and simulated by the model*

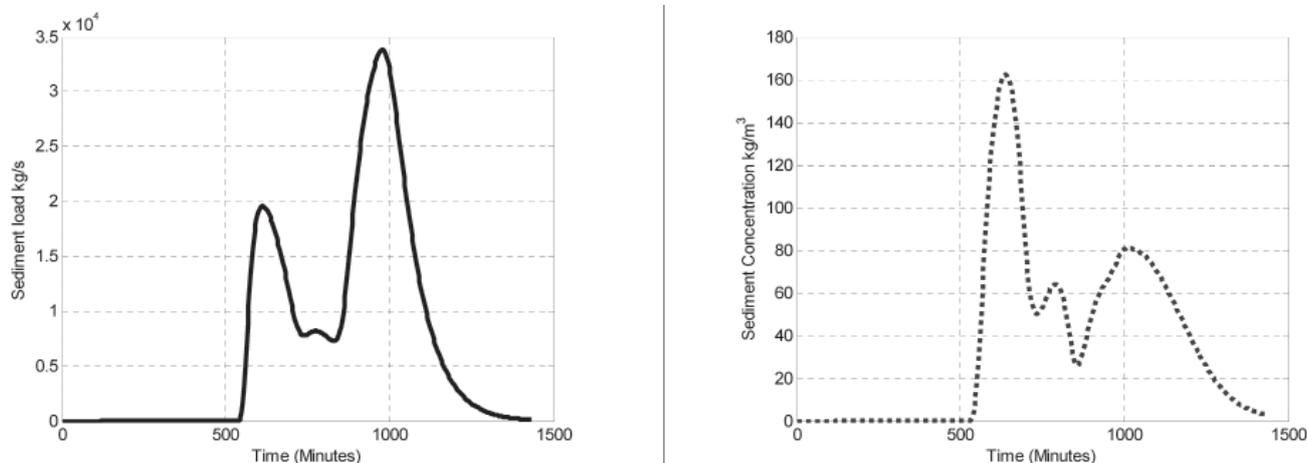


Fig. 4 - a) Andamento del carico sedimentologico, durante l'evento, alla sezione fluviale di Seravezza. b) Andamento della concentrazione di sedimenti, durante l'evento, alla sezione fluviale di Seravezza  
 - a) Sedigraph of the event at the Seravezza river cross section. b) Concentration of sediment at the Seravezza river cross-section

idrografico e nei canali (PARIS, 1996). Le quantità stimate dalla simulazione, sia di materiale solido coinvolto che del sedimento depositato e del carico totale di sedimento, mostrano un buon accordo con le quantità rilevate (Tab. 1).

Allo stesso tempo, l'andamento nel tempo del carico dei sedimenti mostra due picchi (Fig. 4a). Il primo dovuto al movimento di sedimenti attivati durante il primo evento di precipitazione. Il secondo dovuto alla portata massima. Inoltre il valore della concentrazione di sedimenti (Fig. 4b) sottolinea come la prima onda di sedimenti presenti valori maggiori ( $180 \text{ kg/m}^3$ ) della seconda ( $90 \text{ kg/m}^3$ ), risultato attendibile, considerando l'elevata disponibilità di sedimenti nella prima parte dell'evento dovuta alle condizioni di suolo asciutto.

E' stata analizzata anche la distribuzione spaziale della produzione di sedimenti; come per il modello idrologico, i risultati, anche in questo caso, mettono in evidenza l'inadeguatezza delle misure delle precipitazioni al suolo per rappresentare la complessa distribuzione spaziale e la correlazione dell'evento piovoso (BECCHI *et alii*, 1999).

### RICOSTRUZIONE DI SCENARI PASSATI

I dati delle alluvioni del passato possono essere considerati un indice preliminare per la valutazione delle zone vulnerabili e, allo stesso tempo, utili elementi per la validazione dei modelli fisici. Tenuto conto, infatti, delle frequenze elevate di eventi alluvionali e fenomeni franosi, la documentazione sugli eventi del passato, costituisce una delle maggiori fonti di informazioni sulla presenza e sull'estensione degli eventi e un'indicazione preliminare delle aree sensibili (CŒUR & LANG, 2008). Ciò è particolarmente evidente quando gli eventi sono brevi e con alti livelli di incertezza, come quello qui modellato, verificatosi nel bacino idrografico del Fiume Versilia, il 19 giugno 1996.

the sub watersheds and in the channels (PARIS, 1996). The estimated amount of involved solid material, the sediment deposition and the total sediment load of the simulation show a good agreement with the surveyed quantity (Tab. 1).

At the same time, the shape of the sedigraph shows two different peak of sediment transport (Fig. 4a). The first due to the sediment movement activated during the first shower. The second due to the maximum discharge. Moreover the value of sediment concentration (Fig. 4b), highlights as the first sediment wave presents larger values ( $180 \text{ kg/m}^3$ ) than the second one ( $90 \text{ kg/m}^3$ ), which is a very reliable result considering the higher availability of sediments in the first part of the event due to the dry soil conditions. The spatial distribution of sediments production was also analyzed. The results also in this case underline the inadequacy of the ground rainfall measurements to represent the complex spatial distribution and correlation of rainfall event (BECCHI *et alii*, 1999).

### THE RECONSTRUCTION OF PAST SCENARIOS

The data of past flood events can be considered as a preliminary index for the vulnerable areas assessment and at the same time suitable elements of validation for physical models. Given in fact the elevated frequencies of alluvial phenomena, the documentation on past events constitutes one of the greater sources of information on the presence and on the extension of the events and a preliminary indication of the susceptible hazardous areas (CŒUR & LANG, 2008). This is particularly evident when the events have short lead times and high levels of uncertainty, as the one analyzed here, occurred in Versilia river basin, on 19 June 1996.

Moreover, the use of historical flood information is particu-

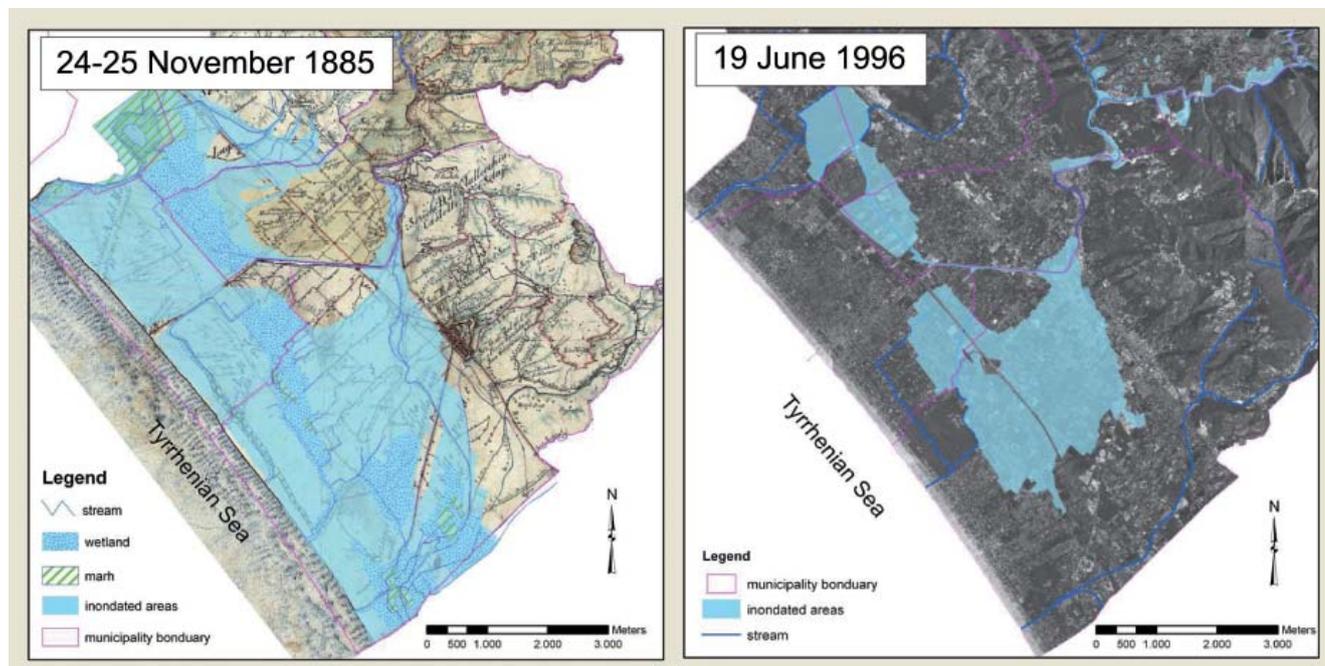


Fig. 5 - Aree allagate durante gli eventi alluvionali del 1885 e del 1996  
- Flooded areas in 1885 and 1996

Inoltre, non trattandosi in questo caso di eventi ipotetici (come quelli provenienti dalla modellazione), questo tipo di dati possono essere efficacemente utilizzati dagli studiosi come appoggio alla comunicazione dei loro risultati a grandi gruppi di destinatari, tra cui i decisori e i mass media che spesso non hanno familiarità con il linguaggio della scienza (ANDAH *et alii*, 2002; DE MOEL *et alii*, 2009). Il miglioramento, infatti della percezione del rischio della collettività così come degli allarmi alluvionali, è molto importante e deve essere volto a ridurre le perdite di vite umane (MONTZ & GRUNTFEST, 2002).

Sfortunatamente, la zona della Versilia vanta una storia di alluvioni (PAGLIARA, 2001). Le biblioteche e gli archivi storici locali conservano relazioni tecniche, mappe, fotografie, che documentano le frane e le alluvioni avvenute e i danni provocati. Come indicato dal Santini (1858-1862), fin dal 1386 esistevano statuti speciali che imponevano la manutenzione dei fiumi per la protezione dalle inondazioni.

I dati mostrano che le inondazioni storiche più gravi si sono verificate negli anni 1774, 1885, 1902 e 1996. Nell'archivio dell'Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Lucca (Italia) è conservato un intero faldone contenente, in modo dettagliato, gli studi effettuati dai tecnici del Regio Genio Civile di Lucca, per la ricostruzione nel bacino del fiume Versilia, dopo la disastrosa alluvione che si è verificata il 25 settembre 1885. La figura 5 mostra le zone inondate nelle alluvioni del 1885 e del 1996.

I dati relativi alle alluvioni storiche e i risultati delle modellazioni, sono state integrate, mediante i GIS, in un geodatabase (PILEGGI,

larly valuable, as historical floods are not hypothetical events (like the modeled ones), and can therefore be more easily understood by decision makers and the mass media, that often are not familiar with the language of science (ANDAH *et alii*, 2002; DE MOEL *et alii*, 2009). Improvement, in fact, in enhancing risk perception of communities as well as in warnings of flash - flood events, is still desirable and must be aimed at human life losses reduction (MONTZ & GRUNTFEST, 2002).

Unfortunately the Versilia region boasts a history of floods (PAGLIARA, 2001), all well documented. The libraries and historical Versilia archives maintain, in fact, several technical reports, maps, pictures documenting flood and landslide events, as well as the consequent damages. As stated from Santini (1858-1862), since 1386 existed special statutes, imposing rivers maintenance for protection against floods.

Historical data testify that the biggest historical floods event have occurred in the years 1774, 1885, 1902 and 1996. In the archive of Regional Office for Territory Protection of Lucca (Italy), an ancient folder describes and documents, in a detailed way, the studies carried out by the technicians of the "Royal Civil Engineers Corp" of Lucca, for the Versilia river basin recovery, after a disastrous flood event occurred on September 25th, 1885. Fig. 5 shows the inundated areas in the flood events of 1885 and 1996.

A geographic database for flood risk assessment, integrating diachronic data and models results, as well as all the models input data,

2007). Il database geografico implementato consente di riaffermare il riconosciuto rilievo del ruolo della conoscenza degli eventi del passato e della storia del territorio e l'importanza di un approccio multidisciplinare, che colleghi gli strumenti della geografia storica con quelli utilizzati dalle scienze applicate.

### ESPOSIZIONE SOCIALE ALLE ALLUVIONI

Sulla base dell'evento che ha colpito la zona della Versilia nel giugno del 1996, gli autori hanno recentemente tentato di associare le dinamiche dell'evento con l'esposizione sociale, al fine di indagare sulle dettagliate circostanze idrometeorologiche che provocano vittime accidentali e per meglio capire i principali fattori di rischio.

Secondo RUIN *et alii* (2009), il primo passo è quello di comprendere meglio le circostanze in cui si sono verificati gli incidenti, sia sotto l'aspetto sociale che, sotto l'aspetto idrometeorologico. Utilizzando tecniche di cross analysis, si ricercano le relazioni esistenti fra informazioni sulle vittime e le principali condizioni idrometeorologiche riscontrate nell'area in cui l'incidente si è verificato.

Le piene improvvise sono frequenti in piccoli bacini idrografici in cui le caratteristiche fisiche sono spesso piuttosto limitate, sia per la loro ridotta estensione spaziale, sia per la disponibilità e l'affidabilità dei dati. Le stazioni di misura in piccoli bacini idrografici sono infatti poco diffuse e in ogni caso i dati sono influenzati da eventi di forte intensità concentrati su piccole aree ovvero possono essere affetti da errori di misura.

L'integrazione di tutte le informazioni disponibili, dei risultati dei modelli e/o dei dati storici sugli eventi del passato, diventa fondamentale nelle indagini sull'esposizione sociale ai pericoli naturali.

Per quanto riguarda le rilevazioni delle conseguenze sociali delle piene improvvise, esse sono spesso frammentarie e troppo eterogenee poiché le informazioni sono raccolte, durante o poco dopo lo stato di emergenza, dai media o dalle istituzioni pubbliche coinvolte (servizi di soccorso, le strutture di assistenza medica, etc..) per la loro rispettive competenze e quasi mai sono organicamente riportate in relazioni ufficiali.

Il tentativo di indagare sull'esposizione sociale all'evento alluvionale verificatosi in Versilia il 19 giugno 1996, ha inizio con un "rilevamento esplorativo" di tutte le fonti di dati esistenti: rapporti istituzionali, pubblicazioni scientifiche, dati storici, documenti di archivio, e soprattutto fonti cronicistiche. Un utile punto di partenza è stato il progetto AVI (CARDINALI *et alii*, 1998), un inventario delle aree, storicamente colpite da calamità geologiche (frane) ed idrauliche (alluvioni) in Italia, commissionato dal Dipartimento della Protezione Civile al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche. La cronologia dell'evento, le sequenze degli interventi e le vittime documentate sono stati collocati sia temporalmente che spazialmente e schematicamente presentati. Questo censimento è ancora in itinere, altri dati devono essere ancora raccolti e l'elaborazione dei dati conclusa.

has been implemented (PILEGGI, 2007). The database consents to reaffirm the recognized significance of the knowledge of past events and history of the territory, and at the same time emphasize the importance of a multidisciplinary approach, connecting the instruments of historical geography with those used for applied sciences.

### HUMAN EXPOSURE TO FLASH FLOODS

Based on the event that affected the Versilia region on June 1996, the authors recently and preliminarily attempt to combine the dynamics of the event together with human exposure, to investigate the detailed hydrometeorological circumstances that lead to accidental casualties and to better understand the predominant physical factors of risk.

According to RUIN *et alii* (2009), the first step is to better understand the circumstances in which the accidents occurred, both under the social aspect and under the hydrometeorological conditions. Using cross analysis techniques, the existing relations between information on the fatal casualties and the prevailing hydrometeorological conditions, encountered in the area where the accident occurred, are investigated.

Flash floods frequently occur in small basins where physical characteristics are often rather limited for their reduced spatial extension and because the availability and reliability of data. Measurement stations in small river basins are, in fact, scarcely diffused and in any case data are affected by intense storms concentrated on small areas and have a scarce reliability. The integration of all the available information, from models results and/or from diachronic data became crucial to investigate on the human exposure to natural hazards.

As far as the records on the social consequences of flash floods, is concerned, they are often fragmented and too heterogeneous because are collected, during or shortly after the state of emergency, by public media or by institution involved in flash flood response (rescue services, medical care facilities, ..etc) for their respective competences and often not completely summarized in official reports.

The attempt to investigate human exposure to Versilia flash flood event on 19<sup>th</sup> June 1996, start by an "exploratory\_survey" of all existing data source: institutional report, scientific publications, historical data inventory, archival documents, and above all newspapers. A useful starting point has been the AVI project (CARDINALI *et alii*, 1998) an inventory of areas. in Italy, historically affected by geological (landslides) and hydraulic (floods) disasters, commissioned by the Department of Civil Protection to the National Group for Prevention of Hydrogeological Hazards (GNDCI) of the National Research Council (GNDCI-CNR, 1995-2007).

The chronology of the event, the sequence of interventions, and documented victims and accidents have been both temporally and spatially located and schematically presented. This census is still in progress, more data need to be collected and data processing to be completed.

## MIGLIORAMENTO DELLA PERCEZIONE DEI RISCHI NATURALI

Un'importante attività svolta nell'ambito del miglioramento della percezione dei rischi naturali è stata la realizzazione di attività formative destinate al personale che opera sul territorio con diverse funzioni e in diversi ambiti (i.e. polizia municipale, polizia provinciale, corpo forestale dello stato, associazioni di volontariato etc.), e che negli stati di allerta per calamità naturali e in situazioni di emergenza, possono essere coinvolti nelle attività di Protezione Civile.

Presso il CERAFRI (CEntro per la Ricerca e l'Alta Formazione per la prevenzione del Rischio Idrogeologico), fondato da EIM (Ente Italiano della Montagna) e dal Comune di Stazzema, nel 2005, sono stati organizzati una serie di corsi e tirocini formativi per gli operatori coinvolti nei sistemi di allerta e nelle operazioni di Protezione Civile (CERAFRI, 2005).

Le attività sono scaturite dall'esigenza della Regione Toscana di realizzare, per il proprio personale, corsi di formazione continua con particolare riferimento all'organizzazione di specifici presidi territoriali, in aree che non risultano di norma coperte da sistemi di preannuncio di eventi idrogeologici calamitosi, come ad esempio le aree montane e del reticolo idrografico minore. I corsi hanno avuto lo scopo di preparare gli operatori sul territorio alla comprensione dei principali fenomeni che generano le condizioni di rischio idraulico e da frana e dunque di migliorare la loro percezione dei precursori di evento.

Si è trattato, in primo luogo, di individuare un insieme di esigenze formative relative a "conoscenze di base" sul rischio idraulico e di frana, sulle quali sviluppare percorsi formativi specifici, rivolti sia a tecnici e amministratori della Pubblica Amministrazione sia al volontariato e agli altri operatori.

Le attività di Protezione Civile, infatti, coinvolgono personale con ruoli e professionalità estremamente differenziate, che durante gli eventi calamitosi deve operare in modo coordinato, per non ostacolare un'efficace e sinergica realizzazione degli interventi complessi e multidisciplinari a cui è chiamato a partecipare.

Gli obiettivi formativi sono stati collegati alle competenze e all'esperienza delle persone, e sono state anche previste, attività formative individuali in autoapprendimento, finalizzate a colmare le carenze e debiti formativi riscontrati.

Il cardine della strategia formativa è stata infatti l'analisi preliminare dei fabbisogni formativi dei destinatari sui quali è stato impiantato tutto il programma didattico.

Il percorso formativo è stato indirizzato fondamentalmente in due direzioni:

- Corso RIF-A, destinato a tutte le tipologie di operatori che sono coinvolti negli stati di criticità a livello di un singolo Bacino Idrografico (polizia municipale e provinciale, operatori del volontariato, personale della comunità montana, etc);
- Corso RIF-B, destinato prevalentemente ai Coordinatori di attività di Protezione Civile.

Oltre ad attività didattiche di base, approfondimenti, esercitazioni

## ENHANCING NATURAL HAZARDS PERCEPTION

A very important activity, in the framework of the enhancing natural hazards perception, has been the realization of educational activities dedicated to the personnel that work on the territory with different roles and in different areas (i.e. municipal police, provincial police, Italian national forest body, voluntary association, etc.) that in the early warning of natural hazards and in emergency states can be involved in the warning system and the Civil Protection Activities.

At CERAFRI (CEntro di Ricerca ed Alta Formazione per la protezione dal Rischio Idrogeologico - Center for research and high education for prevention of hydrogeological risk), in 2005, a series of training courses and stages for personnel involved in the warning system and civil protection operations, have been organized (CERAFRI, 2005).

The activities, are originated from the necessity of Tuscany Region to realize continuing education courses for their personnel, with particular attention to the organization of specific territory protection services in regions that usually are not covered by warning systems of disastrous hydrogeological events, such as mountainous areas and the minor hydrographic network. The courses had the purpose of preparing personnel to understand the main phenomena that create the conditions for hydraulic and landslide risk on the territory, therefore to enhance their perception of event precursors.

As first step, a set of training requirements related to the "basic knowledge" on landslides and hydraulic risk, on which to develop specific training courses, addressed to technician and administrators, to the voluntary association and to all the other sector operators, has been identified.

The Civil Protection activities, in fact, involve many actors with very different roles and skills, that must operate in a coordinated manner during the natural disasters, not to hinder effective and synergic development in complex and multidisciplinary interventions that are taking part.

Training objectives have been linked to the expertise and experience of people and have also been provided, for example, individual learning activities, aimed at filling knowledge gaps and debits.

The main point of the training strategy has been, in fact, the preliminary analysis of educational needs of recipients on which the curriculum have been successfully developed.

The training course was directed primarily in two directions:

- RIF-A course, directed to all types of operators that are involved in critical states in terms of a single river basin (municipal and provincial police, Italian national forest body, voluntary association);
- RIF-B course, directed predominately to the coordinators of civil protection activities.

In addition to basic education activities, studies in depth, exercises in the classroom and technical visits, the training has had one important phase in operational exercise. A joint exercise has been or-

in aula e visite tecniche, il percorso formativo si è concluso con esercitazioni operative sul campo per ogni singolo corso.

È stata infine organizzata una esercitazione congiunta degli allievi dei due corsi (oltre 60 persone) durante la quale è stato simulato uno stato di allarme alluvionale (i.e. evento di precipitazione di elevata intensità) e sono stati predisposti dei presidi territoriali costituiti da gruppi di allievi. Sotto il coordinamento del Centro di Protezione Civile locale, gli allievi sono stati impegnati in attività di monitoraggio e controllo di stati di rischio simulati con lo scopo di applicare e verificare il bagaglio formativo conseguito.

### OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

In questo lavoro è stata approfondita l'analisi del disastroso evento alluvionale che si è verificato il 19 giugno 1996 nei bacini idrografici montani delle Alpi Apuane (Italia centrale). L'attenzione è stata particolarmente focalizzata sui fenomeni idrologici e sedimentologici che hanno coinvolto il bacino idrografico del fiume Versilia (di circa 105 km<sup>2</sup>), il più colpito durante l'evento.

Il bacino idrografico del fiume Versilia è stato considerato come un laboratorio naturale per il quale, integrando le informazioni storiche delle inondazioni con i risultati provenienti dalla modellazione, è stato implementato un geodatabase. Recentemente, questo database è stato aggiornato con le informazioni sulla dinamica degli eventi e con la sequenza degli interventi; sono stati inserite, collocandole spazialmente e temporalmente, le informazioni su vittime e incidenti.

L'obiettivo verso cui stanno lavorando gli autori è quello di combinare tutte le informazioni disponibili sull'evento, con l'esposizione social al rischio, per meglio comprendere i fattori fisici predominanti nelle situazioni di rischio e per analizzare le condizioni idrometeorologiche che possono portare a perdite di vite umane.

### OPERE CITATE/REFERENCES

- ANDAH K., CAPORALI E. & PETRUCCI A. (2002) - *Communicating the warning message and risk perception of user communities*. Hydro-geological Disasters Reduction: Developments and Perspectives. In: ANDAH K (2002) - *Hydro-Geological Disaster Reduction: Developments and Perspectives. Proceedings of the International Workshop on 10 Years after the IDNDR - How Near are We Towards Hydro-Geological Disaster Reduction, organized under the patronage of the Italian National Research Council (CNR), World Meteorological Organization (WMO) and UNESCO*. CNR publication No. 2508: 211-225, Grifo Publishers, Perugia, Italia.
- BECCHI I., CAPORALI E. & CASTELLI F. (1999) - *Analisi idrologica probabilistica dell'evento del 19/06/1996 nelle Alpi Apuane*. Proc. Giornate di studio "La Difesa Idraulica del Territorio", 147-166, Trieste, Italy.
- BECCHI I., CAPORALI E., CASTELLANI L., PALMISANO E. & CASTELLI F. (1995) - *Hydrological control of flooding: Tuscany, October 1992*. Surveys in Geophysics, 16: 227-252, The Netherlands.
- BURLANDO P. & R. ROSSO (1998) - *Caratterizzazione idrologica e prevedibilità statistica del nubifragio*. In: ROSSO R. & SERVA L. (1998) - *19 Giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana*. 57-84, ANPA-ARPAT, Firenze.
- CAPORALI E. (2001) - *A distributed hydrological model of flash-flood*. In GRUNTFEST E. & HANDMER J. - *Coping with Flash Floods*. NATO Science Series, 2. Environmental Security, 77: 203-218, Boston.
- CAPORALI E. & PETRUCCI A. (1994) - *Preliminary geostatistical analysis of spatial variability of hydrologic soil parameters*. Proceeding of the workshop "Advances in distributed hydrology", Water Resources Publication, 169-190, Chelsea, Michigan, USA.
- CARDINALI M. et alii (1998) - *Catalogo delle informazioni sulle località italiane colpite da frane e inondazioni*. Pubbl. CNR - GNDICI, 1799, Perugia, Italy.
- CASTELLI F., MAZZANTI B., CAPORALI E., BECCHI I., & CASTELLANI, L. (1996) - *Evento alluvionale del 19 Giugno 1996 in Versilia Garfagnana: aspetti meteorologici*. Proc. "La difesa dalle alluvioni" Pubbl. CNR, 1963: 201-215, Bologna.
- CERAFRI - CENTRO DI RICERCA E ALTA FORMAZIONE PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO (2005) - *Studio sulle attività formative per la protezione civile della*

organizzato per gli studenti dei due corsi (più di 60 studenti). Un avviso di alluvione è stato dato (a causa di un'elevata intensità di precipitazione) e i servizi di protezione del gruppo di studenti sono stati stabiliti. Sotto la coordinazione del Centro di Protezione Civile locale, gli studenti sono stati coinvolti in attività di monitoraggio e controllo con l'obiettivo di applicare e verificare le conoscenze e le competenze acquisite.

### CONCLUSIVE REMARKS

Il disastroso evento alluvionale che si è verificato il 19 giugno 1996 nei bacini idrografici montani delle Alpi Apuane, Nord-Ovest Toscana, Italia centrale, è stato preso in considerazione. L'attenzione è stata particolarmente focalizzata sui fenomeni idrologici e sedimentologici che hanno coinvolto il bacino idrografico del fiume Versilia, il più colpito durante l'evento, che copre un'area di circa 105 km<sup>2</sup>.

Il bacino idrografico del fiume Versilia è stato considerato come un laboratorio naturale per il quale, integrando le informazioni storiche delle inondazioni con i risultati provenienti dalla modellazione, è stato implementato un geodatabase. Recentemente, questo database è stato aggiornato con le informazioni sulla dinamica degli eventi e con la sequenza degli interventi; sono stati inserite, collocandole spazialmente e temporalmente, le informazioni su vittime e incidenti.

L'obiettivo verso cui stanno lavorando gli autori è quello di combinare tutte le informazioni disponibili sull'evento, con l'esposizione social al rischio, per meglio comprendere i fattori fisici predominanti nelle situazioni di rischio e per analizzare le condizioni idrometeorologiche che possono portare a perdite di vite umane.

INTEGRAZIONE DELLA MODELLAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI CON I DATI STORICI E  
LA PERCEZIONE DEL RISCHIO DELLE CALAMITÀ NATURALI

*Regione Toscana*, Technical Report.

- CEUR D., & LANG M. (2008) - *Use of documentary sources on past flood event for flood risk management and land planning*, C. R. Geoscience, **340**: 644-650, France.
- DE MOEL H., VAN ALPHEN J. & AERTS J.C.J.H. (2009) - *Flood maps in Europe - Methods, availability and use*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., **9**: 289-301, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- FATICHI S. & CAPORALI E. (2007a) - *A conceptual model of sediment routing and sediment delivery ratio, theory and application in Tuscany*. Proc. 32<sup>nd</sup> Congress of IAHR, The International Association of Hydraulic Engineering and Research "Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics", CD Ref. n. 1100, Venice, Italy.
- FATICHI S. & CAPORALI E. (2007b) - *Hydro-sedimentological modelling of the '96 Versilia extreme flood*. Proc. of 5<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Hydraulics, CD, Tempe, Arizona, USA.
- GOZZINI B., MARACCHI G. & MENEGUZZO F. (1998) - *Inquadramento meteorologico e modellazione matematica della precipitazione locale*. In: R. ROSSO & L. SERVA (1998) - *19 Giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana*. 27-56, ANPA-ARPAT, Firenze.
- MANCINI F. (1966) - *Soil map of Italy: Soil Associations*. AGAF A&R Senatori, Firenze, Italy.
- MANCINI M. (1998) - *Dinamica dell'evento di piena*. In: ROSSO R. & SERVA L. (1998) - *19 Giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana*. 145-166, ANPA-ARPAT, Firenze.
- MONTZ B.E. & GRUNTFEST E. (2002) - *Flash flood mitigation: recommendations for research and application*. Environ. Hazard, **4**: 15-22, Oxford, UK.
- NEPPEL L., NIEL H. & BOUVIER C. (2006) - *Rainfall and runoff predetermination in Mediterranean climate: regional and historical approaches*. Proc. International Workshop on Hydrological Extremes, 109-118, Rende, Italy.
- PAGLIARA S. (2001) - *Hydraulic modelling and historical inundation assessment for the Versilia river*. In: T. GLADE, P. ALBINI & F. FRANCÉS (2001) - *The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessment*. 141-150, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- PARIS E. (1996) - *Verifica Idraulica del Fiume Versilia e dei suoi principali affluenti*, Technical Report, I, Floods events commissioner office. Tuscany region.
- PILEGGI T. (2007) - *La conoscenza del territorio per la prevenzione delle alluvioni. Un GIS per il Fiume Versilia*. Ph.D. thesis.
- ROSSO R. & SERVA L. (1998) - *19 Giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana*. 27-56, ANPA-ARPAT, Firenze.
- RUIN I, CREUTIN J.D., ANQUETIN S. & LUTOF C. (2008) - *Human exposure to flash floods - relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France*. Journal of Hydrology, **361**: 199-213, Amsterdam.
- SANTINI V. (1858-1862) - *Commentarii storici sulla Versilia centrale*, Pieraccini, Pisa (rist. anast.) Tipografia Cooperativa di Consumo di Pietrasanta, Pietrasanta.

*Received January 2010 - Accepted August 2010*