

MARCO LUPPICHINI (*), MONICA BINI (**), ROBERTO GIANNECCHINI (*)

EVOLUZIONE TEMPORALE DEL SEDIME EDILIZIO NELLA VERSILIA PRE-ALLUVIONE 1996 IN RAPPORTO ALLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA E DA FRANA MEDIANTE SOFTWARE GIS OPEN SOURCE E OPEN DATA

Abstract - M. LUPPICHINI, M. BINI, R. GIANNECCHINI, *Settlement temporal evolution in Versilia up to the 1996 flood in relation to the hydraulic and landslide hazard maps using software open source and open data.*

The 19 June 1996 flood affected a heavily urbanized area: the study of the settlement distribution in areas characterized by a hydraulic or landslide hazard is mandatory in the prevention activity. In this work the diachronic evolution of the urbanization in some basins of the Versilia area (Tuscany) from 1950 to 1996 was analyzed. The study considers the temporal evolution of the urbanization in order to depict the settlement structure just before the 1996 flood, taking into account the hydraulic and landslide hazard maps produced by the local river basin authorities. In particular, the goal of this work is the identification of the periods characterized by a low or increased awareness in the importance of the hydraulic and landslide hazard cartography. The available data highlight a remarkable difference in the number of buildings constructed in areas characterized by a hydraulic and landslide hazard from 1850 to 1996. In fact, before the June 1996 flood, only the 6% of buildings were constructed in areas characterized by landslide hazard, while the 71% of buildings were constructed in areas characterized by hydraulic hazard. In particular, in the investigated period the number of buildings constructed in areas with landslide hazard seems to flatten out, while the number of buildings constructed in area with hydraulic hazard shows a significant increase between 1954 and 1978. After this period (until 1996) there is a decrease in the number of buildings constructed in areas affected by environmental hazards. However, this trend might not be due to an actual increase in the awareness to hydrological and landslide hazard, as suggested by the growth of the number of buildings constructed in areas characterized by the highest hazard level.

Key words - GIS open source, open data, hydraulic hazard, landslide hazard, urban development, Versilia, Tuscany

Riassunto - M. LUPPICHINI, M. BINI, R. GIANNECCHINI, *Evoluzione temporale del sedime edilizio nella Versilia pre-alluvione 1996 in rapporto alle mappe di pericolosità idraulica e da frana mediante software GIS open source e open data.*

L'evento alluvionale del 19 giugno 1996 ha rappresentato, in particolare modo per la Versilia e la sua popolazione, un punto di riferimento, una sorta di anno zero. Peraltro, non tutte le criticità territoriali emerse con l'alluvione sono state risolte: se la rete idraulica principale è infatti stata oggetto di interventi strutturali importanti, non altrettanto si può dire dei versanti, lasciati in gran parte al loro destino, in attesa che i processi naturali cercassero di riportarli ad un assetto di equilibrio. L'evento del 1996 ha colpito un territorio ampiamente sfruttato dall'uomo: la distribuzione delle aree urbanizzate in zone a rischio, sia idraulico che di frana, è certamente un aspetto di primaria importanza nella prevenzione e nella riduzione del danno.

In questo lavoro viene effettuata un'analisi diacronica dell'edificato in alcuni bacini idrografici dell'area versiliese dal 1850 al 1996. Lo studio è volto ad analizzare l'evoluzione temporale dell'edificato e a fotografare la situazione subito prima dell'alluvione in relazione alle aree di pericolosità idraulica e da frana così come perimetrate dai Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) redatte dalle Autorità di Bacino competenti. In particolare, lo studio ha lo scopo di individuare i periodi nei quali la gestione dell'edificato ereditata nel 1996 sembrerebbe stata meno accorta e quelli in cui si è iniziato ad avere maggiore consapevolezza in relazione alla cartografia di pericolosità idraulica e di frana vigente. I risultati mostrano come dal 1850 al 1996 nel territorio versiliese si osservi una marcata differenza tra l'entità degli edifici costruiti nelle aree caratterizzate dai due tipi di pericolosità. Alla vigilia dell'alluvione del 19 giugno 1996, il 6% degli edifici era edificato in aree classificate a pericolosità di frana, mentre il 71% era edificato in aree classificate a pericolosità idraulica. Mentre non si registrano sostanziali variazioni nella percentuale degli edifici costruiti in aree a pericolosità da frana nel periodo storico indagato, si osserva un picco nella costruzione degli edifici in aree a pericolosità idraulica nel periodo compreso tra 1954 e 1978, cui segue una diminuzione. D'altra parte, la percentuale degli edifici costruiti nei diversi periodi storici è sempre molto elevata. Infine, la riduzione del numero degli edifici costruiti dopo il 1978 in aree a pericolosità idraulica e da frana potrebbe non essere dovuta ad una effettiva consapevolezza del pericolo connesso con i fenomeni idrogeologici, visto il contemporaneo aumento delle percentuali di edifici costruiti in aree a pericolosità più elevata.

Parole chiave - GIS open source, open data, pericolosità idraulica, pericolosità da frana, sedime edilizio, Versilia, Toscana

INTRODUZIONE

Dopo oltre venti anni dalla tragica alluvione che colpì buona parte della Versilia il 19 giugno 1996 (D'Amato Avanzi *et al.*, 2004, 2016), i problemi di rischio idraulico e di frana nell'area apuo-versiliese non sono ancora del tutto risolti: la rete idraulica è stata oggetto di profondi interventi strutturali solo sugli assi principali, mentre i versanti giacciono ancora in sostanziale abbandono, verso un equilibrio ancora precario gestito essenzialmente dai processi naturali. Molteplici sono stati quindi gli eventi piovosi successivi, anche se di minor intensità, che hanno avuto un certo impatto sul territorio (ad esempio negli anni 1998, 2000, 2003) (Giannecchini, 2006; Giannecchini & D'Amato

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53 - 56126 Pisa. Corresponding author e-mail: monica.bini@unipi.it

(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Pisa, Roma

Avanzi, 2012) e, più recentemente, nel 2010 e nel 2014. È tuttavia indubbio che l'evento catastrofico del 1996 rappresenti un caso emblematico nella storia recente di quest'area e sia divenuto uno spartiacque nelle problematiche di gestione e pianificazione territoriale. Sono noti infatti disastrosi eventi del passato paragonabili a quello del 1996 (1774, 1885, 1902 – Giannaccchini & D'Amato Avanzi, 2012), ma quest'ultimo ha coinvolto un tessuto molto più urbanizzato e caratterizzato da una più "moderna" gestione territoriale.

In questo lavoro viene effettuata un'analisi diacronica del sedime edilizio (area occupata dall'edificato) nei bacini idrografici del Fiume Versilia, del Torrente Baccatoio e del Fiume Camaioire (Fig. 1) a partire dal 1850 fino all'indomani dell'alluvione del giugno 1996. Lo studio è volto a fotografare la situazione dell'edificato subito prima dell'alluvione in relazione alle aree di pericolosità idraulica e da frana così come individuate a partire dai PAI (Piano Assetto Idrogeologico elaborati dall'Autorità di Bacino Toscana Nord) con il contributo di ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) e del Tavolo Tecnico Stato-Regioni-Province Autonome. In particolare, lo studio ha lo scopo di individuare i periodi nei quali la gestione dell'edificato ereditata nel 1996 sembrerebbe stata meno accorta e quelli in cui si è iniziato ad avere maggiore consapevolezza in relazione alla cartografia di pericolosità idraulica e di frana vigente.

Alla luce di quanto stabilito dalla Direttiva Europea INSPIRE (2007/2/CE) e dal relativo decreto attuativo (D.L. 27 gennaio 2010, n. 32), che obbliga gli Enti pubblici a rendere fruibili gratuitamente i dati di loro competenza e al fine di rientrare nella politica della direttiva del 19 dicembre 2003 "Sviluppo ed utilizzazione dei programmi informatici da parte delle pubbliche amministrazioni", in questo lavoro sono stati raccolti unicamente *open data* elaborati con *software open source*, proponendo pertanto una procedura di indagine a basso costo, riproducibile e facilmente applicabile ad altri territori.

AREA DI STUDIO

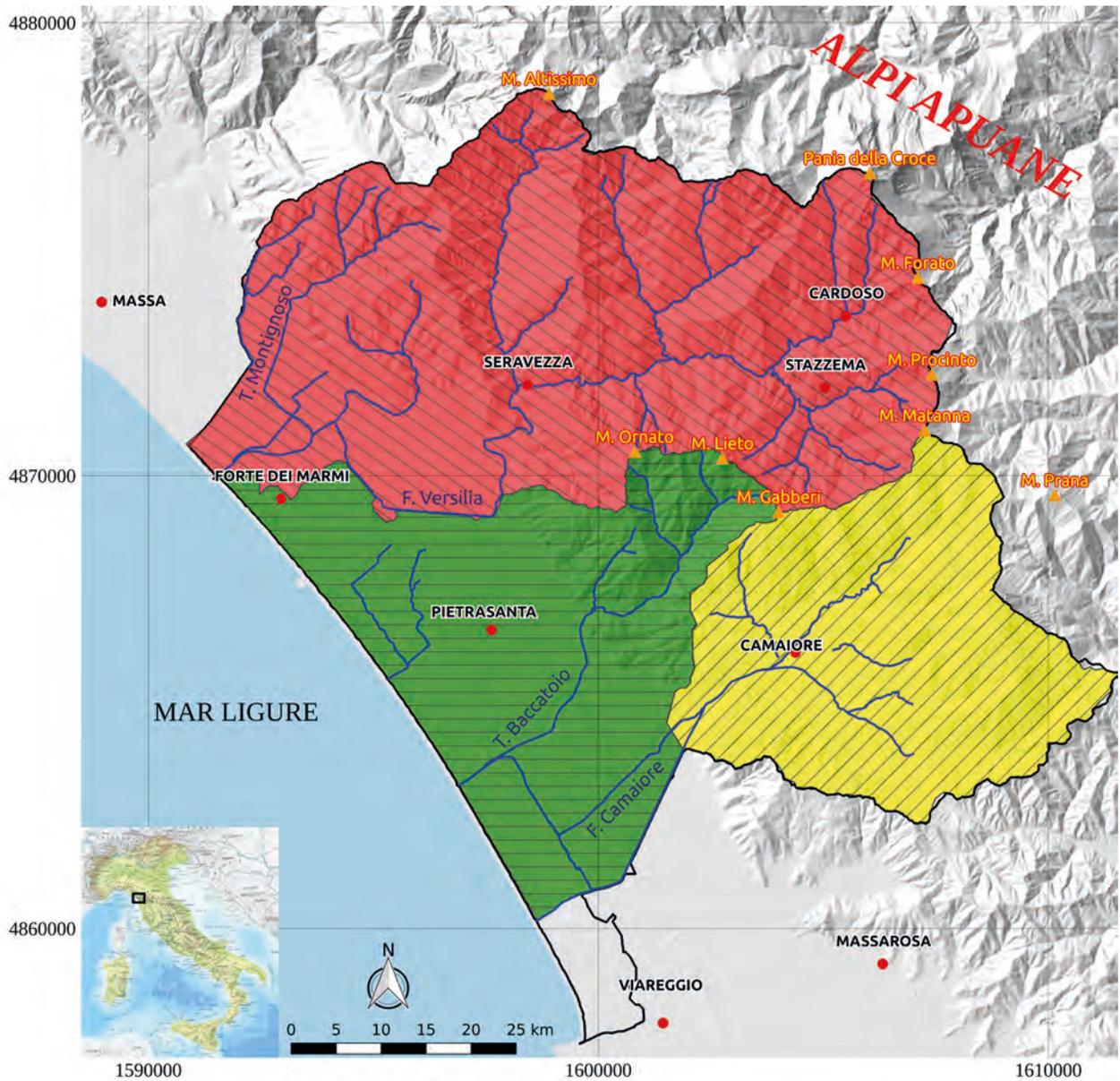
L'area di studio è ubicata in Toscana nord-occidentale ed amministrativamente ricade prevalentemente nella Provincia di Lucca e in minima parte in quella di Massa-Carrara, essendo il Torrente Montignoso divenuto artificialmente tributario del Fiume Versilia in prossimità della foce. Essa ricade inoltre, da nord verso sud, nei Comuni di Montignoso (Massa-Carrara), Pietrasanta, Forte dei Marmi, Seravezza, Stazzema, Camaioire e Viareggio (Lucca). In particolare, l'area nella quale si sono concentrate le indagini è delimitata dai bacini idrografici dei fiumi Versilia, Camaioire e del Torrente Baccatoio (Fig. 1) ed ha una estensione di 223 km².

L'area appare morfologicamente organizzata in tre fasce altimetriche parallele alla costa attuale e tagliate approssimativamente a pettine dalla rete idrografica. È infatti possibile identificare un settore montano con quote massime che superano 1500 m (M. Altissimo, M. Corchia, M. Pania della Croce) e caratterizzato nel complesso dall'affioramento diffuso di rocce metamorfiche carbonatiche mesozoiche poggianti su un basamento paleozoico scistoso-filladico (Carmignani & Kligfield, 1990; Molli *et al.*, 2002; Baroni *et al.*, 2015). Questo territorio risulta storicamente caratterizzato da rare e sporadiche forme insediative costituite soprattutto dagli alpeggi e dai piccoli centri legati ad attività silvo-pastorali o estrattive (Volegno, Pruno, Azzano, Stazzema, Casoli) (Regione Toscana, 2015).

Spostandosi verso la costa e scendendo di quota si incontra l'area collinare e pedecollinare, che raccorda l'area montana alla pianura. Tale area è caratterizzata da piccoli rilievi collinari e ampie conoidi di deiezione fluviale, talora coalescenti, formatesi a partire dal Pleistocene e caratterizzate da una bassa pendenza (generalmente inferiore al 5%). In questa seconda fascia altimetrica si collocano alcuni centri principali ubicati lungo l'asse viario storico pedecollinare (Aurelia e Ferrovia) e altri ubicati alla confluenza con le valli trasversali (Montignoso, Seravezza, Pietrasanta, Camaioire). Tipico di quest'area è anche un sistema insediativo minore costituito da castelli e dai borghi fortificati come il Castello Malaspina (Massa), la Fortezza (Montignoso) e il Castello di Rotaio (Camaioire) (Regione Toscana, 2015).

La terza fascia altimetrica è quella caratterizzata dalla pianura costiera, la cui formazione è avvenuta nell'Olocene per progressiva giustapposizione di cordoni litoranei costituiti dai sedimenti portati a mare dai maggiori corsi d'acqua (Magra a nord e Serchio e Arno a sud) e rielaborati dalle correnti litoranee (Bini *et al.*, 2009; 2015). Localmente si ritrovano aree umide (ad es. il Lago di Porta, tra i comuni di Montignoso e Pietrasanta, o, a sud dell'area di studio, il Lago di Massaciuccoli), interpretabili come relitti di aree lacustri/palustri isolate dal mare da uno o più cordoni litoranei localmente sormontati da depositi eolici (Federici, 1993, 1998; Bini *et al.*, 2009, 2013).

Questo territorio è stato storicamente oggetto di un'intensa attività di bonifica ancora oggi leggibile e funzionante per la presenza di una importante rete di canali artificiali e strade poderali (si vedano ad esempio le descrizioni di Federici (1998) e D'Amato Avanzi & Giannaccchini (2003) e bibliografia inclusa). Se storicamente, a causa dell'impaludamento, il territorio è stato scarsamente popolato (anche se già nel 1830 la sistemazione idraulica della pianura fra Pietrasanta e il mare aveva reso disponibili nuove aree edificabili - Orlandi, 1976), è soprattutto a partire dai primi del '900 che l'area apuo-versiliese ha visto la più intensa urba-



Legenda

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| ▲ Principali vette | Bacini Idrografici |
| ● Località significative | ■ Bacino F. Camaiole |
| — Corsi d'acqua | ■ Bacino F. Versilia |
| □ Area di studio | ■ Bacino T. Baccatoio |

Fig. 1 - Area di studio (estensione di circa 223 km²), composta dai bacini idrografici del Fiume Versilia, del Torrente Baccatoio e del Fiume Camaiole, con le relative aree di bonifica della zona prossima alla costa.

nizzazione a partire dalla città di Viareggio (ubicata a sud dell'area di studio; Fig. 1). La fase di progressiva urbanizzazione della piana costiera ha portato in breve tempo ad ingenti trasformazioni, fino ad arrivare a quella che viene denominata "città litoranea continua" cioè quella urbanizzazione quasi senza soluzione di continuità che caratterizza oggi l'intera fascia costiera ed è comune a molte delle zone di pianura costiera italiane e straniere (Regione Toscana, 2015)

METODI

Un aspetto particolarmente significativo di questo studio, come precedentemente accennato, è l'utilizzo di dati e informazioni forniti da servizi *open data* di enti territoriali statali e regionali; in tabella 1 è riportato l'elenco di quelli consultati ed utilizzati in questo lavoro. I dati sono stati elaborati con il software GIS *open source* QGIS Desktop 2.14.9. Lo studio rappresenta in questo senso un passo in avanti rispetto alla metodologia utilizzata in precedenza in aree non lontane da quella di studio (Bini *et al.* 2008; Bisson & Bini, 2012).

Il *layer* di pericolosità idraulica e quello di pericolosità da frana sono stati realizzati a partire dai Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) redatti dalle Autorità di Bacino e dal Tavolo tecnico Stato-Regioni-Province Autonome con il contributo di ISPRA ai sensi della L. n.183/1989, del D.L. n. 180/1998 e della L. n.267/98. La cartografia di riferimento all'informazione digitale è stata pubblicata nel maggio del 2010, basandosi sul PAI redatto nel novembre 2004.

In particolare, il *layer* di pericolosità da frana è fornito da un servizio WFS del Geoportale Nazionale (Ministero dell'Ambiente), che identifica quattro gradi di pericolosità definiti a seconda del livello di intensità e velocità. Il Piano di Assetto Idrogeologico elaborato dall'Autorità di Bacino Toscana Nord identifica nelle aree a pericolosità da frana molto elevata tutti i fenomeni franosi attivi e le relative aree di influenza, nonché le aree che possono essere coinvolte dai suddetti fenomeni. Rientrano comunque negli ambiti a pericolosità da frana molto elevata anche le aree che possono essere coinvolte da processi a cinematica rapida, quali quelle esposte a fenomeni di crollo, colate rapide di detrito/terra, a voragini per accertati fenomeni carsici

Table 1 - Strati informativi ricavati dai servizi *open data* utilizzati.

CONTENUTO DEL FILE	TIPOLOGIA DI FILE	SCALA NOMINALE	ENTE EMANATORE	INDIRIZZO WEB
Ambiti Amministrativi	shapefile	da 1:1.000 a 1:10.000	Regione Toscana - SITA: Cartoteca	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/download/tematici/ambiti_amministrativi/ambiti_amministrativi.zip
Bacini idrografici secondari	shapefile	1:250.000	SINA - ISPRA	http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-isptra/download-mais/bacini-idrografici-secondari-1-250.000/at_download/file
Pericolosità da Frana	WFS	1:25.000	Geoportale Nazionale - Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare	http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/wfs/PAI_pericolosita.map
Pericolosità idraulica	shapefile	1:10.000	Regione Toscana - SITA: Cartoteca	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/download/tematici/direttiva_alluvioni/direttiva_alluvioni.zip
Periodizzazione sedimenti edilizi	shapefile	da 1:2.000 a 1:10.000	Regione Toscana - SITA: Cartoteca	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html#

Table 2 - Documenti utilizzati per costruire il *layer* della periodizzazione dei sedimenti edilizi. Per i Catasti preunitari della Toscana, essendo stati fatti in un arco temporale abbastanza ampio a cavallo della metà dell'Ottocento, si è attribuito l'anno di acquisizione del dato al 1850.

DOCUMENTO	ENTE PROPRIETARIO	SCALA NOMINALE	ANNO
Catasti preunitari della Toscana	Regione Toscana	da 1:1.250 a 1:5.000	1850
Volo GAI	Istituto Geografico Militare di Firenze	-	1954-1956
Volo Alto	Regione Toscana	1:10.000	1978
Volo RT	Regione Toscana	-	1988
Volo AIMA	Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura	1:10.000	1996

0	sedime edificato che non trova alcuna corrispondenza in un sedime edificato presente nel documento storico considerato
1	sedime edificato che corrisponde con ragionevole certezza a un sedime edificato presente nei documenti storici
2	sedime edificato che non corrisponde a un analogo sedime presente nella fonte storica, la cui estensione ricade prevalentemente su un sedime edificato non più esistente nella CTR nella sua consistenza originaria
3	sedime edificato che non corrisponde a un sedime edificato presente nella fonte storica, la cui estensione ricade prevalentemente su un suolo non occupato da sedimi presenti nella fonte storica
8	sedime rispetto al quale non è stato possibile individuare il periodo di edificazione e risulta perciò non interpretabile
9	sedime non classificabile per assenza di documentazione (corruzione della fonte per strappi nella cartografia originale, mancanza della copertura per assenza del dato, mascherature recenti dovute a presenza di siti militare etc.)

Fig. 2 - Valori numerici che descrivono il grado di certezza relativo alle geometrie dei sedimi edilizi.

(esempio nell'area di studio è la problematica legata al fenomeno *sinkhole* di Camaiore, Buchignani *et al.*, 2007), nonché quelle soggette flussi iperconcentrati di detrito incanalati. Nelle aree a pericolosità da frana elevata rientrano invece tutti i fenomeni franosi quieti, le relative aree di possibile influenza, nonché le aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado anche di carattere antropico, le aree soggette ad erosione accelerata, subsidenza e le aree calanchive (Piano di Assetto Idrogeologico elaborato dall'Autorità di Bacino Toscana Nord, 2004).

Il *layer* di pericolosità idraulica è invece uno *shapefile* fornito dalla Regione Toscana ed identifica le aree potenzialmente interessate da allagamenti secondo gli scenari prestabiliti dal D.Lgs. 49/2010 art. 6 e in accordo con le procedure di omogeneizzazione indicate negli indirizzi operativi (MATTM, 2013), secondo cui gli scenari considerati sono classificati come segue, in funzione del tempo di ritorno T dell'evento:

- 20 < T < 50 anni (alluvioni FREQUENTI – elevata probabilità di accadimento, pericolosità P3);
- 100 < T < 200 anni (alluvioni POCOFREQUENTI – media probabilità di accadimento, pericolosità P2);
- 200 < T < 500 anni (alluvioni RARE DI ESTREMA INTENSITÀ – bassa probabilità di accadimento, pericolosità P1).

Come si osserva, le classi proposte dal D.Lgs. 49/2010 non prevedono la classe di probabilità di accadimento 50 < T < 100 anni; pur non comprendendo appieno le ragioni di questa classificazione, in questo lavoro si è ritenuto comunque opportuno attenerci alle normative vigenti.

Il *layer* della periodizzazione dei sedimi edilizi illustra poligoni vettoriali relativi ai sedimi edificati presenti, con diversi gradi di coincidenza (Fig. 2), nelle mappe dei catasti preunitari della Toscana e nella documen-

tazione fotografica aerea dei voli GAI (1954-56), 1978, 1988 e 1996 (Tab. 2). Il grado di coincidenza viene espresso attraverso un giudizio circa l'assenza, la presenza o l'eventuale presenza parziale (con significative variazioni nella estensione della superficie edificata) del sedime rispetto alla fonte considerata. Lo strato informativo, rispetto al quale viene attribuito il valore di presenza/assenza/trasformazione, è un mosaico dei sedimi edilizi predisposto dal Servizio Geografico Regionale ed ottenuto attraverso la selezione nelle geometrie "dell'edificato" più aggiornate della CTR Toscana, componendo un mosaico tra la copertura in scala 1:10.000 e, laddove disponibili, in scala 1:2.000 (Tab. 1). Le fonti diacroniche utilizzate per identificare la presenza dei sedimi sono elencate in Tab. 2; la relativa affidabilità tematica dichiarata dall'ente fornitore è pari al 90% per il Volo GAI e per il Volo RT e pari al 70% per il Volo Alto.

Nel progetto GIS, l'area di studio è stata definita partendo dal *layer* dei bacini idrografici secondari dei corsi d'acqua Versilia, Baccatoio e Camaiore, da nord verso sud.

Attraverso strumenti di *geoprocessing*, i *layers* di pericolosità idraulica, di periodizzazione dei sedimi edilizi e lo *shapefile* della pericolosità da frana sono stati ritagliati sull'area di studio. Il primo obiettivo è stato quello di identificare, tramite *join* spaziale, il numero di edifici ricadenti nelle diverse classi di pericolosità idraulica o da frana. Gli edifici ricadenti tra due classi diverse di pericolosità sono stati cautelativamente inclusi nella classe a pericolosità maggiore.

Le geometrie degli edifici, selezionate attraverso l'interrogazione spaziale, sono state restituite come un nuovo *layer* che definisce cinque strati informativi, uno per ogni grado di pericolosità (due per la pericolosità da frana e tre per la pericolosità idraulica), contenenti le sole geometrie di sedimi edilizi ricadenti in aree caratterizzate da una certa tipologia e grado di pericolosità. Questi *layer* sono serviti per verificare quanto è stato edificato nei vari periodi storici in aree a pericolosità idraulica o da frana. Gli strati informativi inerenti i sedimi edilizi sono suddivisi in cinque diversi periodi (metà del 1800, 1954, 1978, 1988, 1996). Per ognuno dei cinque nuovi *layer* è stata compiuta una ricerca tabellare delle geometrie contenenti, per ogni fonte storica, il valore pari a 1 nell'attributo descrivente la coincidenza. Le geometrie selezionate sono state salvate come un nuovo *layer*, definendo questa volta 25 nuovi strati che illustrano i sedimi edilizi posti in area a pericolosità e che sicuramente erano presenti nella fonte storica indagata. La fase successiva è stata quella di applicare un'operazione di *geoprocessing* per ricercare le differenze fra i vari livelli di edificati per la medesima tipologia e grado di pericolosità. Il diagramma di flusso di figura 3 illustra sinteticamente la procedura applicata.

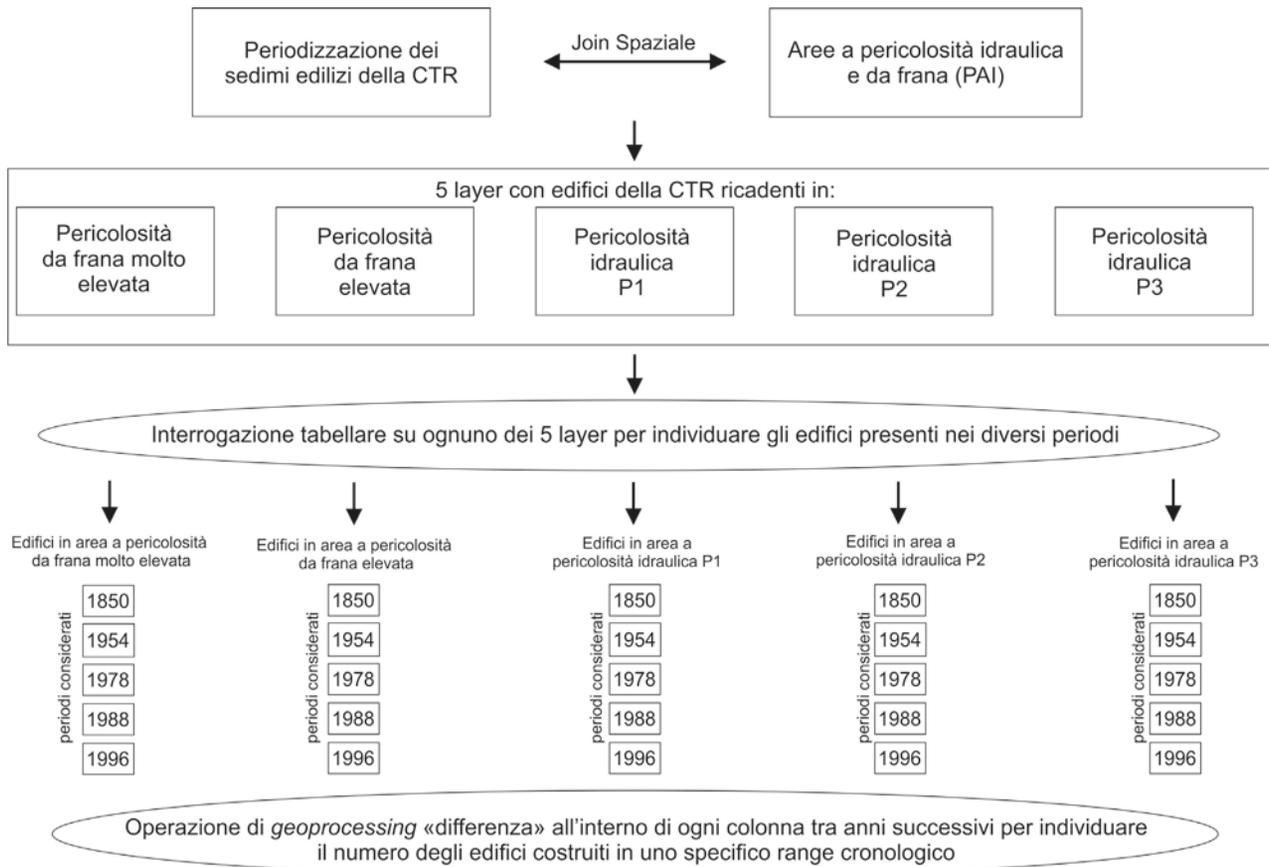
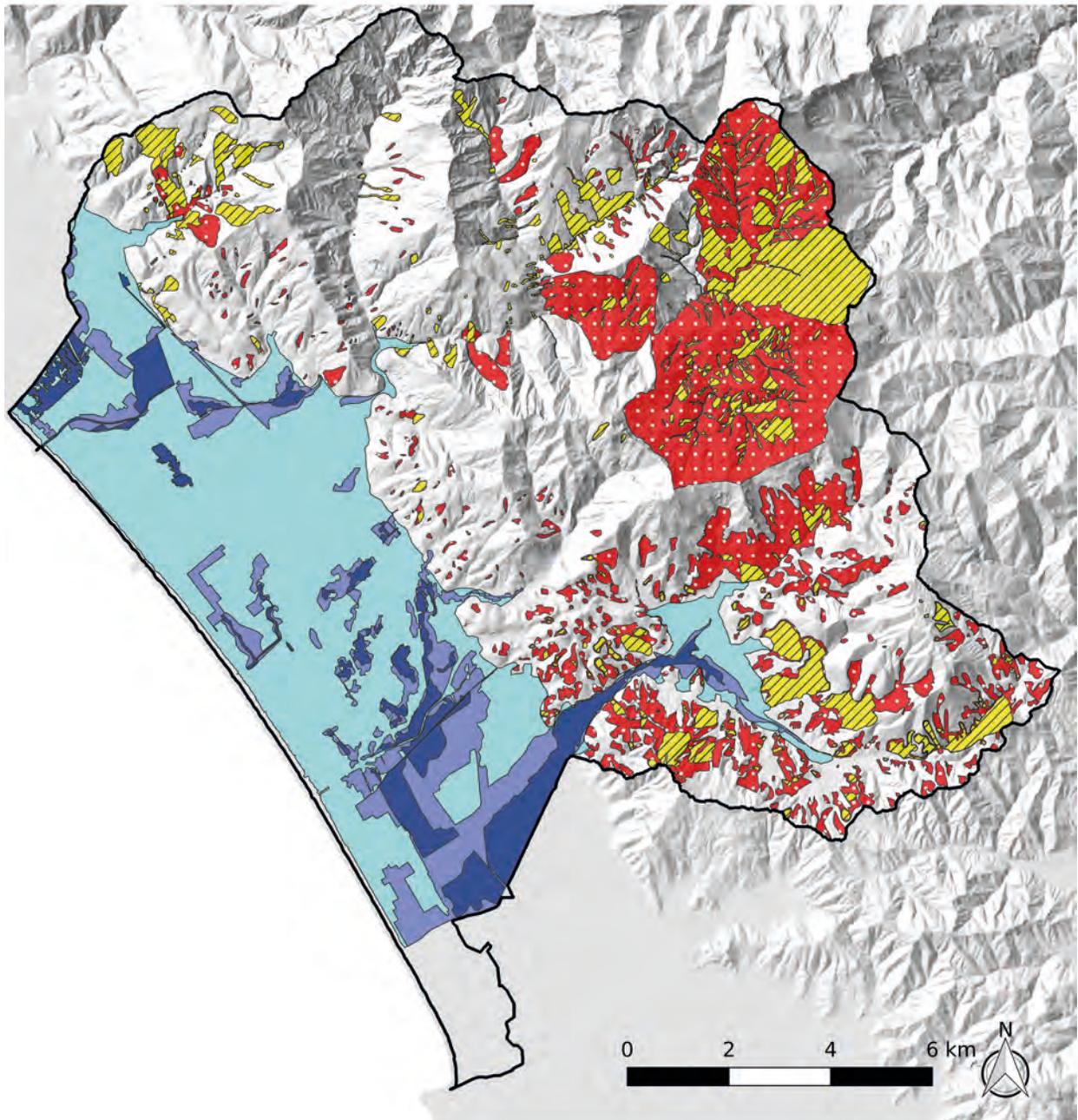


Fig. 3 - Diagramma di flusso riassuntivo ed esplicativo della metodologia applicata.

RISULTATI

I processi di poligonizzazione e ritaglio dei *layers* nell'area di studio hanno permesso di utilizzare la mappa di pericolosità idraulica e da frana così come definita dal PAI (Fig. 4). Le classi di pericolosità idraulica sono tre in funzione del tempo di ritorno T dell'evento di piena: P1 ($200 < T < 500$), P2 ($100 < T < 200$), P3 ($20 < T < 50$). Come è normale attendersi da un territorio morfologicamente eterogeneo quale quello versiliese, la mappa mette in evidenza come le classi di pericolosità idraulica e da frana riguardino porzioni differenti del territorio. Fenomeni idraulici, con relativa pericolosità, sono attesi soprattutto nella fascia pianeggiante compresa tra i rilievi collinari e il mare, prevalentemente legati alla dinamica dei principali corsi d'acqua che, nell'area di studio, scendono dalle Alpi Apuane (da nord verso sud, F. Versilia, T. Baccatoio, F. Camaioere). Le aree a pericolosità di frana (elevata e molto elevata) si ritrovano naturalmente nelle zone pedemontane e montane. Si notano in particolare due aree estese caratterizzate da pericolosità da frana che corrispondono interamente ai bacini del Torrente del

Cardoso e del Canale delle Mulina, sottobacini montani del bacino del F. Versilia, intensamente colpiti dalle frane superficiali rapide in occasione dell'evento alluvionale del 19 giugno 1996 (D'Amato Avanzi *et al.* 2004). Diffuse aree a pericolosità di frana sia elevata che molto elevata si ritrovano anche nel settore sud-orientale, corrispondente al bacino del F. Camaioere. In tabella 3 è riportata l'estensione areale delle zone a pericolosità idraulica (classi P1, P2, P3) e di frana (classi elevata e molto elevata). Come si nota, le aree a pericolosità di frana molto elevata ed elevata costituiscono rispettivamente il 14% e il 8% del territorio. Nelle aree a pericolosità idraulica predomina, su tutta l'area indagata, la classe P1 con il 20%, a fronte del 5% e del 4% delle classi P2 e P3, rispettivamente. La tabella 4 mostra il numero di edifici presenti nell'area di studio rilevati da ogni fonte storica (Catasti preunitari Toscana, Volo Gai, Volo Alto, Volo RT, Volo AIMA). Da questi dati si nota come il periodo tra il 1954 e il 1978 sia stato quello con un maggior sviluppo urbano, con un tasso di edificazione medio di oltre mille edifici l'anno, mentre i decenni successivi hanno avuto un tasso di edificazione sempre minore (circa 750



Legenda

Pericolosità da frana

- Elevata
- Molto Elevata

Pericolosità idraulica

- P1
- P2
- P3

Fig. 4 - Mappa di pericolosità idraulica ($P1 = 200 < T < 500$ anni; $P2 = 100 < T < 200$ anni; $P3 = 20 < T < 50$ anni, con T = tempo di ritorno) e da frana. Il layer inerente la pericolosità idraulica è fornito dalla Regione Toscana tramite il servizio Geoscopio, mentre quello inerente la pericolosità da frana deriva da un WFS fornito dal Ministero dell'Ambiente.

Table 3 - Aree a diversa pericolosità idraulica e da frana (area: superficie ricadente nella classe descritta espressa in km²; %: rapporto percentuale dell'area suddetta rispetto al totale dell'area di studio).

PERICOLOSITÀ	GRADO	AREA (KM ²)	%
Da Frana	Elevata	32.24	14%
	Molto elevata	16.79	8%
Idraulica	P1	44.19	20%
	P2	12.13	5%
	P3	8.56	4%

Table 4 - Numero di edifici e tasso di edificazione rilevati dalle diverse fonti (Catasti preunitari della Toscana, Volo GAI, Volo Alto, Volo RT, Volo AIMA). Il tasso di edificazione è espresso come numero di edifici per anno nel periodo compreso tra una fonte storica e quella successiva.

FONTE STORICA	NUMERO DI EDIFICI	TASSO DI EDIFICAZIONE (EDIFICI/ANNO)
Catasti preunitari della Toscana (1850)	7705	
		269
Volo GAI (1954)	35690	1049
Volo Alto (1978)	60877	777
Volo RT (1988)	68645	406
Volo AIMA (1996)	71890	

Table 5 - Numero di edifici, ottenuti attraverso la selezione nelle geometrie "dell'edificato" più aggiornate della CTR Toscana, costruiti in area a diverso grado di pericolosità da frana (molto elevata ed elevata) e idraulica (P1 = 200<T<500 anni; P2 = 100<T<200 anni; P3 = 20<T<50 anni). È riportata inoltre la percentuale di edifici costruiti nelle suddette aree e il numero di edifici totali costruiti nell'area di studio.

PERICOLOSITÀ	GRADO	NUMERO	%
Da Frana	Elevata	2390	3%
	Molto elevata	1366	2%
Idraulica	P1	37230	51%
	P2	6742	9%
	P3	2320	3%

Table 6 - Numero di edifici costruiti in area a pericolosità da frana (elevata e molto elevata) e idraulica (P1 = 200<T<500 anni; P2 = 100<T<200 anni; P3 = 20<T<50 anni) nei diversi intervalli cronologici analizzati e rispettive percentuali in rapporto al numero totale di edifici costruiti nell'intera area di studio nel periodo di tempo considerato.

PERICOLOSITÀ	GRADO	INTERVALLO STORICO	NUMERO DI EDIFICI	%		
Da Frana	Elevata	1850 - 1954	847	3%		
		1954 - 1978	393	2%		
		1978 - 1988	180	2%		
		1988 - 1996	128	4%		
		1850 - 1954	954	3%		
		1954 - 1978	0	0%		
	Molto elevata	1978 - 1988	106	1%		
		1988 - 1996	80	2%		
		Idraulica	P1	1850 - 1954	12426	44%
				1954 - 1978	16038	63%
				1978 - 1988	4539	58%
			P2	1850 - 1954	2296	8%
1954 - 1978	2973			12%		
1978 - 1988	805			10%		
P3	1988 - 1996	309	10%			
	1850 - 1954	679	2%			
	1954 - 1978	473	2%			
		1978 - 1988	361	5%		
		1988 - 1996	156	5%		

edifici l'anno tra 1978 e 1988 e circa 400 edifici/anno tra 1988 e 1996). I risultati inerenti la ricerca delle geometrie dei sedimenti edilizi derivanti dalla CTR Toscana più aggiornata, servite come base per formare il layer "periodizzazione dei sedimenti edilizi", in aree soggette a pericolosità sono riportati in tabella 5. In particolare, si nota come complessivamente nelle aree a pericolosità da frana ricada il 5% dei sedimenti edilizi, mentre nelle aree a pericolosità idraulica ne ricada il 63%.

Il numero di edifici costruiti in aree a diverso grado di pericolosità nei diversi periodi indagati è riportato nella tabella 6, all'interno della quale si può osservare anche la relativa percentuale rispetto al totale degli edifici costruiti nello stesso periodo sull'intera area. Riportando su un piano cartesiano il numero di edifici costruiti su aree a pericolosità idraulica e di frana rispetto agli intervalli storici di riferimento (Fig. 5), si nota un andamento diverso per le due tipologie di

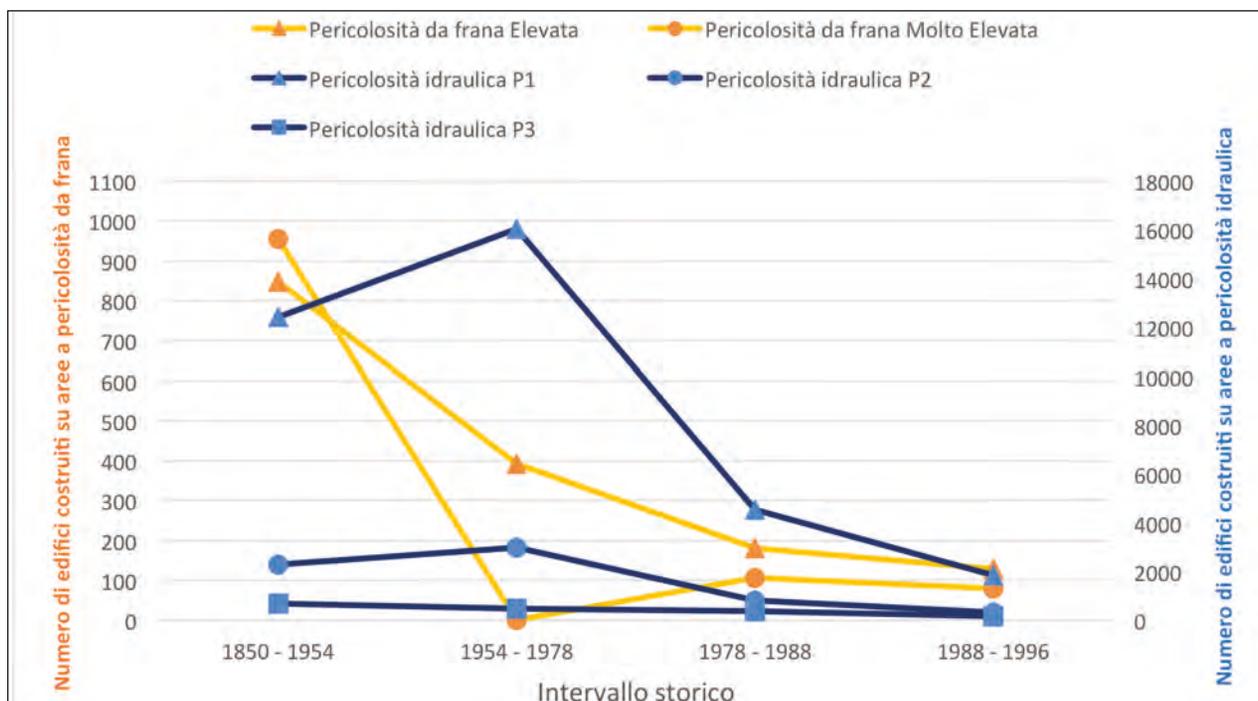


Fig. 5 - Andamento del numero di edifici costruiti in aree a pericolosità da frana ed idraulica dal 1850 al 1996.

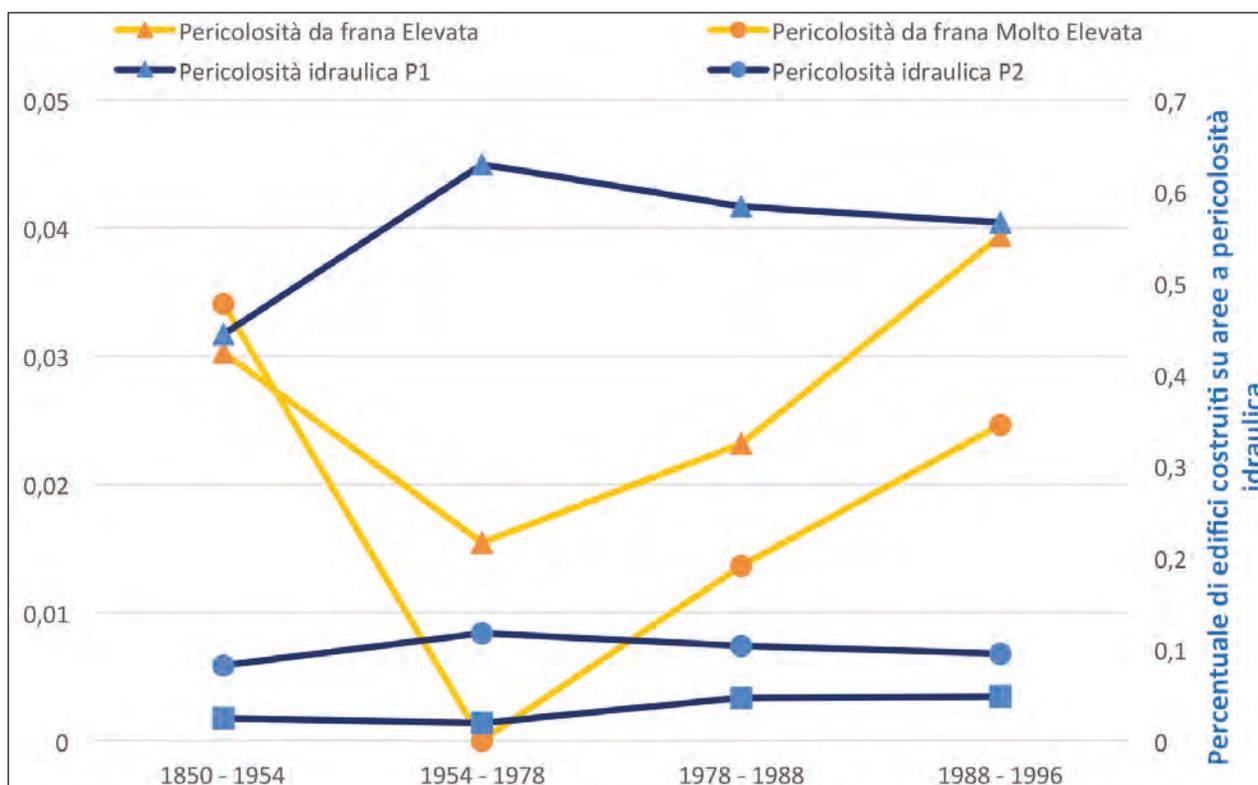


Fig. 6 - Andamento della percentuale di edifici costruiti in aree a pericolosità da frana ed idraulica rispetto al numero totale di edifici costruiti nell'area di studio dal 1850 al 1996.

pericolosità. Dal 1954 al 1978 si ha un aumento del numero di edifici costruiti su aree a pericolosità idraulica P1 e P2, mentre si ha un calo nelle aree a pericolosità P3 e di frana (in particolare nella classe molto elevata). Dal 1978 al 1996 si registra una generale progressiva diminuzione del numero di edifici costruiti in aree a pericolosità sia idraulica che da frana. Fanno eccezione a questo trend le aree caratterizzate da pericolosità da frana molto elevata, nelle quali si osserva un repentino aumento del numero di edifici costruiti tra il 1978 e il 1988, seguito solo successivamente da una diminuzione. In questo caso è tuttavia necessario rilevare che il dato relativo al 1978 può sottostimare il reale edificato in quanto viene rilasciato con una affidabilità tematica del 70%, mentre tutti gli altri hanno una affidabilità tematica pari al 90% (LaRIST, 2011).

Considerando le percentuali rispetto al totale degli edifici costruiti nello stesso periodo sull'intera area (Fig. 6), emerge un trend analogo a quello descritto in figura 5 fino al 1978. Dal 1978 al 1988 nelle aree a pericolosità idraulica P1, come nelle aree a pericolosità da frana molto elevata, il comportamento continua ad essere simile a quello illustrato dal grafico di figura 5; tuttavia, per le aree a pericolosità idraulica P2 non si osservano variazioni, mentre per le aree a pericolosità idraulica P1 e a pericolosità da frana elevata si nota un aumento della percentuale di edifici costruiti, in contrasto con quanto evidenziato dalla figura 5 stessa. Infine, tra il 1988 e il 1996 si evince un andamento diverso da quello prima evidenziato per tutte le tipologie di pericolosità: per le aree a pericolosità idraulica non si registrano sostanziali variazioni rispetto al periodo precedente, mentre per le aree a pericolosità di frana si nota un incremento della percentuale di edifici costruiti.

Nella tabella 7 sono riportate le percentuali di edifici costruiti in tutte le aree a pericolosità da frana e idraulica. L'andamento di queste percentuali è descritto dal grafico riportato in figura 7, dal quale emerge che la percentuale di sedimi edilizi realizzati in classi di pericolosità idraulica ha un andamento in crescita dal 1850 al 1978, cui segue una progressiva diminuzione, mentre nelle classi a pericolosità da frana si ha una iniziale diminuzione, dal 1850 al 1978, seguita da un incremento sino agli anni '90.

Table 7 - Percentuale di edifici costruiti in area a pericolosità da frana e idraulica (indipendentemente dalla classe di pericolosità) per ogni intervallo storico preso in esame.

INTERVALLO STORICO	PERICOLOSITÀ DA FRANA	PERICOLOSITÀ IDRAULICA
1850 - 1954	6%	55%
1954 - 1978	2%	76%
1978 - 1988	4%	73%
1988 - 1996	6%	71%

DISCUSSIONE

I dati illustrati nel precedente paragrafo rappresentano la situazione sull'evoluzione urbanistica dell'alta e bassa Versilia in relazione alla pericolosità da frana ed idraulica ad oltre 20 anni dall'evento alluvionale che colpì la Versilia nel 1996. I dati mostrano come nell'area di studio, prima dell'evento alluvionale del 1996, il 5% degli edifici fosse ubicato in zone a pericolosità da frana, mentre ben il 63% degli edifici era localizzato in aree a pericolosità idraulica. L'analisi diacronica dell'edificato ha permesso di evidenziare come si sia arrivati ad una simile organizzazione territoriale.

In particolare, per quanto riguarda la pericolosità idraulica, che interessa una porzione molto più estesa del territorio studiato (pari a circa il 30%), particolarmente critico sembra il periodo cronologico compreso tra il 1954 ed il 1978, durante il quale il 76% degli edifici costruiti è stato edificato in area soggetta a pericolosità idraulica (Fig. 7, Tab. 7). Ciò era del resto un risultato atteso, poiché è il periodo che segue l'immediato dopoguerra e di boom economico e sviluppo demografico. Successivamente al 1978 si ha invece una diminuzione, seppur modesta, della percentuale di edifici costruiti in area a pericolosità idraulica. Questo dato potrebbe essere interpretato come un aumento di consapevolezza dei pericoli connessi con gli eventi alluvionali, associato quindi ad una evoluzione delle normative di settore a partire dagli anni '80. Tuttavia, a fronte della generale diminuzione della percentuale totale degli edifici costruiti in aree a pericolosità idraulica (Tab. 7), si osserva un leggero aumento della percentuale degli edifici costruiti in classe di pericolosità P3 (Tab. 6), in disaccordo con questa interpretazione.

Per quanto riguarda la pericolosità da frana non si osservano grandi variazioni nel corso del tempo, con valori che si mantengono sempre abbastanza bassi e si attestano per tutto il periodo indagato attorno al 5%, eccetto un piccolo decremento nel periodo che va dal 1954 al 1978 (Tab. 7), interpretabile come già esposto in precedenza in merito all'aumento di edifici in aree a pericolosità idraulica nel medesimo periodo. In questo caso però, data l'entità dei numeri in gioco (2-6%) e l'errore connesso alla fonte del dato (foto aeree del 1978, date ad una attendibilità del 70%), questo decremento non è da considerarsi significativo e sembra non indicare un diverso approccio nella gestione del territorio. Ovviamente le aree a pericolosità da frana sono concentrate nelle aree collinari e montane che hanno una bassa densità di popolazione, e a questo, più che a una reale presa di coscienza, potrebbe essere attribuito il numero relativamente limitato di edifici costruiti in area a pericolosità da frana. Naturalmente, un altro aspetto da non sottovalutare è che le superfici delle aree in frana dei PAI siano sottostimate e che quindi

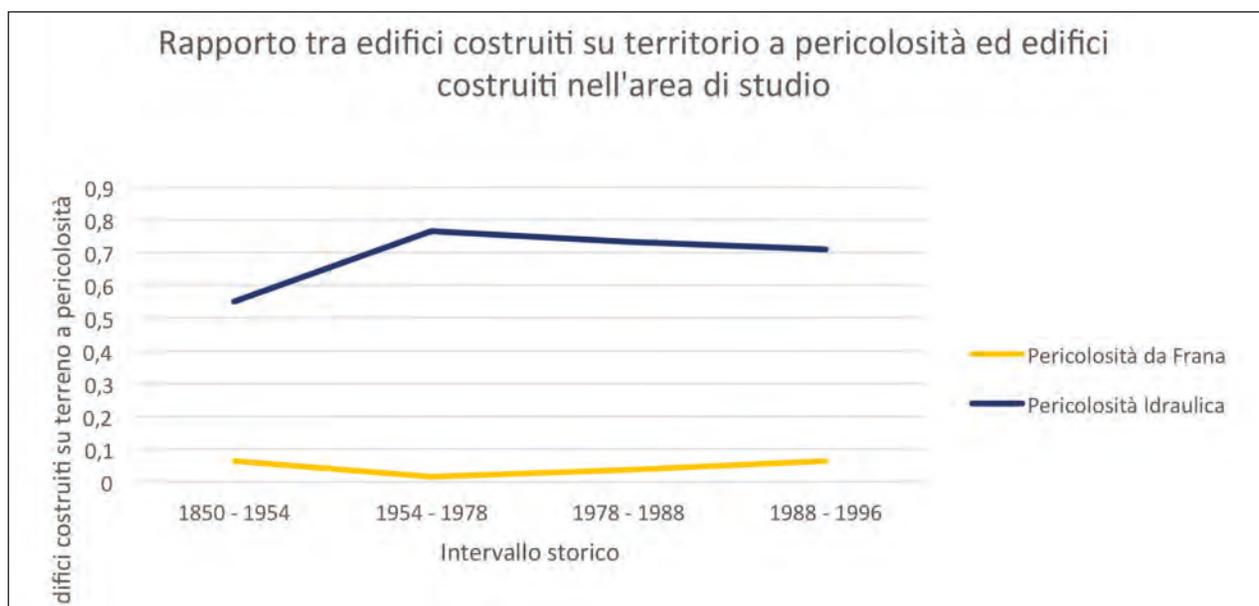


Fig. 7 - Percentuali totali di edifici costruiti in area a pericolosità da frana e idraulica (indipendentemente dalla classe di pericolosità) negli intervalli temporali di riferimento. La pericolosità idraulica è caratterizzata da un incremento in percentuale del numero di edifici costruiti tra il 1954 e il 1978, seguita da una progressiva diminuzione sino al 1996. La pericolosità da frana ha invece un comportamento opposto evidenziando, nello stesso periodo, una diminuzione seguita da un successivo aumento.

Table 8 - Numero di edifici, rilevati dalle varie fonti (Catasti preunitari della Toscana, Volo GAI, Volo Alto, Volo RT, Volo AIMA), posizionati in area collinare-montana (quota superiore a 200 m s.l.m.) e di pianura (quota inferiore a 200 m s.l.m.). Si evince che dal 1850 al 1996 l'area di pianura ha avuto uno sviluppo urbano considerevole rispetto all'area collinare/montana, soprattutto tra il 1978 e il 1988.

FONTE STORICA	NUMERO DI EDIFICI IN AREA COLLINARE-MONTANA	NUMERO DI EDIFICI IN AREA DI PIANURA
	(ALT. > 200 M)	(ALT. < 200 M)
Catasti preunitari della Toscana (1850)	1967	5738
Volo GAI (1954)	4428	31262
Volo Alto (1978)	5375	55502
Volo RT (1988)	5846	62799
Volo AIMA (1996)	6249	65641

la percentuale dell'edificato in frana sia in realtà superiore. Del resto, in aree morfologicamente complesse e ad elevata acclività come quelle apuane, gli edificati si sviluppavano spesso su antichi grandi corpi di frana che consentivano morfologie e paesaggi più facilmente accessibili agli insediamenti antropici.

Osservando il tasso di edificazione annuo nel territorio indagato (Tab. 4), si nota che i valori massimi si registrano tra il 1954 e il 1978, con oltre mille edifici costruiti mediamente ogni anno. Anche nel periodo 1978-1988 il tasso di edificazione rimane alto, raggiungendo in media quasi 800 edifici per anno. I dati sembrano mostrare una massiccia edificazione prevalentemente concentrata nella pianura costiera (Tab. 8).

Tale edificazione sembra essere stata guidata da esigenze diverse e sembra avere poco a vedere con una buona pianificazione territoriale che tenga conto delle pericolosità ambientali. Anche la marcata diminuzione del tasso di edificazione che si osserva nell'intervallo tra 1978 e 1996 sembra essere più connessa ad una reale limitazione degli spazi edificabili piuttosto che ad una vera e propria presa di coscienza. Infatti, ciò pare dimostrato dalla constatazione che, a fronte di una marcata riduzione di edifici costruiti per anno, non si osserva una analoga marcata diminuzione della percentuale di edifici costruiti in area a pericolosità idraulica e da frana.

CONCLUSIONI

A fronte di una estensione simile di aree interessate da pericolosità da frana e pericolosità idraulica (il 22% del territorio indagato è a pericolosità da frana e il 29% a pericolosità idraulica), dal 1850 al 1996 nel territorio versiliese si osserva una marcata differenza tra l'entità degli edifici costruiti nelle aree caratterizzate dai due tipi di pericolosità. In particolare, alla vigilia del 1996, anno dell'evento alluvionale, il 6% degli edifici era edificato in aree classificate a pericolosità di frana, mentre ben il 71% era edificato in aree classificate a pericolosità idraulica. Mentre non si registrano sostanziali variazioni nella percentuale degli edifici costruiti in aree a pericolosità da frana nel periodo storico indagato, si osserva un picco nella costruzione degli edifici in aree a pericolosità idraulica nel periodo compreso tra 1954-1978, cui segue una diminuzione.

Per quanto riguarda le aree a pericolosità da frana, esse probabilmente hanno incluso un numero relativamente limitato di edifici per ragioni legate alle caratteristiche del popolamento nell'area collinare-montana piuttosto che ad una consapevolezza dei pericoli connessi. Ma non è da sottovalutare una sottostima delle aree in frana. Per quanto riguarda la pericolosità idraulica, la percentuale degli edifici costruiti nei diversi periodi storici è sempre molto elevata e sicuramente allarmante. Inoltre, anche la riduzione del numero degli edifici costruiti dopo il 1978 in aree a pericolosità idraulica e da frana potrebbe non essere dovuta ad una effettiva consapevolezza del pericolo connesso con i fenomeni idrogeologici, visto il contemporaneo aumento delle percentuali di edifici costruiti in aree a pericolosità più elevata.

In conclusione, questo lavoro, seppure di carattere preliminare, ha permesso di fare un quadro sinottico sulla espansione urbanistica del territorio versiliese in relazione alle pericolosità da frana e idraulica fino al 1996, anno dell'alluvione della Versilia, divenuto anche un anno di riferimento, per il territorio indagato per quanto concerne la gestione territoriale, la pianificazione del territorio e la prevenzione del rischio idrogeologico. Futuri studi potranno verificare se, proprio a partire dal 1996, questo cambiamento di paradigma ci sia veramente stato in modo che, sia per il rispetto delle normative vigenti, sia per una presa di coscienza di amministratori e popolazione, le aree a pericolosità idraulica e da frana abbiano iniziato ad avere un peso più rilevante nelle decisioni di pianificazione territoriale.

RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato realizzato nell'ambito del progetto "Clima ed eventi alluvionali estremi in Versilia: integrazione di nuove tecniche geoarcheologiche, geomorfologiche, geochimiche e simulazioni nume-

riche" (Resp. Dott.ssa Monica Bini), finanziato dalla Fondazione Cassa Risparmio di Lucca Bando ricerca 2016/2017. Gli autori ringraziano i due anonimi revisori per i costruttivi suggerimenti che hanno migliorato il manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- BARONI C., PIERUCCINI P., BINI M., COLTORTI, M., FANTOZZI, P.L., GUIDOBALDI, G., NANNINI, D., RIBOLINI, A., SALVATORE, M.C., 2015. Geomorphological and neotectonic map of the Apuan Alps (Tuscany, Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 38(2): 201-227.
- BINI M., CASAROSA N., RIBOLINI A., 2008. Multitemporal (1938-2004) evolution of the Pisan shoreline based on the comparison of georeferenced aerial images [L'evoluzione diacronica della linea di riva del litorale Pisano (1938-2004) sulla base del confronto di immagini aeree georeferenziate]. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A* 113: 1-12.
- BINI M., SARTI G., DA PRATO S., FABIANI F., PARIBENI E., BARONI C., 2009. Geoarchaeological evidences of changes in the coastline progradation rate of the Versilia coastal plain between Camaiore and Viareggio (Tuscany, Italy): Possible relationships with Late Holocene high-frequency transgressive-regressive cycles. *Alpine and Mediterranean Quaternary* 22(2): 257-266.
- BINI M., BARONI C., RIBOLINI A., 2013. Geoarchaeology as a tool for reconstructing the evolution of the Apuo-Versilian Plain (NW Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 36(2): 215-224.
- BISSON M. & BINI M., 2015. A multidisciplinary approach to reveal palaeo-hydrographic features: The case study of Luna archaeological site surroundings. *International Journal of Geographical Information Science* 26(2): 327-343.
- BUWAL, 1998. Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Umwelt-Materialien Nr. 85, Bern, 247 S, 198 pp.
- BUCHIGNANI, V., D'AMATO AVANZI, G., GIANNACCHINI, R., PUCCINELLI A., 2008. Evaporite karst and sinkhole: a synthesis on the case of Camaiore (Italy). *Environmental Geology* 53(5), 1037-1044.
- CARMIGNANI, L., KLIGFIELD, R., 1990. Crustal extension in the northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane Core Complex. *Tectonics* 9: 1275-1303.
- D'AMATO AVANZI, G., GIANNACCHINI, R., 2003. Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia. *Rivista Geografica Italiana* 110: 527-559.
- D'AMATO AVANZI, G., GIANNACCHINI, R., BARTELLETTI, C., GALANTI, Y., 2016. L'alluvione della Versilia e della Garfagnana venti anni dopo (1996-2016). *Il Geologo* 100: 21-25.
- D'AMATO AVANZI, G., GIANNACCHINI, R., PUCCINELLI, A., 2004. The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in the northwestern Tuscany (Italy). *Engineering Geology* 73(3-4): 215-228.
- FEDERICI, P.R., 1987. Stato attuale delle conoscenze geomorfologiche e geologiche del bacino del Massaciuccoli in Versilia (Toscana)", in "Il bacino del Massaciuccoli", III, Pisa, Pacini, 1987: 27-52.

- FEDERICI P.R., 1993. The Versilian transgression of the Versilia area (Tuscany, Italy) in the light of drillings and radiometric data. *Memorie della Società Geologica Italiana* 49: 217-225.
- FEDERICI, P.R., 1998. L'ex Lago di Porta in Versilia (Toscana): la storia di una irresistibile pressione ambientale. *Memorie Società Geografica Italiana LV*: 397-414.
- GIANNECCHINI, R., 2006. Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy). *Natural Hazards and Earth System Science* 6: 357-364.
- GIANNECCHINI, R., D'AMATO AVANZI, G., 2012. Historical research as a tool in estimating the flood/landslide hazard in a typical small alpine-like area: the example of the Versilia River basin (Apuan Alps, Italy). *Journal of Physics and Chemistry of the Earth* 49: 32-43.
- LARIST, 2011. Banca dati regionale relativa alla periodizzazione della crescita urbana basata sul trattamento di fonti catastali e aerofotografiche storiche. Relazione tecnico-scientifica a cura di LaRIST, Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione del territorio, Università degli Studi di Firenze.
- MATTM, 2013. Indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/ce relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (decreto Legislativo n.49/2010), Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare, Direzione Generale per la tutela del territorio e delle risorse Idriche, Documento Conclusivo del tavolo Tecnico Stato-Regioni.
- MOLLI, G., GIORGETTI, G., MECCHERI, M., 2002. Tectono-metamorphic evolution of the Alpi Apuane Metamorphic Complex: new data and constraints for geodynamic models. *Bollettino Società Geologica Italiana* vol. spec. 1: 789-800.
- ORLANDI, D., 1976. La Versilia nel Risorgimento. Edizioni Versilia Oggi, Roma, 588 pp.
- REGIONE TOSCANA, 2004. Piano di Assetto Idrogeologico. Bacino Regionale Toscana Nord, novembre 2004.
- REGIONE TOSCANA, 2015. Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico, Ambito Versilia e Costa Apuana. Deliberazione Consiglio Regionale 27 marzo 2015, n. 37, 61 pp.

(ms. pres. 15 luglio 2017; ult. bozze 17 ottobre 2017)

