



ATTI
DELLA
SOCIETÀ TOSCANA
DI
SCIENZE NATURALI

MEMORIE • SERIE A • VOLUME CXXVII • ANNO 2020



Edizioni ETS

INDICE - CONTENTS

- G. CUCURNIA – L'alluvione di Marina di Carrara (Toscana, Italia) del 5 novembre 2014: descrizione dell'evento meteo-idrologico ed analisi dei fattori geografici e geomorfologici predisponenti.
Marina di Carrara (Tuscany, Italy) flood on November 5, 2014: description of the meteo-hydrological event and analysis of predisposing geographic and geomorphological factors. pag. 5
- R. GRIFONI CREMONESI – Grotte, fosse, circoli di pietre, offerte vegetali e animali, acque e simboli: testimonianze di culti e riti nella Preistoria italiana.
Caves, ritual pits, stone circles, vegetables and animals offerings, water and symbols: evidences of cults and rites in the Italian Prehistory. » 15
- P. BALOCCHI – Tectonics and seismotectonics of high Dragone valley between Piandelagotti and Montefiorino villages (Northern Apennines, Italy).
Tettonica e sismotettonica dell'alta valle del Dragone tra i paesi di Piandelagotti e Montefiorino (Appennino Settentrionale, Italia). » 29
- A. PETROCCIA, M. BONASERA, S. NERONE, F. CASO, M. MORELLI, D. BORMIOLI, G. MOLETTA – Geological guide to the excursion in the upper Maira Valley (Western Alps, Italy).
Guida geologica all'escursione in alta Valle Maira (Alpi Occidentali, Italia). » 41
- S. MERLINO – The OD nature of perrierite and chevkinite.
La natura OD di perrierite e chevkinite. » 55
- C. BIAGIONI – A new occurrence of a Mg-rich member of the chabazite series from Tuscany (Italy).
Un nuovo ritrovamento di un termine ricco in Mg della serie della cabasite dalla Toscana (Italia). » 61
- S. PAGNOTTA, M. LEZZERINI – Comparison between Leeb and Knoop hardness on metakaolin-based geopolymers.
Confronto tra la durezza di Leeb e Knoop di geopolimeri a base di metacaolino. » 67
- F. RAPETTI – La pioggia a Livorno (Toscana, Italia) (1857-2019).
The rain in Leghorn (Tuscany, Italy) (1857-2019). » 75
- PROCESSI VERBALI
Pubblicati nel sito <http://www.stsn.it>
Published on the internet site <http://www.stsn.it> » 29

GIOVANNI CUCURNIA ⁽¹⁾

L'ALLUVIONE DI MARINA DI CARRARA (TOSCANA, ITALIA) DEL 5 NOVEMBRE 2014: DESCRIZIONE DELL'EVENTO METEO-IDROLOGICO ED ANALISI DEI FATTORI GEOGRAFICI E GEOMORFOLOGICI PREDISPONENTI

Abstract - G. CUCURNIA, *Marina di Carrara (Tuscany, Italy) flood on November 5, 2014: description of the meteo-hydrological event and analysis of predisposing geographic and geomorphological factors.*

The flood event that occurred in Carrara during the morning of November 5, 2014 was one of the main natural disasters happened in Tuscany in the last years. The breakdown of an extended segment of the Carrione River embankment played a decisive role in the flooding of the area, allowing the waters to flow out of the riverbed. This paper analyzes the meteorological configuration that led to highly significant rainfall concentrated in a short time, allowing the sudden rise in the hydrometric level of the Carrione River.

The analysis of the geomorphological and geographic features, on the other hand, made it possible to delineate in detail the territorial structure of the area, focusing attention on the existing critical issues and on the predisposing factors to be considered in the hydraulic risk assessment. An adequate knowledge of the environmental features about the territory of the water basin of the Carrione River is therefore crucial in planning a correct plan of interventions aimed at achieving a mitigation of hydraulic risk.

Key words - heavy rains, embankment breakdown, urbanization, hydraulic risk mitigation, Carrione River, Marina di Carrara, Tuscany, Italy

Riassunto - G. CUCURNIA, *L'alluvione di Marina di Carrara (Toscana, Italia) del 5 novembre 2014: descrizione dell'evento meteo-idrologico ed analisi dei fattori geografici e geomorfologici predisponenti.*

L'inondazione che interessò l'abitato di Marina di Carrara nella mattina del 5 novembre 2014 rappresenta una delle calamità di maggior rilievo occorse in territorio toscano negli ultimi anni. Il crollo di un esteso segmento dell'arginatura del T. Carrione ha giocato un ruolo determinante nell'alluvionamento dell'area, permettendo alle acque di fluire al di fuori dell'alveo. Nel presente elaborato viene analizzata la configurazione meteorologica che ha determinato accumuli pluviometrici di grande rilievo concentrati in un breve lasso temporale, consentendo il netto e repentino innalzamento del livello idrometrico del T. Carrione. L'analisi delle caratteristiche geomorfologiche e geografiche, invece, ha permesso di delineare, nel dettaglio, l'assetto territoriale dell'area oggetto di studio, focalizzando l'attenzione sulle criticità esistenti e sui fattori predisponenti da considerare nella valutazione del rischio idraulico. Un'adeguata conoscenza delle peculiarità ambientali del territorio compreso all'interno del bacino idrografico del Carrione risulta, infatti, determinante nella programmazione di un corretto piano di interventi volto a realizzare una mitigazione del rischio idraulico.

Parole chiave - piogge intense, crollo argine, urbanizzazione, mitigazione rischio idraulico, Torrente Carrione, Marina di Carrara, Toscana, Italia

INTRODUZIONE

Nelle giornate del 4 e 5 novembre 2014 un esteso sistema perturbato interessò il settore tirrenico compreso tra Liguria di levante ed alta Toscana apportando rilevanti quantitativi di pioggia, tanto da indurre le autorità competenti a dichiarare lo stato di allerta a causa del potenziale pericolo per l'innalzamento di alcuni dei corsi d'acqua presenti, tra cui il F. Magra, il F. Versilia e il F. Serchio.

Nella notte del 5 novembre 2014 un sistema temporalesco di notevole portata colpì la Provincia di Massa Carrara, interessando in modo particolarmente intenso il bacino idrografico del Carrione. Eventi di simile portata non sono nuovi in territorio toscano e ligure, si pensi ad esempio all'evento pluviometrico che nel settembre del 2017 interessò la città di Livorno causando l'esondazione del T. Rio Maggiore (Rapetti, 2017), oppure alle intense precipitazioni che nell'ottobre del 2011 causarono molteplici esondazioni nei bacini dei F. Vara e F. Magra, a cavallo tra Liguria e Toscana, apportando ingenti danni (CFR Toscana, 2011; Consorzio LaMMA, 2011; Arpal, 2011; Sacchi, 2012; Marchi *et al.*, 2013). Comparabili all'evento analizzato risultano essere, inoltre, gli episodi meteorologici che hanno interessato il settore apuano, in special modo negli ultimi decenni, causando esondazioni e dissesti idrogeologici di varia entità. Tra questi si ricorda, ad esempio, l'eccezionale evento pluviometrico che nel giugno del 1996 interessò l'Alta Versilia (Rapetti & Rapetti, 1996), ed anche i più recenti episodi che, a distanza di pochi anni (settembre 2003 e novembre 2012), interessarono il bacino del Carrione (CFR Toscana, 2012; Consorzio LaMMA, 2012; Seminara & Colombini, 2016).

È bene precisare che, nell'evento del 5 novembre 2014, la rottura del tratto di argine in sponda destra, situato in prossimità del segmento finale del Carrione, risulta essere elemento scatenante di primaria importanza nell'analisi di tale evento. È altresì vero, però, che l'insieme dei fattori geomorfologici e ambientali predisponenti hanno giocato un ruolo importante, delineando le condizioni di contorno di una dinamica alluvionale di tale portata. Il presente studio si pone l'obiettivo

⁽¹⁾ Via M. Polo 32/a, 54033, Carrara (MS); E-mail: giovannicucurnia4@gmail.com

di realizzare una ricostruzione delle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato l'evento, nonché un'analisi dei vari fattori geografici e geomorfologici che hanno contribuito al verificarsi dell'evento di piena, la cui conseguenza più evidente si è manifestata con la rottura di un segmento dell'argine di protezione e con la successiva inondazione delle aree urbanizzate limitrofe.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio corrisponde sostanzialmente al bacino idrografico del Carrione (Fig. 1), situato nell'estremo nord-ovest della Regione Toscana, al confine con il territorio ligure, e collocato all'interno dei confini amministrativi del Comune di Carrara (Provincia di Massa Carrara).

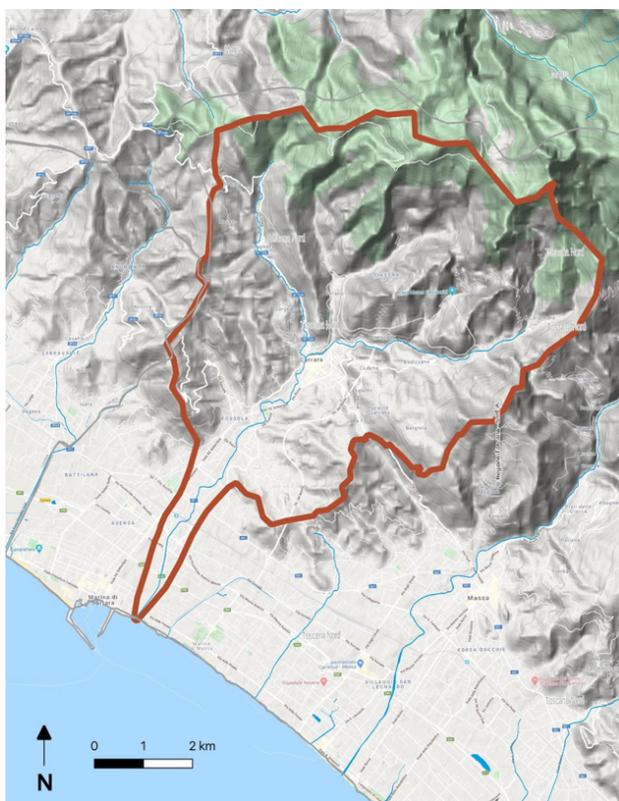


Figura 1. Il bacino idrografico del T. Carrione.

L'ambiente geografico si caratterizza per la presenza della catena delle Alpi Apuane, note per l'acclività e asprezza del rilievo nonché per la massiccia attività antropica estrattiva legata alla presenza di numerose cave di marmo. Il settore di pianura vede, invece, la presenza dei principali centri abitati dell'area: Carrara, Avenza e Marina di Carrara.

Il bacino idrografico del Carrione ha un'estensione areale di circa 46,6 km², la lunghezza del corso d'acqua è di circa 15,4 km e il regime delle portate liquide è marcatamente torrentizio. È possibile suddividere il bacino in due aree principali: l'alto bacino, il cui spartiacque è delimitato dalle vette del M. La Pizza (903 m), M. Ballerino (1393 m), M. Borla (1469 m), M. Spallone (1639 m), Cima delle Serre (1321 m) e M. Brugiana (973 m), che comprende i corsi d'acqua che trovano origine dalle Alpi Apuane ed è caratterizzato da una forte energia di rilievo, e la piana alluvionale situata in prossimità del settore costiero (Seminara, Colombini, 2016).

L'alto bacino del Carrione vede la presenza di due sottobacini principali: quello afferente al ramo di Torano e il cosiddetto Carrione di Colonnata. I due sottobacini confluiscono subito a monte della città di Carrara, originando l'asta principale del corso d'acqua. Nella piana alluvionale il Carrione ha subito nel tempo interventi antropici al fine di rettificare ed arginare il corso d'acqua, conferendo al torrente caratteristiche pensili (Seminara, Colombini, 2016). Il corso d'acqua, infine, si caratterizza per una portata massima alla foce di 306 mc/sec per un tempo di ritorno trentennale (Q30) e di 460 mc/sec per un tempo di ritorno di duecento anni (Q200) (Castelli *et al.*, 2016).

L'insieme delle caratteristiche geografiche, climatiche e geomorfologiche dell'area conferiscono al territorio un alto grado di pericolosità idraulica (Fig. 2).

L'EVENTO METEO-IDROLOGICO

Le peculiari caratteristiche geomorfologiche e la posizione geografica dell'area, esposta alle umide correnti provenienti dai quadranti sud-occidentali, rendono il territorio soggetto a ricevere elevate precipitazioni medie annue, con valori che, sui rilievi apuani, risultano spesso superiori ai 2500 mm annui. Più moderate, ma comunque notevoli, le piogge nelle aree di pianura, mediamente introno ai 1000-1500 mm annui. Non è raro, inoltre, che il territorio venga interessato da perturbazioni particolarmente intense cui sono associati violenti temporali capaci di scaricare notevoli quantità di pioggia in un breve lasso di tempo. Tali eventi si verificano perlopiù durante la stagione autunnale, quando il progressivo abbassamento del fronte polare favorisce lo scontro tra le correnti più fredde provenienti dall'Oceano Atlantico e le masse d'aria più calde presenti nel Mediterraneo, originatesi in seguito al rilascio progressivo del calore incamerato dal mare durante la stagione estiva, provocando così un contrasto termico particolarmente favorevole allo sviluppo di intensi sistemi temporaleschi.

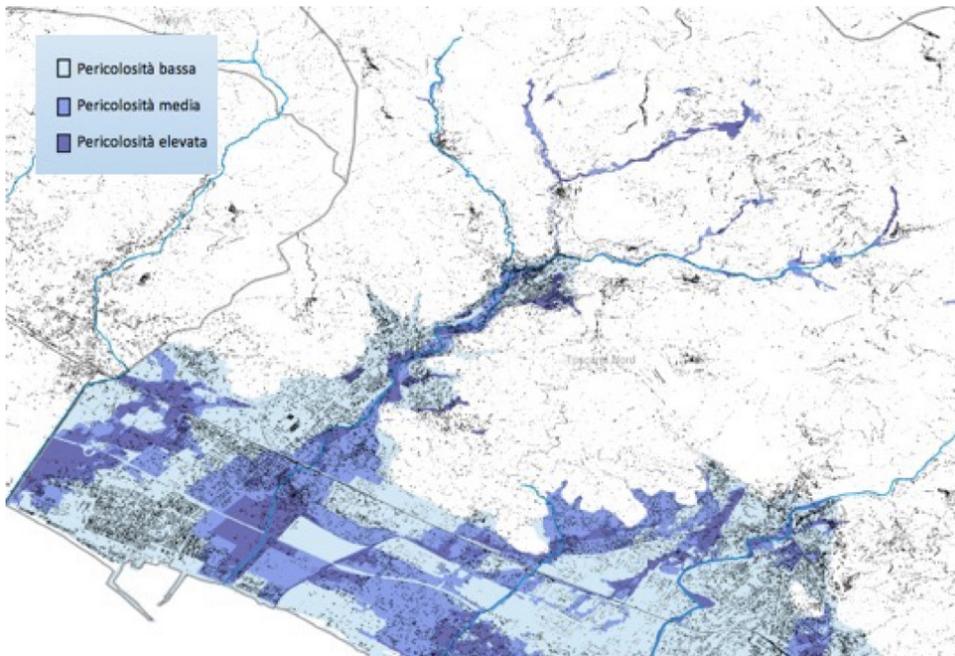


Figura 2. Pericolosità idraulica nel territorio carrarese. Elaborazione carta in ambiente GIS con dati WMS della Regione Toscana (GEOScopia - <https://www.regione.toscana.it/-/geoscopia>).

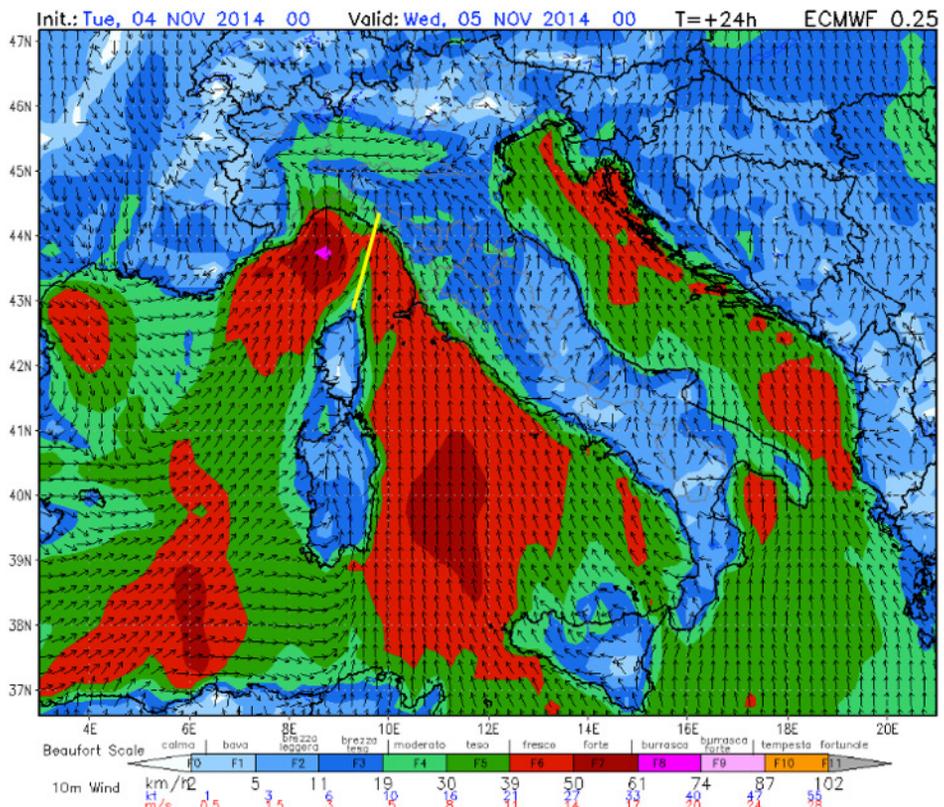


Figura 3. Venti a 10 m dal suolo - ECMWF, si noti la linea di convergenza (in giallo) tra flusso sudorientale e sudoccidentale (Consorzio LaMMA, 2014).



Figura 4. Inondazione del 5 novembre 2014. Nel cerchio si evidenzia il tratto di argine crollato, situato appena a valle del ponte di via Covetta (foto: Vigili del Fuoco).

E proprio la configurazione appena descritta, nelle prime ore del 5 novembre 2014, ha generato un imponente sistema temporalesco che per tutta la notte ha insistito sul territorio carrarese. In quella occasione una profonda saccatura atlantica si mosse in direzione del Mediterraneo con evoluzione piuttosto lenta, poiché tale movimento risultava ostacolato nel proprio percorso dalla presenza di un esteso sistema di alte pressioni sull'Europa orientale (valori superiori a 1025 hPa), il quale non permise alla saccatura di transitare rapidamente sul settore mediterraneo. La saccatura, inoltre, si caratterizzava per la presenza di un fronte freddo che si estendeva dalle coste nord africane fino alla regione scandinava. La presenza dell'anticiclone di blocco sull'Europa orientale, dunque, causò la stazionarietà del fronte freddo nella regione mediterranea per circa 36 ore (Consorzio LaMMA, 2014), permettendo la risalita di un flusso di correnti miti e molto umide provenienti dai quadranti meridionali, le quali si scontrarono con le correnti più fredde provenienti dall'Oceano Atlantico. Si formò, quindi, una convergenza tra il flusso sciroccale proveniente da sud-est e quello atlantico proveniente da sud-ovest (Fig. 3). In corrispondenza di tale convergenza tra masse d'aria con caratteristiche differenti si originò un sistema temporalesco stazionario ("V-shaped") e capace di autorigenerarsi grazie ai continui afflussi di umidità ed energia.

Nelle prime ore del 5 novembre 2014 (tra le 00:00 e le 06:00) nel territorio carrarese si registrarono cumulati compresi tra i 150 e 250 mm. I cumulati massimi nell'arco dell'intera giornata raggiunsero valori anche superiori a 300 mm (Consorzio LaMMA, 2014). Le

stazioni meteorologiche del CFR Toscana ubicate nel bacino del Carrione hanno registrato, per l'intera giornata del 5 novembre 2014, un valore medio di pioggia pari a 191 mm, con il cumulato maggiore pari a 275 mm registrato dalla stazione di Campocecina (960 m). Cumulati notevoli, considerando un arco temporale di 24 ore, sono stati registrati, inoltre, dalla stazione di Tendola (Fosdinovo, MS) con 271,6 mm, Carrara (MS) con 226,6 mm, e Vara (Carrara, MS) con 159,2 mm (CFR Toscana, 2014).

Per meglio comprendere la portata di tale accadimento, è utile considerare che l'evento ha avuto la sua massima intensità per la durata di 6 ore, facendo registrare valori di precipitazione all'interno del bacino del Carrione riconducibili a tempi di ritorno stimabili tra 200 e 500 anni (CFR Toscana, 2014).

Ulteriori dati pluviometrici relativi all'evento sono forniti dall'Associazione MeteoApuane, che gestisce una efficiente rete di stazioni meteo professionali capace di coprire e monitorare l'intera Provincia di Massa Carrara nonché parte della Provincia di Lucca e di La Spezia. Nel dettaglio, per quanto riguarda il 5 novembre 2014, si evince che la stazione di Marina di Carrara (Carrara, MS) ha registrato una precipitazione, nelle 24 ore, pari a 162,0 mm, mentre la vicina stazione di Avenza (Carrara, MS) ha fatto registrare 200,2 mm. Al confine con il territorio comunale di Carrara, la stazione meteorologica di Luni (SP) ha invece registrato un totale di 207,8 mm, mentre ben 257,00 mm sono caduti nel vicino Ortonovo (Luni, SP).

Di notevole interesse, inoltre, sono i dati forniti dal CFR Toscana e relativi ai livelli idrometrici raggiunti

dal Carrione agli idrometri di Carrara e Avenza. L'idrometro di Carrara, in funzione dal 2004, fece registrare il valore massimo storico di 3,24 m s.z.i. misurato alle ore 6:15 del 5 novembre 2014. Prossimo al valore massimo storico, relativo al periodo 2004-2014, fu anche il livello misurato dall'idrometro di Avenza (3,43 m s.z.i. alle ore 6:00 del 5 novembre 2014), ma in questo caso la rottura dell'argine in sponda destra, situato subito a valle della stazione idrometrica, ha impedito di rilevare il reale valore massimo di piena dell'evento (CFR Toscana, 2014).



Figura 5. Esondazione delle acque del T. Carrione a causa della rottura dell'argine destro (fonte: <https://iltirreno.gelocal.it/?edizione=regionale>).

L'INONDAZIONE DEL 5 NOVEMBRE 2014

Alle ore 5:40 del mattino del 5 novembre 2014, in concomitanza del transito dell'ondata di piena del Carrione, un tratto di circa 200 metri dell'argine artificiale in cemento, situato in sponda destra, ha ceduto in prossimità della frazione di Avenza provocando una repentina esondazione delle acque nella riva destra (Fig. 4). È bene evidenziare che il crollo, verificatosi appena a valle del ponte di via Covetta, rappresenta l'elemento che più contraddistingue l'evento alluvionale. L'inondazione, infatti, non ha avuto luogo in seguito al superamento della sommità degli argini da parte delle acque, bensì è stata la diretta conseguenza della rottura di un segmento del muro di contenimento delle acque. Nel dettaglio, la porzione superiore dell'argine, di più recente costruzione rispetto alla porzione sottostante, è stata completamente divelta e ribaltata dall'ondata di piena. Il varco apertosi ha quindi permesso la fuoriuscita delle acque dal letto fluviale, convogliando il flusso in direzione del territorio attiguo. Dopo aver inondato l'area industriale ubicata nelle adiacenze dell'argine (Fig. 5), l'acqua è rapidamente fluita verso l'abitato di Marina di Carrara, invadendo per intero l'area verde di Villa Ceci e, successivamente, le strade e le case della cosiddetta Marina Vecchia (Fig. 6), nucleo storico della cittadina marittima carrarese, ove il livello di acqua e fango ha raggiunto valori anche superiori al metro. In seguito, le acque esondate hanno proseguito il loro percorso dirigendosi in direzione nord-ovest, inondando i quartieri più recenti di Marina di Carrara. In questa area, però, i livelli di acqua hanno raggiunto valori notevolmente inferiori, quantificabili al massimo in qualche decina di centimetri. L'area più colpita e danneggiata dall'evento, dunque, è quella compresa nel perimetro delimitato da viale XX settembre a nord-ovest, dal Mar Ligure a sud-ovest, dall'argine in sponda destra a sud-est, e da via Covetta a nord-est (Fig. 7). Qui, infatti, l'acqua e il fango hanno stazionato per numerose ore, apportando gravi danni ad edifici, case ed automobili.



Figura 6. Marina Vecchia, piazza G. Menconi in data 5 novembre 2014 (fonte <https://www.intoscana.it/it/>).

ANALISI DEI FATTORI GEOMORFOLOGICI E GEOGRAFICI PREDISPONENTI

I notevoli cumuli di pioggia hanno giocato un ruolo cruciale nel provocare la rottura del tratto di argine, ed è bene precisare che l'evento meteorologico può essere classificato come fattore scatenante della disastrosa inondazione che ha interessato l'abitato di Marina di Carrara. Di seguito verranno invece analizzati i vari fattori geomorfologici e geografici predisponenti posti alla base dell'elevato rischio idraulico presente nel territorio relativo al bacino idrografico del Carrione. Il territorio considerato può essere suddiviso in due porzioni: il bacino superiore, o zona di alto bacino, corrispondente al settore montuoso e collinare, e bacino inferiore, o settore pianeggiante, ossia la zona afferente alla pianura alluvionale.

Bacino superiore

Di grande impatto, in questo settore, risulta l'aspra morfologia dei rilievi apuani, caratterizzati da elevatissima energia del rilievo (Fig. 8). In pochi chilometri,

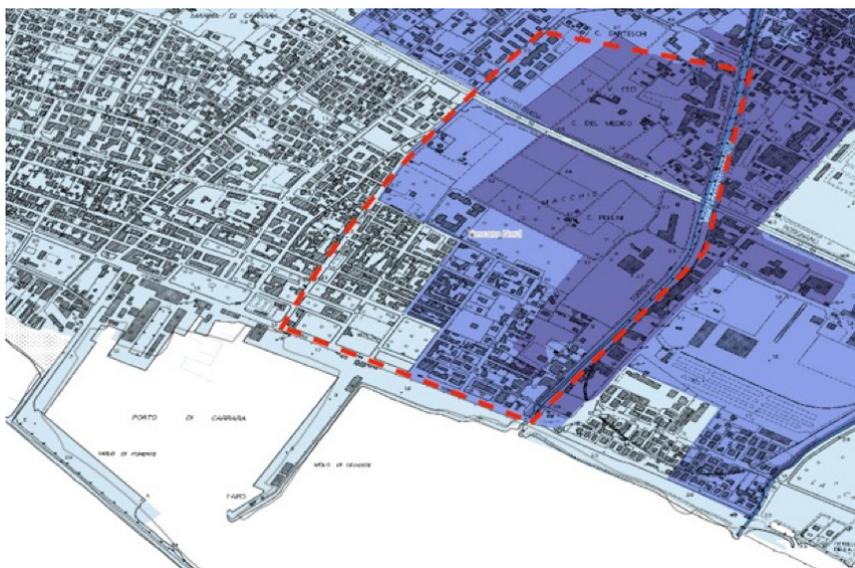


Figura 7. Perimetrazione dell'area maggiormente interessata dall'inondazione (fonte: elaborazione in ambiente GIS di dati WMS della Regione Toscana - GEO-Scopio - <https://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>).



Figura 8. Panoramica del territorio carrarese dal mare alle Alpi Apuane (fonte: <http://www.visitacarrara.it/home2338.html>).

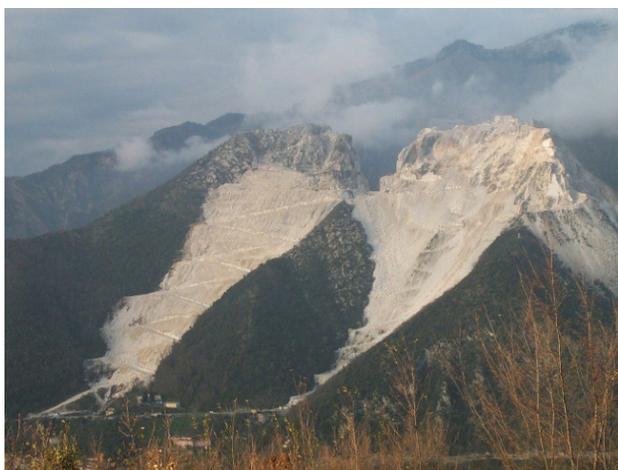


Figura 9. Ravanello di cava nel bacino estrattivo di Miseglia (Carrara, MS) (Centro GeoTecnologie dell'Università di Siena - neogeo.unisi.it/geopaesaggi/).

infatti, si passa da quote prossime al livello del mare ad altitudini vicine ai 2000 m s.l.m.

Oltre ad accentuare la piovosità, la morfologia del territorio apuano favorisce bassi tempi di corrvazione nonché il trasporto verso valle di detriti e sedimenti di dimensione eterogenea e capaci di apportare un aumento volumetrico nei valori di piena.

Altro fattore di notevole importanza è individuabile nell'attività antropica di estrazione di marmo, che si traduce nella massiccia presenza di numerose aree di cava, tanto da causare un vero e proprio sconvolgimento dell'originale ambiente naturale. La presenza di estesi bacini estrattivi e la conseguente sottrazione di suolo favoriscono la presenza di estese porzioni di versante pressoché nude o scarsamente vegetate. La mancata azione di assorbimento dovuta all'assenza di coperture vegetali e l'elevato grado di impermeabilità dei versanti provocano, dunque, un'ulteriore riduzione dei tempi di corrvazione. In stretta connessione all'attività di estrazione troviamo, inoltre, la presenza di numerosi ravaneti, ossia estesi cumuli di detriti di cava scaricati nei versanti (Fig. 9), la cui composizione è condizionata dall'estrazione di scaglie e blocchi di volumetria inferiore rispetto al passato provocando così la produzione di grandi quantità di materiale detritico di ridotte dimensioni e di terre (la cosiddetta "marmettola") che, in caso di piogge intense, possono essere facilmente trascinate via per azione delle acque di ruscellamento, e trasportate a valle. Al contrario, la produzione di materiale detritico di maggiori dimensioni e quanto più omogeneo possibile potrebbe in parte attenuare la produzione massiccia di detriti e terre fini facilmente erodibili, con una conseguente riduzione del carico solido di piena atteso.

Altro fattore predisponente è individuabile nelle infrastrutture viarie costruite per assicurare la connessione stradale tra le frazioni a monte del Comune di Carrara,

nonché per consentire il raggiungimento delle aree di cava agli addetti al settore. Sono numerosi, infatti, i casi in cui la sede stradale invade parte dello spazio che, in origine, costituiva l'alveo naturale dei corsi d'acqua. Il restringimento dell'alveo fluviale, in questo caso, comporta una netta riduzione della capacità di portata dei torrenti a monte, una maggior impermeabilizzazione del suolo ed una corrispettiva accelerazione del flusso d'acqua superficiale, con conseguente incremento dello stress a carico del reticolo idrografico.

Bacino inferiore

La rettificazione e arginatura dell'asta principale del Carrione, nel tratto compreso tra il centro storico di Carrara e la foce, costituisce un fattore di rilevante importanza. In primo luogo, la rettificazione dell'asta principale ha conferito al corso d'acqua un andamento rettilineo e più breve, favorendo un aumento della velocità media della corrente e una riduzione dei tempi di corrivazione. La costruzione di argini ha causato, inoltre, un netto restringimento dello spazio occupato dall'alveo fluviale causando un ulteriore aumento della velocità di transito delle acque di piena, nonché una diminuzione, rispetto al passato, del valore del volume di massima portata transitabile. In origine, infatti, l'andamento più sinuoso del corso d'acqua e l'assenza di barriere antropiche ai lati permettevano il transito di portate di maggior volumetria ed una minore velocità di deflusso delle acque. L'assenza di opere di contenimento, inoltre, avrebbe consentito la presenza di aree golenali che il corso d'acqua avrebbe potuto sfruttare per riversare le proprie acque in caso di piene di rilievo. Un minor grado di impermeabilizzazione del letto e delle sponde, in aggiunta, avrebbe favorito una maggiore presenza di terreno naturale in grado di apportare una migliore capacità di filtraggio delle acque di scorrimento, nonché un rallentamento del flusso. La costruzione di argini artificiali e il conseguente restringimento dell'alveo, inoltre, non permettono al torrente di riversare le proprie acque nel territorio adiacente nel corso degli eventi di piena, impedendo una naturale distribuzione dei sedimenti fluviali. Il materiale sedimentario proveniente dai rilievi e trasportato dal corso d'acqua, al contrario, è stato depositato, nel corso del tempo, sul fondo dell'alveo, provocandone un progressivo innalzamento. Tali elementi hanno quindi conferito al tratto terminale del Carrione caratteristiche pensili, incrementando ulteriormente il rischio idraulico associato, poiché la posizione sopraelevata del fondo fluviale conferisce al corso d'acqua una maggior energia potenziale (Fig. 10).

Ciò non costituirebbe un problema di rilievo nel caso in cui il territorio posto in prossimità del torrente fosse privo di infrastrutture. La piana alluvionale del Carrione ha visto, però, nel corso dell'ultimo secolo, una notevole crescita del grado di urbanizzazione, con



Figura 10. Caratteristiche pensili del T. Carrione nel tratto terminale.

conseguente ed ulteriore aumento del grado di impermeabilizzazione del territorio (Figg. 11a e 11b). Tutto il tratto terminale del Carrione, dal centro storico di Carrara fino al nucleo urbano di Marina di Carrara, è infatti affiancato da numerose costruzioni quali edifici residenziali e fabbricati destinati all'industria del comparto marmifero e portuale. L'insieme di tali costruzioni situate in aree ad elevata pericolosità idraulica, dunque, incrementa notevolmente la vulnerabilità del territorio, provocando un netto aumento del rischio idraulico. Altro elemento di rilievo è costituito dalla presenza di alcuni ponti la cui luce ed ingombro risultano inadeguati a ricevere una considerevole ondata di piena, riducendo notevolmente la sezione idraulica disponibile. Alcuni di questi elementi strutturali, però, dispongono di un elevato valore storico e culturale che merita di essere preservato. Nella programmazione di interventi di mitigazione del rischio idraulico, dunque, risulterebbe più opportuno agire prioritariamente sull'insieme degli elementi antropici e/o naturali privi di un qualunque valore culturale e paesaggistico. Ulteriori elementi di criticità, inoltre, sono rilevabili in prossimità della foce. In questo caso, infatti, l'urbanizzazione degli ultimi decenni ha causato un netto restringimento dello spazio destinato al riversamento delle acque nel mare, specie in seguito all'ampliamento del Porto di Carrara. In particolare, la costruzione del piazzale Città di Massa, inaugurato nel 2013, ha incrementato il rischio idraulico dell'area. Tale opera, infatti, costruita in mare subito dopo la foce del Carrione e a nord della stessa, costituisce un ulteriore impedimento al regolare deflusso delle acque. La posizione rialzata del piazzale nei confronti del territorio circostante, inoltre, può rivelarsi un autentico impedimento al deflusso delle acque esondate verso il mare, così come riscontrato nel corso dell'inondazione del 5 novembre 2014, quando un'estesa porzione del nucleo urbano di Marina di Carrara, corrispondente alla par-

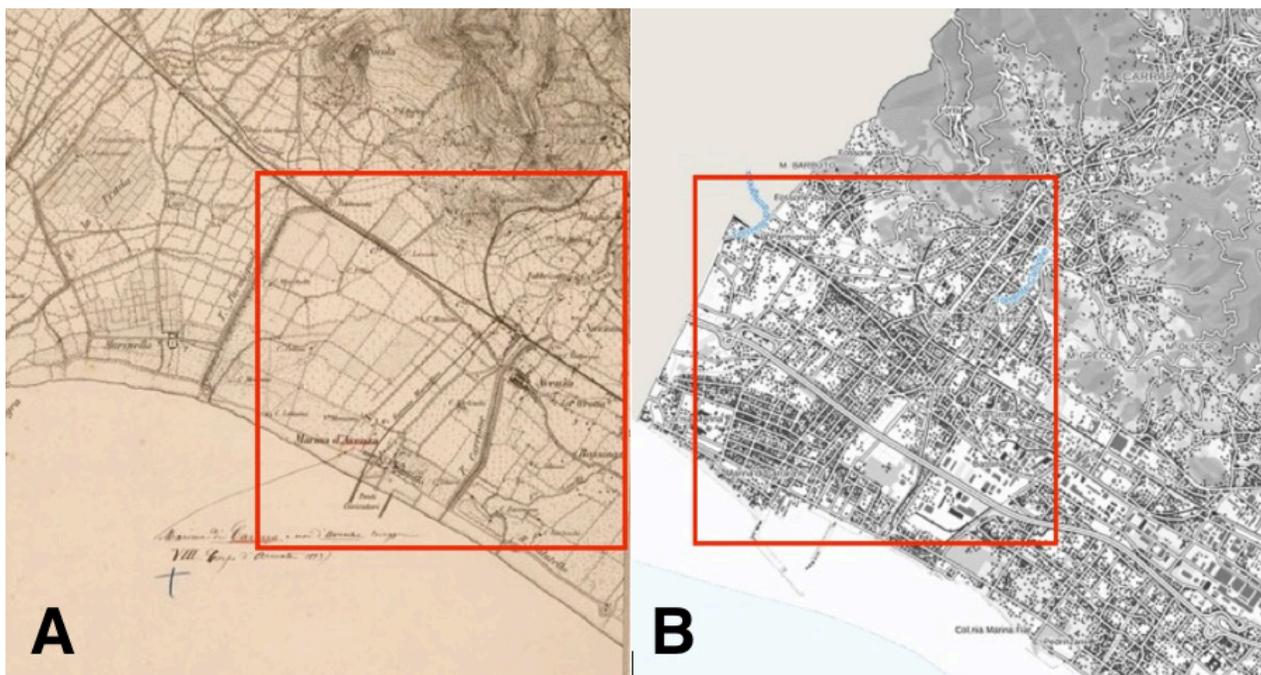


Figura 11. Tavoleta IGM, 1878 (a sinistra) e carta geografica, 2011, da WMS Regione Toscana (a destra) (fonte 11a: IGM; fonte 11b: GEOScopio - <https://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>).

te storica della stessa cittadina, rimase per molte ore sommersa da circa un metro di acqua e fango. Solo l'abbattimento di alcuni segmenti del muro contenitivo della struttura portuale permise alle acque di defluire lentamente verso il mare (Fig. 12). Un ulteriore elemento critico in prossimità della foce è costituito dalla presenza di due ponti, uno stradale ed uno ferroviario, causa di ulteriore ingombro e restringimento. Non è raro, inoltre, che in caso di venti di forte intensità di libeccio possa riscontrarsi un ulteriore ostacolo al regolare deflusso delle acque, imputabile, in questo caso, all'energica azione del moto ondoso. In aggiunta, la dinamica di deflusso idrico in prossimità della foce, non permette un'ottimale redistribuzione dei sedimenti fluviali nel mare favorendo l'insabbiamento della foce e della spiaggia antistante.

L'insieme di tali opere, dunque, contribuisce alla presenza di una situazione di assoluta precarietà nel tratto terminale del torrente, favorendo un temibile "effetto tappo" in prossimità della foce in caso di importanti ondate di piena (Fig. 13).

CONSIDERAZIONI FINALI

Alla luce della presente analisi è possibile affermare che l'evento alluvionale del 5 novembre 2014 sia il risultato della combinazione di numerosi fattori ambientali tra loro interconnessi e fortemente condizionati dall'impatto antropico, il cui culmine è individuabile

nel disastroso crollo che ha interessato l'argine nelle prime ore del mattino.

I fattori predisponenti, invece, si rifanno ad una serie di elementi naturali ed antropici, molto spesso tra loro combinati, che determinano un assetto territoriale suscettibile ad eventi di tipo alluvionale. Mentre non è possibile impedire o limitare l'entità di eventi meteorologici di estrema intensità, risulta, però, realistico attuare alcune opere di mitigazione del rischio idraulico ed ulteriori interventi mirati affinché sia possibile ridurre la vulnerabilità degli elementi territoriali esposti.

Di sicura utilità, ad esempio, potrebbe rivelarsi la programmazione di una migliore manutenzione dei versanti e dei ravaneti di cava, cercando di eliminare o quantomeno ridurre il più possibile la produzione di materiale fine. Anche la definizione di opere idrauliche, quali la progettazione di sistemi di soglie e/o briglie tesi a ridurre la pendenza dei corsi d'acqua situati a monte nonché l'apporto di materiale detritico destinato a valle, apporterebbe un beneficio alle dinamiche idrauliche esistenti. Potrebbe risultare utile, inoltre, effettuare una valutazione strategica relativa alla possibilità di realizzazione di invasi nel settore a monte, così da poter ottenere un rallentamento dei tempi di corrivazione ed una diminuzione dei valori di picco di portata. Un ulteriore intervento potrebbe riguardare la costante manutenzione e pulizia dell'alveo di magra presente nel tratto terminale del torrente, garantendo così un migliore deflusso in caso di piene di rilievo. Alcuni interventi strutturali



Figura 12. Marina di Carrara: il piazzale Città di Massa e le aperture realizzate per consentire il deflusso delle acque esondate (rielaborazione foto; fonte foto originale: Vigili del Fuoco).



Figura 13. La foce del Torrente Carrione (fonte: <https://iltirreno.gelocal.it/?edizioneregionale>).

di maggiore impatto, in aggiunta, potrebbero essere valutati e programmati per quanto riguarda la rimodulazione di ponti e altre infrastrutture di ingombro, allo scopo di ampliare e dare maggiore respiro alla sezione idraulica del torrente, spesso in sofferenza nelle dinamiche di deflusso delle acque verso mare in caso di piene di eccezionale portata.

Seppur di difficile attuazione, la riduzione della vulnerabilità territoriale potrebbe essere attuata attraverso la delocalizzazione di alcune attività produttive attualmente situate in area ad elevata pericolosità idraulica, impedendo, inoltre, la futura costruzione di ulteriori edifici e infrastrutture in tali aree, che dovrebbero essere accuratamente censite.

BIBLIOGRAFIA

- ARPAL, 2009. *Rapporto di evento meteoidrologico del 22-25 dicembre 2009*: 19. https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/publicazioni/rapporti_eventi/2009/REM_20091222-25.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- ARPAL, 2010. *Rapporto di evento meteoidrologico del 22-23 dicembre 2010*: 11. https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/publicazioni/rapporti_eventi/2010/REM_20101223.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- ARPAL, 2011. *Rapporto di evento meteoidrologico del 25 ottobre 2011*: 17. [https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/publicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111025_alluvione_spezzino_\(versione_19122011\).pdf](https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/publicazioni/rapporti_eventi/2011/REM_20111025_alluvione_spezzino_(versione_19122011).pdf) (ultimo accesso 17/10/2020)

- CASTELLI F., MAZZANTI B., CAPORALI E., CASTELLANI L., 1996. *Evento alluvionale del 19 giugno 1996 in Versilia-Garfagnana: aspetti meteorologici*. In: Falciari M., Preti F. (a cura di), *Atti del convegno "La difesa dalle alluvioni"* (4-5 novembre 1996): 201-215. Tecnoprint, Bologna.
- CFR TOSCANA, 2011. *Report evento meteo-idrologico del 25 ottobre 2011. Focus sul bacino toscano del Fiume Magra*: 35. https://www.cfr.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_24_26_ottobre_2011_lunigiana.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CFR TOSCANA, 2012. *Report eventi meteo-idrologici dei giorni 10, 11 e 12 novembre 2012, sull'evento alluvionale registrato nella Toscana Nord-Occidentale e nella Provincia di Grosseto*: 48. http://www.sir.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_alluvionale_10-11-12_novembre_2012.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CFR TOSCANA, 2014. *Report evento meteo-idrologico del 5 novembre 2014*: 17. https://www.cfr.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_5_novembre_2014.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CONSORZIO LAMMA, 2011. *Report meteorologico, 25 ottobre 2011*: 11. http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/evento_25102011.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CONSORZIO LAMMA, 2012a. *Report meteorologico, 10-11 novembre 2012*: 7. http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/evento_10112012.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CONSORZIO LAMMA, 2012b. *Report meteorologico, 27-28 novembre 2012*: 18. http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/evento_27112012.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- CONSORZIO LAMMA, 2014. *Report meteorologico, 4-5 novembre 2014*: 10. http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/evento_04112014.pdf (ultimo accesso 17/10/2020)
- D'AMATO AVANZI G., GIANNECCHINI 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.
- FACCINI F., GIOSTRELLA P., MELILLO M., SACCHINI A., SANTANGELO M., 2017. Heavy rains triggering flash floods in urban environment: a case from Chiavari (Genoa metropolitan area, Italy). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment* Special Issue 2017: 51-66.
- GIANNECCHINI R., D'AMATO AVANZI G., 2012. Historical research as a tool in estimating hydrogeological hazard in a typical small alpine-like area: The example of the Versilia River Basin (Apuan Alps, Italy). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 49: 32-43.
- MARCHI L., BONI G., CAVALLI M., COMITI F., CREMA S., LUCIA A., MARRA F., ZOCCATELLI D., 2013. *The flash flood of October 2011 in the Magra River Basin (Italy): rainstorm characterisation and flood response analysis*. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vol. 15, April 2013: 11125. European Geosciences Union, Munich, Germany.
- RAPETTI C., RAPETTI F., 1996. L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1996 in Alta Versilia (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 103: 143-159.
- RAPETTI F., 2018. L'alluvione di Livorno del 10 settembre 2017. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 125: 45-53.
- REGIONE TOSCANA, 2004. Bacino Toscana Nord, Progetto di Piano Assetto Idrogeologico. Piano degli interventi. Schede dei corsi d'acqua, fenomeni franosi e degli interventi relativi: 43-50.
- REGIONE TOSCANA, SETTORE ASSETTO IDROGEOLOGICO, 2016. Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio idraulico sul Bacino del Torrente Carrione: 21.
- RINALDI M., AMPONSAH W., BENVENUTI M., BORGA M., COMITI F., LUCIA A., MARCHI L., NARDI L., RIGHINI M., SURIAN N., 2016. An integrated approach for investigating geomorphic response to extreme events: methodological framework and application to the October 2011 flood in the Magra River catchment, Italy. *Earth Surface Processes and Landform* 41(6): 835-846.
- SACCHI JR. A., 2012. Analisi meteorologica degli eventi alluvionali eccezionali tra l'Alta Toscana e l'estremo Levante Ligure dal 2009 al 2011. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 117-119: 75-88.
- SEMINARA G., COLOMBINI M., 2016. *Studio idraulico del Torrente Carrione con analisi dei possibili interventi per la mitigazione del rischio*. Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale, Università di Genova, 160 pp.

(ms. pres. 15 maggio 2020; ult. bozze 15 dicembre 2020)

Edizioni ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa

info@edizioniets.com - www.edizioniets.com

Finito di stampare nel mese di dicembre 2020