



ATTI  
DELLA  
SOCIETÀ TOSCANA  
DI  
SCIENZE NATURALI

MEMORIE • SERIE A • VOLUME CXXV • ANNO 2018



Edizioni ETS



Con il contributo del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa



e della Fondazione Cassa di Risparmio di Lucca

## INDICE - CONTENTS

- D. MAURO, C. BIAGIONI, M. PASERO, F. ZACCARINI, *Crystal-chemistry of sulfates from Apuan Alps (Tuscany, Italy). II. Crystal structure and hydrogen bonding system of r merite, Fe<sup>2+</sup>Fe<sup>3+</sup><sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>14</sub>*.  
Cristallochimica dei solfati delle Alpi Apuane (Toscana, Italia). II. Struttura e legami a idrogeno della r merite, Fe<sup>2+</sup>Fe<sup>3+</sup><sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>14</sub>. pag. 5
- E.J. ANTHONY, *Sand and gravel supply from rivers to coasts: A review from a Mediterranean perspective*.  
L'apporto di sabbia e ghiaia dai fiumi alle coste: una review dal punto di vista del Mediterraneo. » 13
- L. JASELLI, A. COLLARETA, *Redescription and first illustration of the holotype of Astropecten montalionis (Meneghini, 1852) [Paxillosida: Astropectinidae]*.  
Ridescrizione e prima illustrazione dell'olotipo di *Astropecten montalionis* (Meneghini, 1852) [Paxillosida: Astropectinidae]. » 35
- F. RAPETTI, *L'alluvione di Livorno del 10 settembre 2017 (Toscana, Italia)*.  
Leghorn flood on September 10 2017 (Tuscany, Italy). » 45
- D. BERTONI, M. MENCARONI, *Four different coastal settings within the Northern Tuscany littoral cell: how did we get here?*  
Quattro diversi ambienti costieri all'interno della cella litoranea della Toscana settentrionale: come siamo arrivati a questo punto? » 55
- D. PIERUCCIONI, S. VEZZONI, M. PETRELLI, *A petrographic and U-Pb geochronological approach to the reconstruction of the pre-Alpine history of Alpi Apuane (Tuscany)*.  
Un approccio petrografico e geocronologico U-Pb per la ricostruzione della storia pre-Alpina delle Alpi Apuane (Toscana). » 69
- A. GATTI, P. MARIANELLI, D. ANDRONICO, A. SBRANA, *The December 2015 paroxysms at Mt. Etna: insights from mineral chemistry and glasses*.  
L'eruzione parossistica dell'Etna del dicembre 2015: indicazioni sul comportamento del sistema di alimentazione dallo studio di minerali e vetri. » 81
- P. R. FEDERICI, S. MERLINO, R. GRIFONI, *In memoria di Aldo Giacomo Segre (1918-2018)*.  
In Memoriam Aldo Giacomo Segre (1918-2018). » 93
- Processi Verbali - <http://www.stsn.it>. » 101



FRANCO RAPETTI <sup>(1)</sup>

## L'ALLUVIONE DI LIVORNO DEL 10 SETTEMBRE 2017 (TOSCANA, ITALIA)

**Riassunto** - F. RAPETTI, *L'alluvione di Livorno del 10 settembre 2017 (Toscana, Italia)*.

La pericolosità pluviometrica di Livorno, in confronto a quella dei settori costieri a Nord dell'Arno, è di grado non elevato, tuttavia la città può essere interessata da consistenti piogge di breve durata, come indicano i massimi valori raccolti dal 1933 al 2017 negli intervalli di campionamento di 1, 3, 6, 12 e 24 ore: 91,2 mm/1h (1993), 138,4 mm/3h (1970), 151,8 mm/6h (1964), 158,4 mm/12h (2017), 195,8 mm/24h (1970). Le precipitazioni di forte intensità che cadono sulla città e nel suo stretto intorno sono pressoché ininfluenti sulla portata dei torrenti che scendono dai Monti Livornesi, mentre il rischio idraulico è legato alle piogge che affluiscono su questo complesso collinare, che si innalza a breve distanza dalla città. L'effetto orografico è generalmente non elevato, anche se quadri sinottici eccezionali possono dare luogo a incrementi esponenziali delle piogge tra l'area costiera e il rilievo. L'evento alluvionale che ha colpito la città di Livorno tra il 9 e il 10 settembre 2017 si è verificato al termine di una fase prolungata di siccità, che aveva disseccato i versanti del sistema collinare. Le piogge misurate nella stazione di Valle Benedetta, posta a 300 m l.m.m. nel settore centrale dei Monti Livornesi, tra il 9 e il 10 settembre 2017, hanno raggiunto intensità estremamente elevate: 38,8 mm/15min, 120,8 mm/1h e 235,0 mm/3h, ben superiori alla velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo. Tali afflussi hanno determinato un intenso deflusso superficiale, che a valle ha dato luogo a onde di piena che hanno travolto Livorno, con la perdita di vite umane e gravi danni al patrimonio urbano e alle attività commerciali. I tempi di corruzione dei torrenti che scendono dai Monti Livornesi sono stimati di 2-3 ore, insufficienti per consentire l'attivazione degli allarmi e la messa in sicurezza delle popolazioni. La mitigazione del rischio pluviometrico e idraulico a Livorno deve perciò essere affidata al potenziamento delle opere idrauliche già esistenti e alla costante manutenzione degli alvei e degli argini della rete fluviale.

**Parole chiave** - Piogge di forte intensità, Effetto orografico, Tempi corruzione, Alluvione Livorno, Toscana, Italia.

**Abstract** - F. RAPETTI, *Leghorn flood on September 10 2017 (Tuscany, Italy)*.

Leghorn pluviometric dangers, compared to the seaside areas North of the Arno River, are not of a high degree; however, the town may be affected by heavy rainfalls, as shown by yearly records from 1933 to 2017 in sampling times of 1, 3, 6, 12 and 24 hours: 91.2 mm/1h (1993), 138.4 mm/3h (1970), 151.8 mm/6h (1964), 158.4 mm/12h (2017), 195.8 mm/24h (1970). Heavy rainfalls in the town and neighbouring area are of almost no consequence on the flow of the streams coming down from Leghorn Mountains, while the hydraulic risk is strictly connected with the rainfalls on this very hilly region, which stands quite close to the town. The orographic effect is usually not strong, although extraordinary synoptic frames might produce a relevant increase of

the rainfall between the seaside and the mountains. The flood that hit the town of Leghorn on September 10 2017 took place after a long time of drought. Between September 9 and 10 2017, the rain fallen in Valle Benedetta, situated at 300 m above a.s.l., in the central area of Leghorn Mountains, reached a very high intensity: 38.8 mm/15min, 120.8 mm/1h and 235.0 mm/3h, which is much above the possibility of water infiltration into the soil. Consequently, a massive run-off occurred, producing flood waves that affected the town of Leghorn downstream, and caused the loss of human lives as well as heavy damages to buildings and commercial activities. The time of concentration of the streams that flow from Leghorn Mountains is from 2 to 3 hours, not enough to allow activating alert procedures and to ensure the safety of the people. Therefore it appears that the only way to mitigate the pluviometric and hydraulic risk for the town rests on the enhancement of already existing water regulation schemes as well as on the careful maintenance of the beds and banks of the rivers.

**Key words** - Heavy rain, Orographic effect, Time of concentration, Leghorn flood, Tuscany, Italy.

### 1. PREMESSA

La pericolosità pluviometrica della fascia costiera di Livorno e del suo entroterra non è generalmente di grado elevato, se confrontata a quella dei non lontani settori costieri apuani (Rapetti & Rapetti, 1996). La città labronica può essere tuttavia interessata da eventi pluviometrici di forte intensità, come dimostrano i massimi valori delle piogge intense di breve durata dal 1933, anno di inizio di queste rilevazioni: 91,2 mm/1h (1993), 138,4 mm/3h (1970), 151,8 mm/6h (1964), 158,4 mm/12h (2017), 195,8 mm/24h (1970) (Ufficio Idrografico dell'Arno, Annali Idrologici). Le curve di "possibilità pluviometrica" prevedono del resto, per tempi di ritorno ( $T_r$ )<sup>1</sup> di 100 anni, valori non dissimili da quelli misurati negli ultimi 85 anni: 98 mm/1h e di 253

<sup>1</sup> Il tempo di ritorno ( $T_r$ ) si ricava da espressioni del tipo  $b = a \cdot t^n$ , dove  $b$  indica la quantità di pioggia attesa (mm) e  $t$  la durata della pioggia (ore);  $a$  ed  $n$  sono parametri caratteristici di ciascuna stazione pluviometrica. La validità statistica della relazione deve soddisfare la condizione che  $T_r > n$  ( $n$  = numerosità del campione). I cataloghi italiani delle piogge intense di breve durata non hanno generalmente durate superiori ad alcuni decenni: ne deriva l'opportunità di considerare i valori attesi con la dovuta prudenza.

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via Santa Maria 53, 56126 Pisa, Italy. *Corresponding author e-mail:* rapettifranco42@gmail.com

Tabella 1 - Piogge intense di breve durata a Livorno dal 1933 al 2017, in confronto ai valori attesi per tempi di ritorno di 50 e di 100 anni (fonte: Servizio Idrologico Regionale della Toscana, 2012)

valori	periodi	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
valori misurati	1933-2017 data	91,2 1993	138,4 1970	151,8 1964	158,4 2017	195,8 1970
valori attesi	50 anni 100 anni	86,8 98,0	117,4 136,0	142,6 167,0	171,9 206,0	208,0 253,0

il Rio Maggiore, a meno di 2 km dalla cima di P.gio Lecceta (462 m l.m.m.) e a circa 9 km dalla stazione di Livorno Mareografo (Porto Mediceo), nel 2001 è stata istituita, a cura del Servizio Idrologico Regionale, un punto di rilevamento presso la frazione di Valle Benedetta (300 m l.m.m.) (Fig. 1). I dati qui raccolti possono essere considerati, almeno in prima approssimazione, rappresentativi delle piogge che cadono nel versante marino del complesso collinare a ridosso del centro urbano, e sono perciò essenziali per comprendere il formarsi delle piene fluviali che interessano la città labronica.

L'elaborazione dei valori mensili e annui delle piogge misurate presso le stazioni di Livorno Mareografo e di Valle Benedetta, ammessa a questa scansione temporale un loro incremento lineare con l'altitudine (Cavazza, 1985), consente la stima degli afflussi a tutte le quote del versante occidentale del rilievo. Le piogge annue misurate nella stazione di Valle Benedetta, dal 2001 al 2017, hanno superato quelle di Livorno Mareografo dell'11%, mentre l'incremento fino al crinale del sistema collinare è stimato del 15% (Tab. 2, Fig. 2).

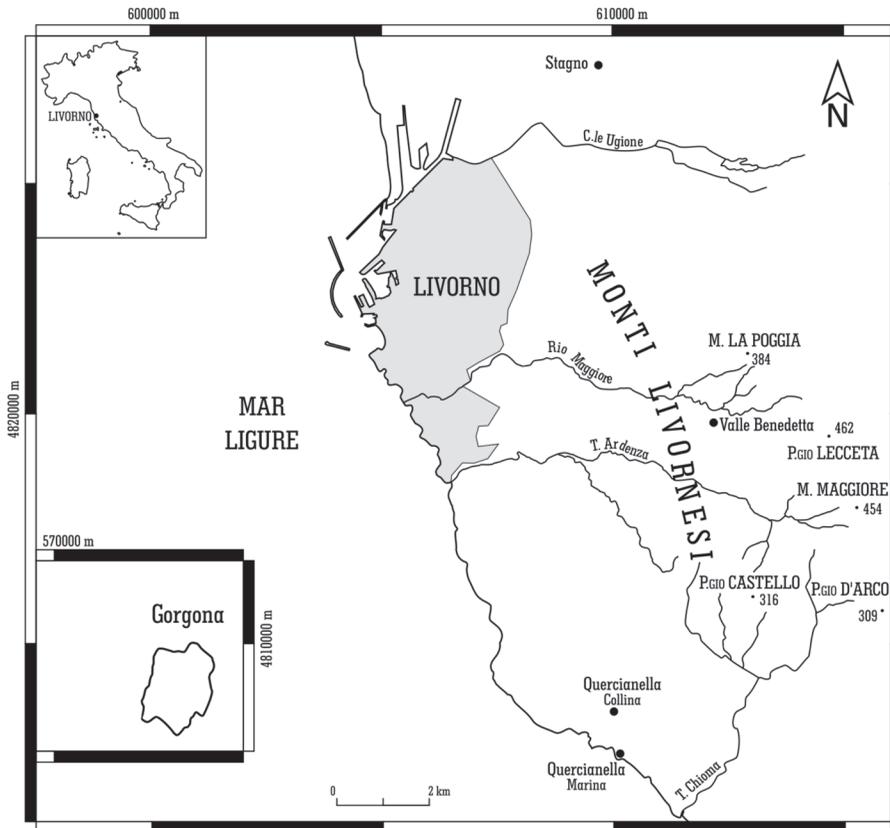


Fig. 1 - Inquadramento geografico del tratto costiero di Livorno e dei Monti Livornesi.

mm/24h (Tab. 1).

## 2. LA PIOGGIA SUI VERSANTI OCCIDENTALI DEI MONTI LIVORNESI

Le piogge che cadono nella città di Livorno e nel suo stretto intorno contribuiscono in parte trascurabile al formarsi dei deflussi dei torrenti che scendono in direzione del centro urbano, mentre, per il formarsi delle piene, sono determinanti le piogge che cadono nei Monti Livornesi, poiché durante sia pur rare circostanze il gradiente pluviometrico verticale (mm/100 m) può avere andamenti quasi esponenziali<sup>2</sup>. Nella parte centrale dei Monti Livornesi, lungo

## 3. L'ALLUVIONE DI LIVORNO DEL 9-10 SETTEMBRE 2017

### 3.1. Condizioni di aridità del suolo precedenti l'alluvione del 10 settembre

Alla fine della prima decade di settembre del 2017 la

Livorno Mareografo – Valle Benedetta – spartiacque dei Monti Livornesi non consente di definire la legge di variazione delle piogge intense di breve durata con l'altitudine con il necessario rigore statistico. È perciò auspicabile, per una stima più attendibile delle piogge che investono il sistema collinare, che la rete pluviometrica dei Monti Livornesi venga opportunamente implementata, in modo tale da rendere più rapidi ed efficaci i sistemi di allerta pluviometrica e idraulica.

<sup>2</sup> L'assenza di altre stazioni pluviometriche lungo l'allineamento

Tabella 2 - Piogge misurate (mm) presso le stazioni di Livorno Mareografo (1) e di Valle Benedetta (2); valori stimati alle quote più elevate dei Monti Livornesi (3) (2001-2017).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
(1)	87,6	85,1	69,1	55,2	54,4	27,7	26,1	28,1	95,8	105,4	141,5	87,8	863,8
(2)	93,3	88,5	79,6	64,5	68,7	33,8	29,9	31,8	120,4	107,6	145,8	97,7	961,5
(3)	96,4	90,3	85,3	69,5	76,4	37,1	35,8	33,8	133,7	108,8	148,1	103,1	996,3

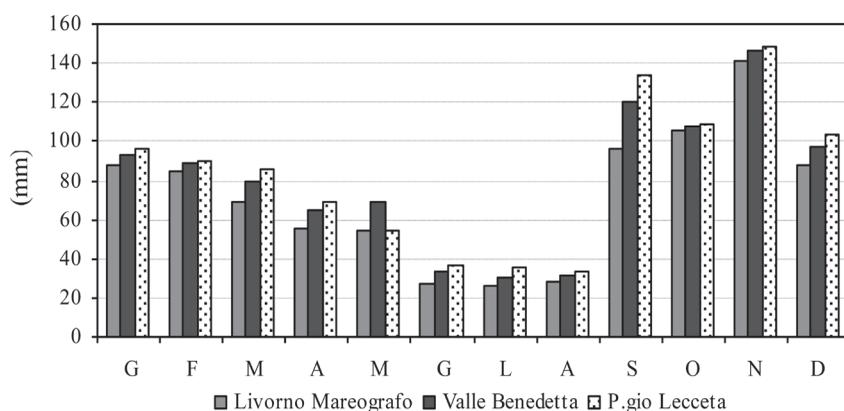


Fig. 2 - Regime mensile delle piogge nelle stazioni di Livorno Mareografo e di Valle Benedetta. Le piogge di P.gio Lecceta sono stimate (2001-2017).

fascia costiera livornese è stata interessata dalla prima intensa perturbazione di fine estate, accompagnata da piogge di fortissima intensità. Le alte temperature e la scarsità delle piogge dei mesi precedenti avevano determinato una intensa aridità meteorologica: il fenomeno era iniziato in marzo e si era protratto fino ad agosto, quando il deficit idrico aveva raggiunto 135 mm a Livorno, 142 mm a Quercianella e 140 mm a Valle Benedetta, valori da considerarsi prossimi al completo disseccamento degli primi orizzonti del suolo (Thornthwaite & Mather, 1957). Tale condizione di aridità avrebbe consentito il completo assorbimento delle prime deboli piogge autunnali, mentre l'eccezionale evento pluviometrico del 9-10 settembre aveva determinato, nel breve intervallo di poche ore, la completa saturazione della superficie del suolo, cui era seguito un intenso ruscellamento superficiale (Fig. 3)<sup>3</sup>.

### 3.2. Ventosità durante l'evento alluvionale del 9-10 settembre 2017

I versanti montuosi investiti da piogge accompagnate

da forti venti intercettano, in relazione alla loro inclinazione e orientamento cardinale, afflussi difforni da quelli misurati con i normali pluviometri a bocca orizzontale<sup>4</sup>. I dati anemometrici disponibili durante l'evento pluviometrico sono quelli di Bocca d'Arno, Collesalveti, Quercianella (stazione collinare) e Livorno. A Bocca d'Arno, dove nella prima mattina del 9 settembre si sono manifestate le prime deboli piogge, il vento, dalle 00:00 alle ore 08:45, proveniva da SE, per disporsi repentinamente nelle direzioni del III e IV quadrante fino alle 14:45; nelle ore successive, e per tutto il periodo delle piogge più intense, la direzione è stata dal II quadrante, con velocità massime fino a 21,5 m/s (ore 20:00 del 9 settembre), andamento non dissimile da quello registrato presso la stazione collinare di Quercianella, dove alle ore 19:45 del 9 settembre l'intensità è stata di 22,1 m/s. Rispetto alla direzione, l'andamento del vento nella stazione di Livorno è pressoché sovrapponibile a quello di Bocca d'Arno, mentre le velocità massime raggiunte, tra le 19:45 e le 20:00 del 9 settembre, sono di poco inferiori (Fig. 4). Tali dinamiche denotano lo spostamento nel tempo del centro

<sup>3</sup> L'evapotraspirazione potenziale (EP), il surplus (S) e il deficit (D) sono stati calcolati con il sistema di Thornthwaite e Mather (1957). La saturazione del suolo corrisponde alla massima quantità di acqua che può essere contenuta nel suolo, dalla superficie alla massima profondità degli apparati radicali ("piena capacità di campo"). Considerata la natura dei suoli e la vegetazione dei Monti Livornesi, si stima il valore di saturazione di 150 mm (suolo di prevalente granulometria argillo-siltosa e apparati radicali di modesta profondità).

<sup>4</sup> Le misure della pioggia raccolte nelle aree acclivi in presenza di vento possono divergere in modo significativo dalle altezze pluviometriche intercettate dai versanti. Tali differenze, che sono funzione della inclinazione e della direzione cardinale dei versanti e delle gocce di pioggia che cadono al suolo, possono essere misurate con pluviometri direzionali, oppure, ove si disponga di un modello digitale del terreno, stimate con opportune relazioni trigonometriche (Rapetti, Vittorini, 1972).

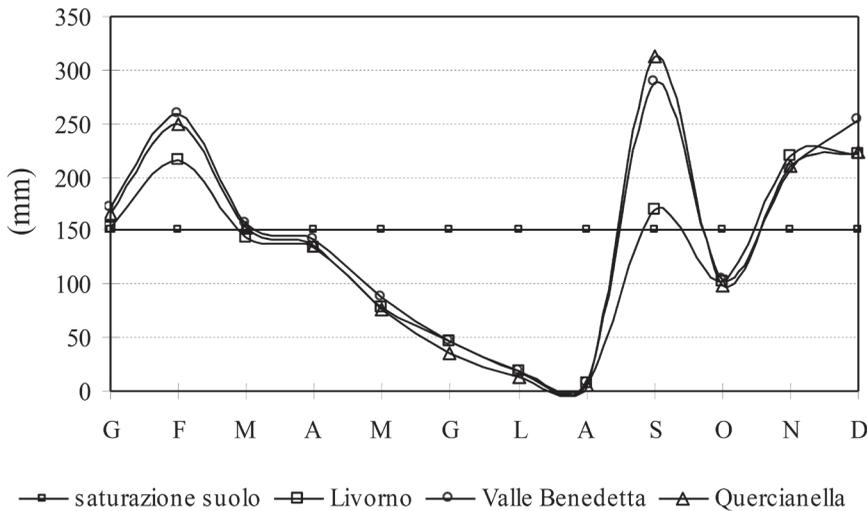


Fig. 3 - Anno 2017: regime mensile del contenuto idrico del suolo a Livorno, Valle Benedetto e Quercianella<sup>5</sup>.

d'azione della bassa pressione, mentre le piogge più intense sono state accompagnate in prevalenza dai venti che spiravano dai quadranti orientali.

Si stima che questi andamenti, considerati gli angoli di inclinazione e le direzioni cardinali della pioggia e dei versanti, non avrebbero determinato significativi maggiori afflussi sui versanti occidentali dei Monti Livornesi rispetto a quelli misurati dal pluviografo a bocca orizzontale; le misure pluviometriche rilevate a Valle Benedetto possono pertanto essere considerate ben rappresentative della pioggia che ha determinato l'evento di piena del 10 settembre.

### 3.3. Piogge del 9-10 settembre 2017

Nelle prime ore della mattina del 9 settembre 2017, nel tratto di mare antistante la costa pisano-livornese, una perturbazione di forte intensità di tipo "V-Shaped" (Irsic Zibert *et al.*, 2010; Bedka *et al.*, 2011) proveniente dal Golfo del Leone ha dato le prime avvisaglie tra le ore 06:00 e le 6:15, con le deboli piogge a Bocca d'Arno (LaMMA Meteo: Report meteorologico 9-10 settembre 2017; Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile della Regione Toscana: Settore Protezione Civile e Riduzione del Rischio Alluvioni, 2017). Dopo un breve intervallo senza pioggia, gli afflussi hanno ripreso intorno alle ore 08:30, con 14,8 mm nella stazione di Livorno Mareografo e di 6,2 mm a Quercianella (stazione marina). Le prime piogge di forte intensità hanno iniziato a cadere a Livorno Mareografo e a Stagno tra le 19:45 e le 21:00 del 9 settembre, con afflussi cumulati rispettivamente di 67,0 mm e 72,6 mm. Nei Monti Livornesi l'acme pluviometrico si è tuttavia prodotto a Valle Benedetto tra le ore 01:30 e le ore 04:00 del 10 settembre, con l'afflusso record in quell'intervallo temporale di 232,6 mm, mentre nella stazione marina di Quercianella, posta al limite meridionale del sistema

collinare, tra le ore 1:45 e le 04:30 del 10 settembre, le piogge sono state di 206,2 mm. Nelle ore successive la perturbazione subisce un'attenuazione, anche se l'11 settembre si verifica una consistente ripresa delle piogge con 30,6 mm a Livorno Mareografo, 26,2 mm a Valle Benedetto e 27,6 mm a Quercianella (stazione marina) (Centro Funzionale della Regione Toscana - Report evento meteo-idrologico dei giorni 9 e 10 settembre 2017): 1-13 (Fig. 5).

Le piogge più elevate, negli intervalli di campionamento di 15 e di 60 minuti, si sono verificate a Quercianella (stazione marina), mentre alla stazione di Valle Benedetto spettano i record negli intervalli di 3, 6, 12, 24 ore. A Livorno Mareografo, che bene rappresenta la quantità di pioggia caduta sulla città, si sono verificati gli afflussi più bassi dell'intera area interessata dall'evento (Tab. 3).

Il confronto tra le piogge cumulate del 9 e 10 settembre 2017 nelle stazioni di Livorno Mareografo e di Valle Benedetto descrive i tempi e le intensità pluviometriche che hanno interessato l'area costiera e i versanti dei Monti Livornesi. Sono evidenti le diverse caratteristiche dell'afflusso: a Livorno Mareografo si alternano brevi fasi di afflussi intensi a periodi di stasi, mentre a Valle Benedetto, nel breve intervallo tra le ore 01:30 e le 04:00 del 10 settembre, l'intensità pluviometrica si mantiene sempre estremamente elevata (Fig. 6).

### 3.4. L'alluvione di Livorno del 10 settembre 2017

Le piogge di breve durata e di bassa intensità che affluiscono su suoli aridi e con copertura boscosa possono non restituire alcun deflusso superficiale, sia per i fenomeni di intercettazione della vegetazione (Rapetti, 1997; Gabellini & Viciani, 2014), sia per l'assorbimento dell'acqua da parte degli orizzonti superficiali del suo-

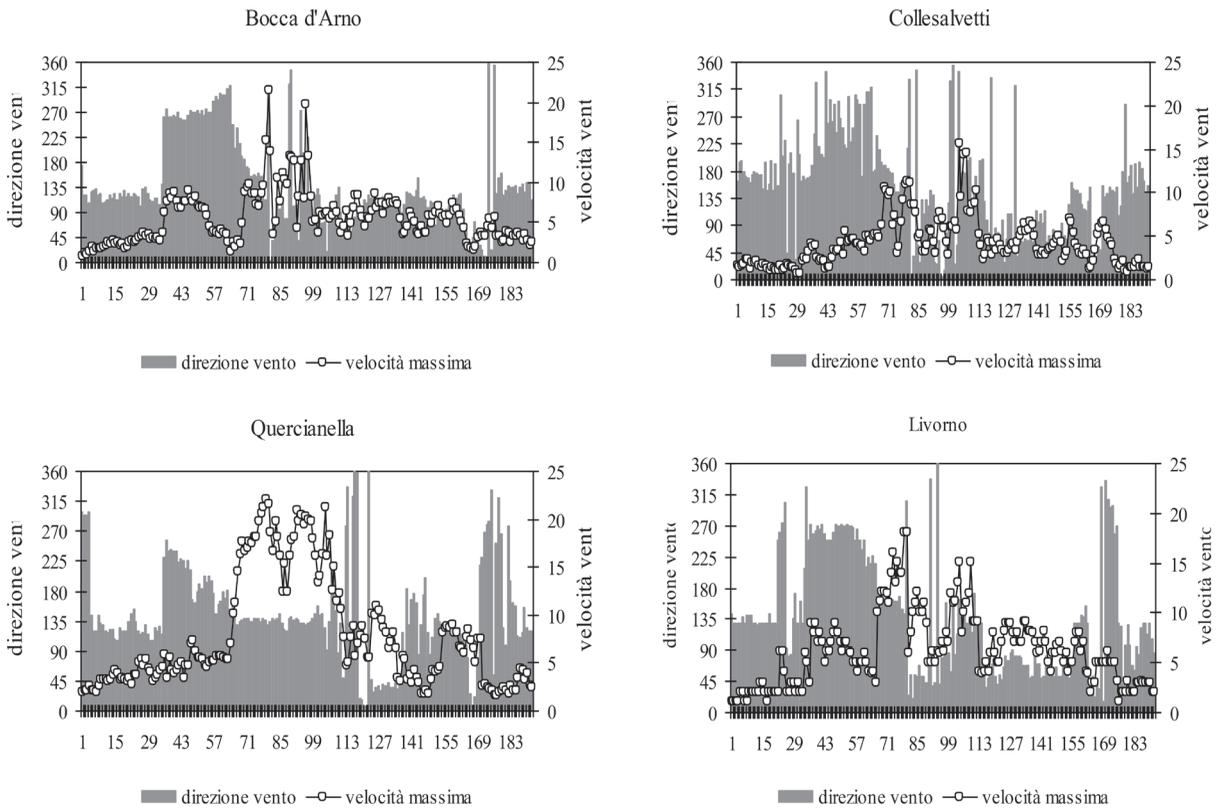


Fig. 4 - Direzione (gradi sessagesimali) e velocità del vento (valori massimi in m/s) nelle stazioni di Bocca d'Arno, Collesalveti, Quercianella (stazione collinare) e Livorno. Nelle ascisse sono indicati con numerazione progressiva gli intervalli di campionamento di quindici minuti, delle ore 00:00 del 9 settembre alle ore 24:00 del 10 settembre 2017 (i dati pluviometrici di Bocca d'Arno, Collesalveti, Quercianella sono stati forniti dal Centro Idrologico della Regione Toscana; i dati anemometrici di Livorno (30 m l.m.m.; Lat. 43° 32' 49" N, Long. 10° 18' 16") dal Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo Sviluppo Sostenibile - Consorzio LaMMA).

lo<sup>5</sup>. L'elevatissima intensità della pioggia delle prime ore del 10 settembre 2017, nettamente superiore alla velocità di infiltrazione nei versanti dei Monti Livornesi<sup>6</sup>, ha invece determinato un accumulo di acqua sulle superfici acclivi del complesso collinare, che si è trasformato in un intenso e rapido deflusso fino ai talweg dei reticoli fluviali. I colmi di piena che si sono prodotti durante questo evento non possono essere confrontati con i fenomeni accaduti in passato, poiché l'intera rete fluviale dei Monti Livornesi è sprovvista di stazioni di misura dei livelli idrometrici. La ricostru-

zione delle fasi dell'alluvione può perciò basarsi solo su alcuni elementi indiretti, quali la distribuzione temporale delle piogge nella stazione di Valle Benedetta, le "tracce di piena"<sup>7</sup>, le testimonianze degli abitanti dei luoghi interessati dal fenomeno e le ricostruzioni fatte dagli Enti preposti e da osservatori qualificati<sup>8</sup>.

### 3.5. Onda di piena nel Rio Maggiore

L'onda di piena che si prodotta nel Rio Maggiore presenta il massimo interesse poiché, giunta alle porte di Livorno, ha provocato gravissimi danni alle strutture materiali e la perdita di vite umane. In assenza di misure che avrebbero segnalato sia i valori idrometrici raggiunti, sia i tempi di arrivo del colmo di piena alla periferia della città labronica, qualche indicazione può essere tratta dalla distribuzione delle piogge nella stazione di

<sup>5</sup> La frazione della pioggia che arriva al suolo, dopo aver subito i fenomeni di intercettazione da parte della vegetazione, ne bagna la superficie ed inizia l'infiltrazione. La velocità del movimento dell'acqua nel suolo è funzione complessa della "conducibilità idraulica" e della capacità di ritenzione per volume di suolo, grandezze dipendenti essenzialmente dalle caratteristiche granulometriche e chimico-fisiche del mezzo poroso.

<sup>6</sup> Per il formarsi del deflusso è necessario che la superficie del suolo sia satura, ovvero che l'intensità della pioggia sia maggiore della velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno.

<sup>7</sup> Non risulta allo scrivente che siano state rilevate le tracce di piena.

<sup>8</sup> Alcune informazioni che compaiono in questo paragrafo traggono spunto dalla nota di Aldo Piombino dell'11 settembre 2017 (aldopiombino.blogspot.it.).

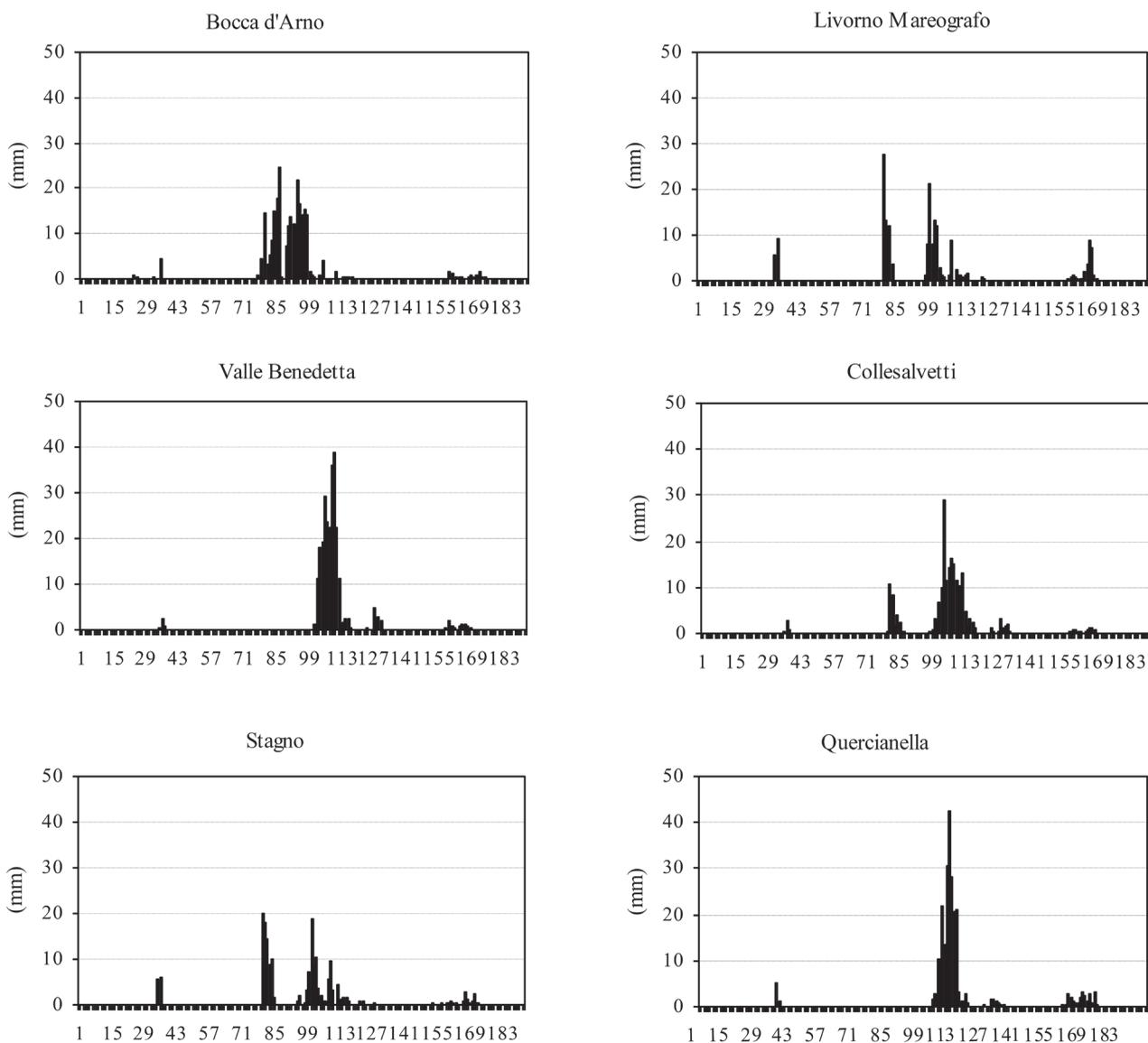


Fig. 5 - Distribuzione temporale delle piogge tra la foce dell'Arno e Quercianella (stazione marina). Nelle ascisse sono indicati con numerazione progressiva gli intervalli di campionamento di quindici minuti, delle ore 00:00 del 9 settembre alle ore 24:00 del 10 settembre 2017; nelle ordinate gli afflussi idro-meteorici (mm).

Tabella 3 - Piogge registrate nell'area di Livorno tra il 9 e il 10 settembre 2017 (fonte: Servizio Idrologico Regionale della Toscana).

Stazioni	15min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Collesalvetti	29,0	71,4	153,2	167,4	198,8	210,2
ora/(giorno)	02:00 (10)	01:45 (10)	01:15 (10)	00:15 (10)	20:00 (09)	19:45 (09)
Livorno Mar.	27,8	63,4	79,2	131,6	158,4	186,8
ora/(giorno)	20:00 (09)	19:45 (09)	00:15 (10)	19:45 (09)	19:45 (09)	19:45 (09)
Valle Benedetta	38,8	120,8	<b>235,0</b>	<b>242,8</b>	<b>256,2</b>	<b>266,6</b>
ora/(giorno)	03:00 (10)	02:30 (10)	01:00 (10)	01:00 (10)	20:45 (09)	20:00 (09)
Quercianella mar.	<b>42,4</b>	<b>121,8</b>	206,2	212,4	217,6	240,8
ora/(giorno)	03:00 (10)	02:30 (10)	01:00 (10)	01:00 (10)	01:00 (10)	23:00 (09)

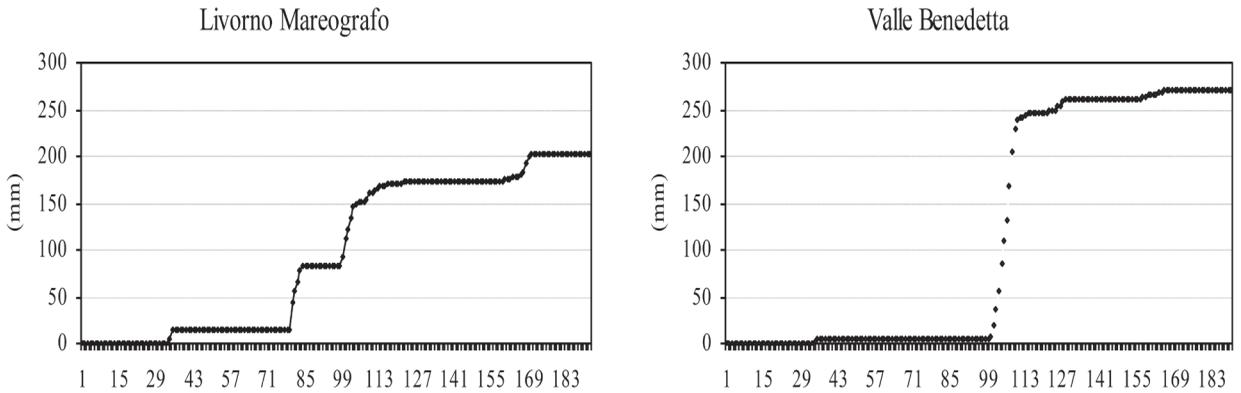


Fig. 6 - I diagrammi cumulativi della pioggia nelle stazioni di Livorno Mareografo e di Valle Benedetto mostrano la diversa intensità degli afflussi e i tempi in cui si sono verificati, rispettivamente tra le ore 20:30 del 9 settembre e le 05:30 del 10 settembre (4,2 mm/15min) e le ore 00:45 e le 04:45 del 10 settembre (intensità media: 18,1 mm/15min).

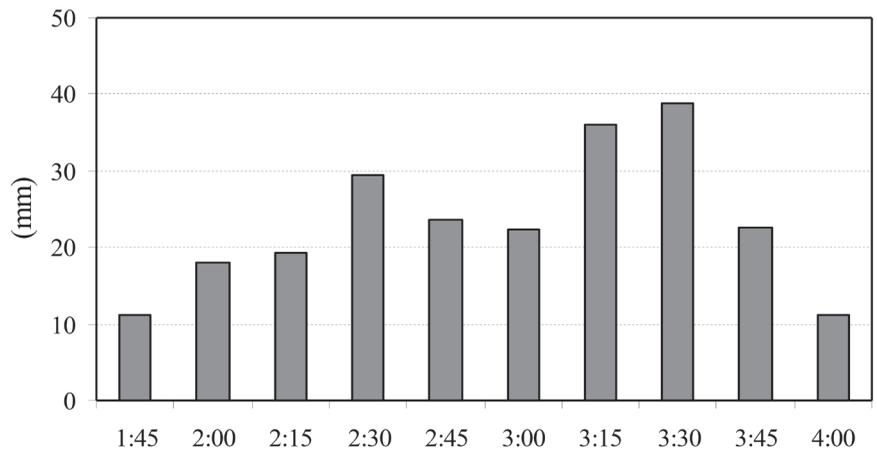


Fig. 7 - Valori pluviometrici a Valle Benedetto durante l'evento del 10 settembre 2017 (mm/15 min).

Valle Benedetto, poiché è plausibile che le piogge cadute fino alle ore 02:15 del 10 settembre siano state almeno in parte intercettate dalla vegetazione e assorbite dal suolo, mentre l'imponente deflusso superficiale che ha generato l'onda di piena sarebbe stato conseguenza delle piogge cadute nelle ore successive, ed in particolare tra la terza e la quarta ora del 10 settembre (Fig. 7). Le testimonianze degli abitanti interessati dall'alluvione sono infatti concordi nell'indicare come nel tratto collinare di Rio Maggiore l'onda di piena avrebbe raggiunto livelli critici poco dopo le ore 04:00 del 10 settembre, mentre intorno alle 05:30 sarebbe arrivata alle porte di Livorno. Alle 06:00 ampie zone del tratto terminale del Rio Maggiore erano invase dall'acqua e dal fango.

### 3.6. Onda di piena nel T. Chioma

Il T. Chioma, che ha origine alle falde del M. Maggiore e sfocia in mare dopo un percorso di circa 8,4 km (Fig. 1), è minaccioso intorno alle 03:40 ed esce dagli argini

verso le 04:10, mentre alle 04:58 del 10 settembre travolge il ponte prossimo alla foce. L'onda di piena del torrente è senz'altro da mettere in relazione alle piogge di fortissima intensità che sono cadute nella parte meridionale dei Monti Livornesi: a Quercianella si è infatti raggiunta l'intensità record di 42,4 mm/15 min tra le 02:45 e le 03:00 del 10 settembre (Tab. 3). Sulla base del confronto tra i picchi di intensità pluviometrica e l'arrivo dell'onda di piena alla foce si può stimare che il tempo di corrvazione sia stato di poco superiore all'ora.

## 4. CONSIDERAZIONI FINALI

La città di Livorno ha una pericolosità pluviometrica di grado non elevato, se confrontata con quella della fascia costiera della Toscana Settentrionale. Tuttavia, con ricorrenze decennali, possono verificarsi eventi di notevole intensità: negli studi di progetto delle opere di mitigazione del rischio idraulico sono attese, con una ricorrenza di 100 anni, piogge di circa 100 mm/1h e

di 250/24h. Le precipitazioni di forte intensità e breve durata che cadono sulla città e nel suo stretto intorno possono determinare gravi disagi per lo smaltimento dell'acqua attraverso il sistema fognario, ma sono pressoché ininfluenti sulla portata dei torrenti che scendono dai Monti Livornesi. La pericolosità idraulica di Livorno è dovuta infatti alle piogge che cadono su questo complesso collinare, poiché in casi eccezionali, come è accaduto durante l'evento in studio, l'incremento della pioggia con l'altitudine può seguire leggi di variazione più che lineari<sup>9</sup>.

In conseguenza delle piogge di forte intensità che hanno interessato la fascia costiera livornese e il suo entroterra tra il 9 e 10 settembre 2017, i reticoli idrografici dei torrenti che versano in direzione di Livorno si sono rapidamente saturati, come gli invasi, le casse di espansione, i canali di bonifica e i sistemi di fognatura. L'onda di piena ha tracimato gli argini in più punti, con esondazioni sempre più consistenti di passo all'avvicinamento alla periferia e al centro urbano di Livorno, dove i danni più gravi al patrimonio urbano e la maggiore perdita di vite umane si sono verificati in corrispondenza del tratto tombato del Rio Maggiore. Considerato che i tempi di corrivazione dei torrenti diretti a Livorno sono dell'ordine di 2-3 ore, lo stato di allerta e la messa in sicurezza delle popolazioni è di difficile attuazione<sup>10</sup>. In tale quadro la mitigazione dal rischio idraulico e idrogeologico non può che essere affidata al miglioramento della previsione di piogge attese di forte intensità (Grazzini, 2012), che se fino ad oggi presenta però un basso grado di affidabilità<sup>11</sup>. Più efficace è il

potenziamento delle opere idrauliche già esistenti e la messa in esercizio di nuovi presidi nella parte collinare, assumendo come misura degli interventi gli effetti che si sono prodotti per le piogge del 9-10 settembre 2017. La manutenzione degli alvei può infine favorire un più rapido smaltimento delle acque, come la cura del bosco può evitare l'accumulo di detriti vegetali lungo le aste fluviali, molto pericolosi nei tratti tombati dei torrenti che attraversano la città labronica.

## BIBLIOGRAFIA

- BEDKA, K., BRUNNER, J., DWORAK, R., FELTZ, W., 2011. Objective satellite-based overshooting top and enhanced-V/cold ring detection: Validation and relationship with weather. 6<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms (ECSS 2011), 3-7 October 2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain.
- CAVAZZA S., 1985. Sui moderni criteri di calcolo dell'afflusso meteorico. In: *Contributi di Climatologia* (a cura di M. Pinna). *Memorie della Società Geografica Italiana*, 39: 239-277.
- CENTRO FUNZIONALE DELLA REGIONE TOSCANA, 2017. Report evento meteo-idrologico dei giorni 9 e 10 settembre 2017.
- GABELLINI A., VICIANI D., 2014. Contributo alla conoscenza della vegetazione delle foreste regionali "Valle Benedetta- Montenero" (Colline Livornesi, Toscana). *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Memorie, Serie B*, 121: 101-119.
- GIUNTA REGIONALE DELLA TOSCANA - DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE: SETTORE PROTEZIONE CIVILE E RIDUZIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI, 2017. Evento meteorologico del 9 e 10 settembre 2017 nelle Province di Livorno e Pisa: 1-12.
- GRAZZINI F., 2012: L'affidabilità delle previsioni meteo oggi. *Ecoscienza* 4: 52-53.
- GRIMALDI S., PETROSELLI A., NARDI F., TAURO F., 2010. Analisi critica dei metodi di stima del tempo di corrivazione. *XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. Palermo, 14-17 settembre 2010.
- HORTON R.E., 1919. Rainfall interception. *Monthly Weather Review* 47, 9: 603-623.
- IRSIC ZIBERT M., STRAJNAR, B., ZIBERT, J., 2010. Cold-ring pattern on satellite images as indication of severe weather. *Proceedings 2010 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, Cordoba, Spain.
- LaMMA-Meteo, 2017. Report meteorologico 9-10 settembre 2017. Firenze.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO IDROGRAFICO, UFFICIO IDROGRAFICO DI PISA (VARI ANNI). *Annali Idrologici*. Parte Prima, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- PINNA S., 2006. Le piogge intense in Toscana. Leonardo-Istituto di Ricerche sul Territorio e l'Ambiente. Felici. Pisa: 1-164.
- PIOMBINO A., 2017. Il disastro di Livorno del 10 settembre 2017: come è avvenuto e la questione del colore degli allarmi. *Scienze e dintorni*, aldopiombino.blogspot.it, 11 settembre 2017.

<sup>9</sup> Secondo i dati del Servizio Idrologico della Regione Toscana, gli incrementi delle piogge di forte intensità tra le stazioni di Livorno Mareografo e di Valle Benedetta, tra il 2001 e il 2016, sono risultati poco più che lineari. Nel 2006, anno che pure si segnala per eventi di forte intensità, a Livorno Mareografo sono stati misurati 89,8 mm/3h, 98,2 mm/6h, 111,4 mm/12h, 129,6 mm/24h e a Valle Benedetta 104,4 mm/3h, 123,0 mm/6h, 150,4 mm/12h, 166,4 mm/24h, con incrementi rispettivamente dei 16, del 25, del 35 e del 28%. L'eccezionalità del gradiente pluviometrico verticale del 10 settembre 2017, rispetto ai valori storici, è messo in evidenza dagli incrementi di pioggia tra le due stazioni, risultati di 79,2 mm/3h, 131,6 mm/6h, 158,4 mm/12h, 136,8 mm/24h (Livorno Mareografo); 235,0 mm/3h, 242,8 mm/6h, 256,2 mm/12h, 266,6 mm/24 h (Valle Benedetta), cui corrispondono gli incrementi rispettivamente del 297, 185, 162 e 195%.

<sup>10</sup> In questa circostanza la Regione Toscana aveva emesso un'allerta "arancione", che prevede la possibilità di "significativi innalzamenti dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua maggiori con fenomeni di inondazione delle aree limitrofe e delle zone golenali, fenomeni di erosione delle sponde, trasporto solido e divagazione dell'alveo, occlusioni, parziali o totali, delle luci dei ponti, anche per effetto di criticità locali (tombature, restringimenti)" (P.C.M., D. della Protezione Civile, 2016).

<sup>11</sup> Nonostante i progressi compiuti negli ultimi anni in fatto di previsione di eventi pluviometrici intensi di breve durata, l'incertezza circa il loro effettivo verificarsi è ancora molto elevata, soprattutto nella fascia terra-mare e in presenza di rilievi costieri, come viene riconosciuto nelle "Indicazioni per l'omogenizzazione dei messaggi di allertamento nazionale": "allo stato attuale, non sono prevedibili con sufficiente accuratezza, ai fini dell'allertamento, gli eventi pluviometrici intensi di

breve durata, che riguardano porzioni di territorio limitate [...] che risultano critici per il reticolo idrografico minore e per le reti fognarie" (P.C.M., D. della Protezione Civile, 2016).

- PRESIDENZA CONSIGLIO MINISTRI, DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, 2016. Indicazioni per l'omogenizzazione dei messaggi di allertamento nazionale: livelli di criticità e di allerta e relativi scenari di intervento. Nota RIA/0007117 del 10.02.2016. Roma - Poligrafico e Zecca dello Stato-S.
- 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 Società Toscana Scienze Naturali. Memorie*, Serie A, 103:143-159.
- RAPETTI F., 1997. L'influenza del bosco mediterraneo sul clima. I - La Macchia di Migliarino (Litorale Pisano). *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Memorie*, Serie B, 104:73-90.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1972. I venti piovosi a Legoli (Toscana) in relazione ai processi di erosione del suolo. *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Memorie*, Serie A, 79: 1-16.
- RÉMÉNIÉRAS G., 1959. *Éléments d'hydrologie appliquée*. Édition Armand Colin, Paris: 1-208.
- SERVIZIO IDROLOGICO REGIONALE DELLA TOSCANA, 2012. *Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP*. Pisa.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, Centerton, New Jersey, 10 (3): 185-311.

(ms. pres. 11 giugno 2018; ult. bozze 03 novembre 2018)



Edizioni ETS  
Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa  
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com  
Finito di stampare nel mese di febbraio 2019

