



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

FRANCO RAPETTI ⁽¹⁾

LA PIOGGIA A LIVORNO (TOSCANA, ITALIA) (1857-2019)

Abstract - F. RAPETTI, *The rain in Leghorn (Tuscany, Italy) (1857-2019)*.

Along the central-northern coast of Tuscany, the rain records belonging to the town of Leghorn are the least affected by discontinuity as well as the longest ones, even longer than the series recorded in Viareggio (1881) and in Cecina (1887). As far as we know, the earliest rain records in Leghorn date back to 1721 (Vallisneri, 1726). About one and a half century later, in autumn 1856, Pietro Monte founded the Meteorological Observatory on the premises of the Royal Liceo of the I Barnabite Boarding School of San Sebastiano. Regular rain records started on the 1st of January 1857 and have been carried on until now, with only a short gap during World War II. Recording sites have been changing over the years, until a station was established by the Porto Mediceo, officially named as “Livorno Mareografo” of the Servizio Idrologico Regionale of Tuscany (SIR). The annual pluviometric series, due to its duration and to the above-mentioned changes, has undergone testing of non-climatic uniformity, randomness and independence, which produced on the whole satisfactory results, both for the study of the rain static characters (average values) and of its trends. The mean annual rainfall value is 834,4 mm, the maximum pluviometric ratio is 3,24 and the average number of days with rain is 88,1. The seasonal regimen has been “sub-mediterranean” (AIPE). The general trend of annual rainfall shows a decrease, as well as the seasonal one, although with a significant upturn in the last decade. In this sector of the Tyrrhenian coast, rainfall is usually of low intensity, but in rare occasions it may reach highly dangerous concentrations, as happened in September 2017, when the flooding running down the creeks of the Monti Livornesi severely affected the town of Leghorn and produced enormous damage to urban and productive assets, as well as a number of casualties. Rainfall measurement errors connected with the rain gauges accuracy, the local morphology and the forest cover of Monti Livornesi are discussed.

Key words - monthly rainfall, seasonal rainfall, annual rainfall, days rain, heavy rainfall, Standardized Precipitation Index (SPI), pluviometric trends, rain measurement errors, Leghorn, Tuscany, Italy

Riassunto - F. RAPETTI, *La pioggia a Livorno (Toscana, Italia) (1857-2019)*.

Lungo la costa centro-settentrionale della Toscana, la città di Livorno vanta il catalogo pluviometrico di migliore continuità e di maggiore estensione, superiore a quella delle serie di Viareggio (1881) e di Cecina (1887). Per quanto ci è noto, le prime misure della pioggia a Livorno risalgono al 1721 (Vallisneri, 1726). Nell'autunno del 1856, dopo oltre un secolo, Pietro Monte fondò l'Osservatorio Meteorologico presso il Regio Liceo del I Collegio barnabita di San Sebastiano, con l'inizio sistematico delle misure dal primo gennaio 1857, misure che da quell'anno non sono più state interrotte, se non per alcuni anni durante l'ultimo conflitto mondiale. Il punto delle osservazioni ha subito alcuni spostamenti, fino all'attuale posizione presso il Porto Mediceo, dove assume la denominazione di “Livorno Mareografo” del Servizio Idrologico Regionale della Toscana (SIR). La serie delle piogge annue, sia per la durata, sia per gli spostamenti, è stata sottoposta ai test di omogeneità non climati-

ca, di aleatorietà e di indipendenza, che hanno dato esiti nel complesso positivi, tanto per lo studio dei caratteri generali (valori medi), quanto della tendenza delle piogge. La pioggia media annua è stata di 834,4 millimetri, il modulo pluviometrico estremo di 3,24 e il numero medio di giorni con pioggia di 88,1. Il regime stagionale è stato “submediterraneo” (AIPE). La tendenza delle piogge annue è negativa, come quelle stagionali, ma con una sensibile ripresa nell'ultimo decennio. In questo settore della costa tirrenica le piogge sono ordinariamente di bassa intensità, ma in rare occasioni possono assumere concentrazioni di elevata pericolosità idraulica, come nel mese di settembre 2017, quando le onde di piena dei torrenti dei Monti Livornesi provocarono l'alluvione di Livorno, accompagnata da ingenti danni all'apparato produttivo, al patrimonio urbano e la perdita di numerose vite umane. Si discutono gli errori di misura delle piogge connessi all'accuratezza dei pluviografi, alla morfologia e alla copertura boschiva dei Monti Livornesi.

Parole chiave - piogge mensili, piogge stagionali, piogge annue, giorni pioggia, piogge forte intensità, indice standardizzato precipitazioni (SPI), tendenze pluviometriche, errori misura pioggia, Livorno, Toscana, Italia

STORIA DELLE OSSERVAZIONI PLUVIOMETRICHE A LIVORNO

Dopo le prime misure della storia della meteorologia effettuate alla metà del Seicento a Firenze, Pisa, e Val-lombrosa dal granduca Ferdinando II de' Medici e dal fratello Leopoldo (Cantù, 1984; Cantù & Narducci, 1967), interrotte nel 1667 alla chiusura dell'Accademia del Cimento, non è noto se in Toscana e nel resto del Paese tali attività siano proseguite per il resto del Seicento. È certo però che furono riprese nei primi anni del Settecento, come viene attestato da Antonio Vallisneri nella “Lezione accademica intorno l'origine delle fontane” (1726)¹, dove si riferisce delle misure effettuate a Modena dal 1715 al 1724, a Pisa presso l'Orto Botanico dal 1708 al 1724 (Michelangelo Tilli)², a Fornovalasco in Garfagnana nel 1715 e nel 1716, a Livorno (1721-1724). Dai primi anni dell'Ottocento la rete pluviometrica toscana si accrebbe di un buon numero di stazioni, ma gli strumenti di misura e i criteri di raccolta dei dati erano alquanto diversi da luogo a luogo. Nella “Prima Riunione degli Scienziati Italiani”, che si tenne a Pisa nell'ottobre del 1839, Vincenzo Antinori (1792-1865) espresse l'auspicio che si arrivasse all'uso di

⁽¹⁾ Via Giacomo Matteotti, 171/B 55100 Lucca; E-mail: rapettifranco42@gmail.com

strumenti “comparabili [...], affinché i risultati possano più facilmente sottoporsi a calcolo, riuniti in un posto centrale [Regio Museo di Firenze]” (Antinori, 1858).

L'Osservatorio Meteorologico di Livorno fu istituito da Pietro Monte (1823-1888)³ nel Regio Liceo del I Collegio barnabita di San Sebastiano, non distante dal Porto Mediceo, iniziando le misure il primo novembre 1856 (Fig. 1). Nel 1862 la stazione fu trasferita presso il Liceo Classico “G.B. Niccolini”, dove rimase fino al 1993. Dopo la morte di Monte, avvenuta il 4 maggio 1888, la direzione dell'Osservatorio fu assunta da Gaetano Pietrosemolo fino al 4 dicembre 1913; successivamente fu nominato Vittorio Boccarda, insegnante di Meteorologia nel Regio Istituto Nautico di Livorno, che ricoprì l'incarico fino al 31 dicembre 1938, quando, dal primo gennaio 1939 al dicembre 1983, gli subentrò Giocondo Sizzi⁴. Dal 1984 al 1993 le misure furono eseguite dal Corpo dei Vigili Urbani della città labronica. Negli anni successivi, con il passaggio delle competenze dal Servizio Idrografico e Mareografico dell'Arno (Presidenza del C.D.M.) alle Regioni, la rete idrometeorologica fu affidata al Servizio Idrologico Regionale della Toscana (SIRT), che nel 1997 istituì la stazione di “Livorno Scuola”, attiva fino al 2004, quando fu sostituita dalla stazione di “Livorno Mareografo” presso il Porto Mediceo (Tab. 1).

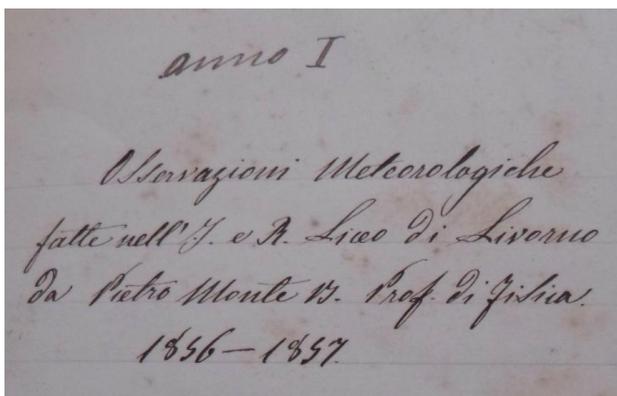


Figura 1. Ritaglio del frontespizio delle Osservazioni Meteorologiche iniziate da Pietro Monte presso il Real Liceo di Livorno (Biblioteca comunale Labronica “F.D. Guerrazzi”).

Tabella 1. Elementi geografici delle stazioni pluviometriche di Livorno, Valle Benedetta e Quercianella (stazione collinare).

Stazioni pluviometriche	Quota	Latitudine	Longitudine	Periodi
Liceo “G.B. Niccolini”	-	43°32'49”	10°18'46”	1863-1993
“Livorno Scuola”	13	43°32'42”	10°19'27”	1996-2004
“Livorno Mareografo”	1	43°32'47”	10°17'59”	dal 2004
Valle Benedetta	300	43°31'24”	10°24'26”	dal 2001
Quercianella	244	43°28'48”	10°20'52”	dal 2012

AMBIENTE FISICO

La città di Livorno sorge su una superficie terrazzata e un promontorio roccioso (Fig. 2), che divide in due tratti la lunga falcatura sabbiosa tra i monti della Spezia e il promontorio di Piombino. La geografia del territorio è costituita essenzialmente da due elementi: la Piana di Livorno e i Monti o Colline Livornesi (Lazzarotto *et al.*, 1990). La Piana ha una forma assimilabile ad un triangolo isoscele, con il vertice posto nei pressi di Antignano, i lati definiti dal mare a Ovest, dai Monti Livornesi a Est e la base lungo il corso del Calambrone, che verso Sud costituisce il confine meridionale della grande Pianura di Pisa. La Piana di Livorno è in realtà costituita da una grande superficie pleistocenica, nota come “Terrazzo di Livorno”, che si innalza per una decina di metri sull'attuale livello del mare. Essa è costituita da un sedimento marino di età tirreniana noto come “panchina” (Pleistocene medio), su cui giace la città di Livorno. Più in alto si stende un altro insieme di sedimenti, che costituiscono la copertura del secondo terrazzo, che va da circa 70 a 130 metri sopra il livello del mare, e corrisponde certamente ad una fase anteriore al terrazzo più basso, anche se non si escludono innalzamenti epirogenetici. Questi sedimenti di facies litorale sono ricoperti da altri di facies di transizione, spesso conglomerati e sabbie anche continentali, indicanti una evoluzione climatica (Mazzanti, 2006). Il secondo elemento morfologico dell'area è dato dai Monti Livornesi, che costituiscono il substrato delle coperture terrazzate, essenzialmente costituiti da formazioni delle coltri alloctone toscane (Macigno di Calafuria) e liguri, nelle quali non è infrequente la presenza di masse ofiolitiche (Barsotti *et al.*, 1974; Zanchetta *et al.*, 2006). I Monti Livornesi si ergono direttamente sulla costa al limite meridionale sub pianeggiante di Livorno, e danno origine anche a falesie a picco sul mare, oppure compaiono bruscamente, sia pure con modeste altezze a breve distanza dal mare. I Monti Livornesi, che culminano nel Poggio Lecceta a 462 metri s.l.m.m., nel M. Maggiore (454 metri) e nel M. La Poggia (384 metri), individuano uno spartiacque la cui distanza dal mare non supera gli 8 chilometri, che diminuisce rapidamente, tanto che poco a sud di Antignano i rilievi tra Montenero e Calafuria sono già sul mare ove si continuano fino a Castiglioncello, mentre da questo punto, procedendo verso Sud, le coste sono basse e sabbiose. I versanti marittimi dei Monti Livornesi sono solcati da una rete fluviale di breve lunghezza, scarsamente gerarchizzata, costituita dai torrenti Ugione, Cigna, Rio Maggiore, Ardenza e Chioma, che hanno bacini idrografici di area non superiore ai 30,3 km² del T. Ugione, il più esteso tra gli altri, perciò appena più che fossi, che per lunghi periodi dell'anno hanno gli alvei pressoché asciutti, ma che nelle rare occasioni di piogge intense si trasformano in torrenti impetuosi, di elevata pericolosità idraulica e geomorfologica, come

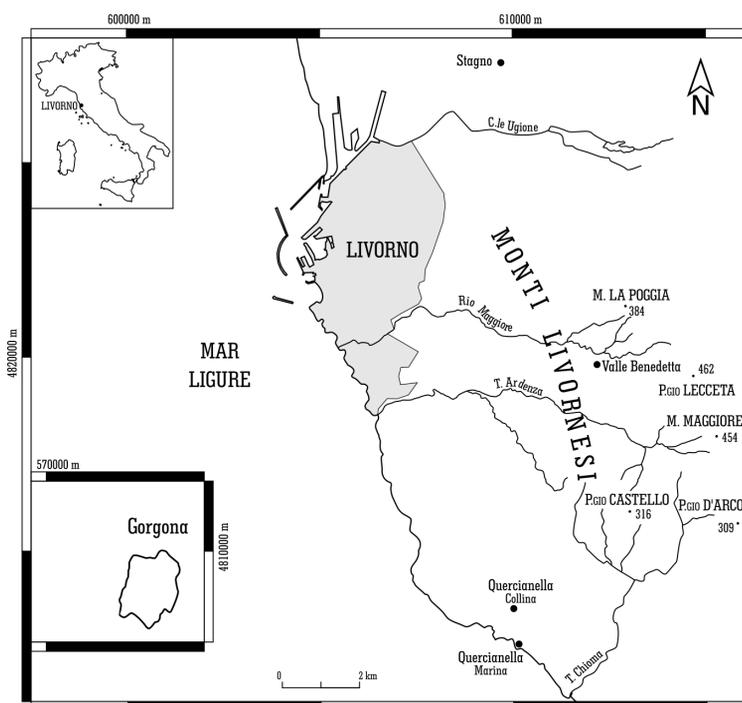


Figura 2. La città di Livorno, con i Monti Livornesi e la rete dei piccoli torrenti che scendono verso il centro urbano.

nei giorni 9 e 10 settembre 2017, quando una pioggia di forte intensità riversò ingenti volumi di acqua sui Monti Livornesi, che si trasformarono in potenti onde di piena e di fango, e in meno di due ore dall'acme pluviometrico giunsero alla città, producendo gravi danni e la perdita di numerose vite umane (Rapetti, 2018).

CARATTERI PLUVIOMETRICI DELLA FASCIA COSTIERA DELLA TOSCANA

La prima causa della piovosità in Toscana è costituita dal passaggio dei cicloni extratropicali in primavera e in autunno e, nella fascia costiera, dall'influsso delle depressioni dinamiche sottovento alle Alpi che si generano nel Golfo di Genova, seppure attenuate all'aumentare della distanza. Un ruolo non secondario deve essere assegnato all'instabilità termodinamica dovuta alle differenze di temperatura tra la superficie marina e l'aria soprastante, nonché allo squilibrio termico tra l'ambiente marino e l'ambiente terrestre⁵.

Nell'area marina prospiciente la città, a circa 37 chilometri dalla costa, sorge l'Isola di Gorgona, la più settentrionale dell'Arcipelago Toscano, per dimensione e profilo altimetrico ininfluyente sulla piovosità del litorale livornese, mentre la Sardegna, ma soprattutto la Corsica, che nel settore di NO presenta un imponente assetto di rilievi culminanti nel M. Cinto a 2706 metri s.l.m.m., determinano un effetto forzante sulle correnti da Maestrale (Taupier-Letage *et al.*, 2013), che nella bassa troposfera sono in parte deflesse verso il

Levante Ligure e la Versilia, note come "falso Libeccio" o di "ritorno di Mistral". L'impatto di queste correnti contro i versanti dell'Appennino Ligure e delle Alpi Apuane, che si ergono ripidi sul settore orientale del Golfo di Genova, innesca piogge frequenti, talvolta di fortissima intensità. In tale quadro geografico e sinottico, le due grandi isole determinano "un'ombra pluviometrica" che si estende verso i settori centro-meridionali della Toscana, dove la quantità della pioggia annua è nettamente inferiore a quella dei settori settentrionali, proprio ad iniziare della costa livornese, con il netto confine segnato dal basso corso dell'Arno tra le due subregioni pluviometriche (Rapetti & Vittorini 2012). A sud della foce dell'Arno la piovosità annua si riduce infatti dai 778 mm di Livorno, ai 736 mm di Vada, ai 640 mm di Follonica, ai 623 mm di Grosseto (1956-1985).

CATALOGO PLUVIOMETRICO DI LIVORNO

Nell'*incipit* delle "Osservazioni Meteorologiche", pubblicate in "Il Novo Cimento" (Tomo VII), fondato a Pisa nel 1855 da Carlo Matteucci e Raffaele Piria, si legge: "Negli ultimi mesi del 1856, io cominciai una serie regolare di osservazioni meteorologiche, le quali tuttora continuo con molta fatica e assiduità, perché sono forse le prime che in Livorno si facciano [...]". Dopo la morte di Pietro Monte, avvenuta nel 1888, l'Osservatorio, nel giro di pochi anni, com'è stato ricordato, fu installato all'ultimo piano del "Liceo Classi-

co G.B. Niccolini”, dove rimase fino al 1993 (Il Liceo Classico a Livorno, 2009). I dati del periodo 1857-1920 compaiono nelle “Osservazioni Pluviometriche raccolte a tutto l’anno 1915” (1919), e nelle successive “Osservazioni pluviometriche raccolte nel quinquennio 1916-1920” (1925) dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici. Dal 1916 al 1996 sono pubblicati negli Annali Idrologici dell’Ufficio Idrografico e Mareografico dell’Arno, e oggi disponibili nel sito del Servizio Idrologico Regionale⁶. Nel 2001 e nel 2012, colmando la grave lacuna dei Monti Livornesi, il SIR istituì la stazione di Valle Benedetta e di Quercianella (stazione collinare), i cui dati sono indispensabili per la previsione della pericolosità idraulica e geomorfologica di questo settore costiero, anche se la rapidità con cui le onde di piena dei torrenti giungono a Livorno rende difficile l’allarme e la difesa delle popolazioni (Fig. 2; Tab. 1).

Omogeneità, aleatorietà e indipendenza dei dati

Gli spostamenti subiti dal luogo delle misure, fino all’ultima destinazione presso il Porto Mediceo (“Livorno Mareografo”), impongono che la serie ultracentenaria delle piogge di Livorno sia sottoposta ai controlli dell’omogeneità non climatica (è omogenea una serie temporale in cui la variabilità dipenda esclusivamente dagli andamenti meteorologici), dell’aleatorietà o casualità dei dati. Il test di omogeneità non climatica della cumulazione mostra qualche incertezza nei primi decenni del Novecento, più marcata negli anni Venti e Quaranta, forse a causa degli eventi bellici di quei periodi, e una buona omogeneità dal 1950 ad oggi (Fig. 3). L’aleatorietà dei dati di osservazione è stata analizzata mediante il test non parametrico dei massimi, dei minimi, delle fasi e dei punti di svolta⁷, secondo le procedure di calcolo indicate da Cortemiglia (2002). Nel complesso il catalogo, pur non esente da imperfezioni, è ritenuto idoneo per lo studio dei caratteri pluviometrici generali (valori medi) e della tendenza delle piogge a Livorno dal 1857 a oggi⁸.

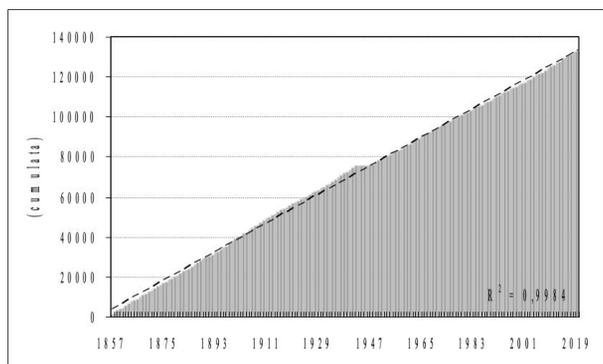


Figura 3. Andamento cumulato delle piogge annue di Livorno e della retta di regressione lineare (1857-2019).

CARATTERI PLUVIOMETRICI GENERALI

Regime pluviometrico mensile e piogge annue

Il regime annuo presenta il massimo principale in ottobre (123,9 mm), seguito da novembre (118,8 mm) e da dicembre (88,8 mm); da gennaio le piogge diminuiscono con regolarità, con l’eccezione di febbraio (63,3 mm), che è meno piovoso di marzo (69,5 mm), fino a raggiungere il minimo principale in luglio (21,1 mm) e quello secondario in agosto (34,4 mm)⁹. La media delle piogge annue è di 833,8 mm con il “modulo pluviometrico estremo” di 3,23 (1.394,0 mm, 2014/429,8 mm, 2011) (Réménieras, 1959). Il coefficiente di variazione annuo (σ/P_{med}) è di 0,24, che si inserisce nel range dei valori caratteristici delle aree interne e della fascia costiera centro-meridionale della Toscana (Pinna 2006), mentre i coefficienti mensili oscillano tra il minimo di novembre (0,56) e il massimo di luglio (1,34); quello stagionale più elevato cade in estate (1,13), a conferma della maggiore casualità delle piogge in questa stagione, legata generalmente a condizioni di instabilità mare/terra in un regime di alte pressioni atmosferiche.

Regime pluviometrico stagionale

Il regime stagionale indica il massimo principale in autunno di 324,3 mm (38,4%) e il massimo secondario in inverno (222,4 mm, 26,7%); seguono la primavera (188,7 mm, 22,6%) e l’estate (98,1 mm, 11,8%) (regime “submediterraneo”)¹⁰. Dal 1857 ad oggi si sono verificati 15 regimi diversi, alcuni rari, come i tipi *PIEA* (1908) e *PEIA* (1921), con le frequenze più elevate relative ai tipi *AIPE* (“submediterraneo”), presente in 47 anni e *APIE* (“sublitoraneo”) in 30 anni. Il massimo principale in estate non è mai apparso, mentre si è presentato in dieci anni come massimo secondario, con la maggiore frequenza tra il 1970 e il 1992. L’autunno è stata la stagione più piovosa in 106 anni, l’inverno in 40 anni, la primavera in 17 anni.

Campo di variazione delle piogge mensili e annue

Il campo di variazione delle precipitazioni, che descrive la potenzialità pluviometrica reale del luogo, è di rilevante interessante climatologico e applicativo, per l’impatto che sia i valori minimi sia i valori massimi hanno sulla vegetazione e sui processi idrogeologici. In tutti i mesi, ad eccezione di ottobre, novembre e dicembre, in uno o più anni le precipitazioni sono state assenti con la frequenza più elevata in luglio (16 casi). Il massimo assoluto delle piogge mensili ha raggiunto 502,0 mm nell’ottobre 1872 (502,0 mm), ma meritano di essere segnalati i 280,0 mm dell’agosto 1896, i 210 mm del luglio 2014 e i 264,2 mm del settembre 2017, che causarono l’alluvione di Livorno (Rapetti, 2018) (Tab. 2).

Tabella 2. Campo di variazione dei valori mensili (colonne 2-13) e annui delle piogge (millimetri) e del numero di giorni piovosi a Livorno, e dei relativi valori medi (1857-2019). L'anno di osservazione di minimo e massimo è indicato nel rigo sottostante; se il dato è riferito a più di un anno, si riporta il numero di casi.

Piogge	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Valori annui
minimo	0,0	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,2	4,2	429,8
anno	1993	1949	1994	2007	1986	2 casi	16 casi	8 casi	2 casi	2017	1981	1991	2011
massimo	309,7	188,8	234,7	211,6	157,6	201,2	210,0	280,0	264,2	501,5	368,2	311,2	1392,8
anno	1881	1951	1909	1990	2010	1971	2014	1896	2017	1872	1900	1910	2014
medio	71,0	63,3	69,5	63,1	56,1	42,5	21,1	34,4	81,3	123,9	118,8	88,8	833,8
N. di giorni piovosi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Valori Anni
minimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	53
anno	1993	2 casi	2 casi	2007	2 casi	4 casi	26 casi	10 casi	3 casi	2017	1981	1998	1973
massimo	21	21	23	20	19	15	10	15	17	21	21	24	140
anno	1867	1888	1909	1897	1879	1915	1893	1896	1882	1885	1885	1869	1910
medio	8,8	8,0	8,7	8,2	7,0	4,8	2,3	3,3	6,2	9,8	10,9	10,1	88,1

Tabella 3. Distribuzione stagionale e annuale dell'Indice Standardizzato delle Precipitazioni (SPI) (numero di casi) nelle diverse classi di intensità e campo di variazione dell'indice (Δ SPI) (1857-2019).

Classi SPI	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Anno
SPI $\geq +2,0$	umidità estrema	4 2,91 (1950)	7 3,26 (1900)	6 4,55 (1886)	4 +2,63 (1872)	7 +2,86 (2014)
+1,5 \leq SPI $< +2,0$	umidità elevata	13	4	9	8	2
+1,0 \leq SPI $< +1,5$	umidità moderata	3	13	8	15	18
-1,0 $<$ SPI $\leq +1,0$	normalità	123	112	125	102	106
-1,5 $<$ SPI $\leq -1,0$	siccità moderata	11	15	15 -1,35 (1984)	22	16
-2,0 $<$ SPI $\leq -1,5$	siccità severa	8	11	0	8 -1,93 (1970)	7
SPI $\leq -2,0$	siccità estrema	1 -2,05 (1931)	1 -2,02 (1933)	0	0	7 -2,03 (2011)
Δ SPI	-	4,96	5,28	5,90	4,56	4,89

Massimi periodi con precipitazione nulla

La "Carta delle linee dei massimi periodi con precipitazione nulla nel quarantennio 1921-1960" del Servizio Idrografico e Mareografico del Ministero dei Lavori Pubblici (1967), mostra che la fascia costiera e del primo entroterra della Toscana, dal confine settentrionale con la Liguria fino ad Antignano, al confine meridionale della città labronica, è compresa nella classe fino a 60 giorni consecutivi senza pioggia; da Livorno a Bibbona si registrano fino a 80 giorni, mentre più a sud si superano 100 giorni. A Livorno la soglia dei 60 giorni è stata superata in più anni, come, nel 1952 (67 gg.), nel 1962 (65 gg.), nel 2012 (61 gg.). In confronto si osserva che in altre aree del Paese, come nella Calabria Ionica, nella parte sud-orientale della Sicilia, e in gran parte della Puglia e della Sardegna (Campidano), i massimi periodi con precipitazione nulla possono prolungarsi per oltre 150 giorni.

Tendenza delle piogge stagionali e annue

Le piogge stagionali hanno una tendenza negativa, con tassi di decrescita poco differenti tra loro, poco maggiore nelle stagioni intermedie, come la primavera (-1,9 mm/10 anni) e l'autunno (-1,8 mm/10 anni). Ne segue la tendenza negativa delle piogge annue, con il tasso di 6,6 mm/10 anni. Dall'inizio delle misure al 1894 vi è stato un periodo di rapide variazioni in senso positivo e negativo, mentre dall'anno successivo ha inizio una fase di marcato incremento fino al 1898, cui segue una decisa flessione fino al 1921 e, successivamente, si ha un nuovo incremento fino al 1937. Da quella data, pure con qualche significativa oscillazione positiva, si verifica una prolungata diminuzione delle piogge annue, che perdura fino al primo decennio del secolo attuale, quando si manifesta un nuovo sensibile incremento, dovuto alle piogge degli anni 2008 (1000,0 mm), 2009 (1051 mm), 2010 (1304,0 mm) e 2014 (1394,0 mm), valori interrotti dal minimo pluvio-

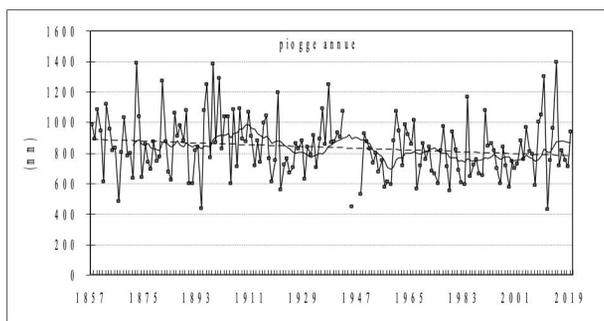


Figura 4. Andamento delle piogge annue a Livorno (linea di tendenza e media mobile di ordine 5) (1857-2019).

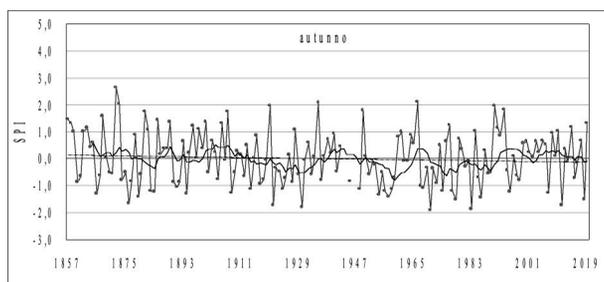
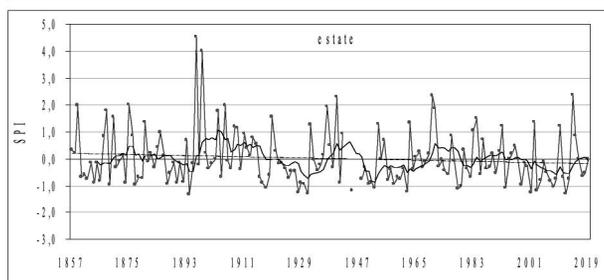
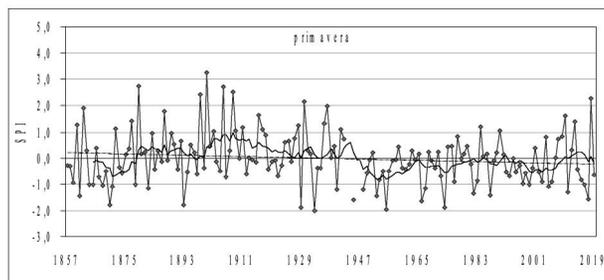
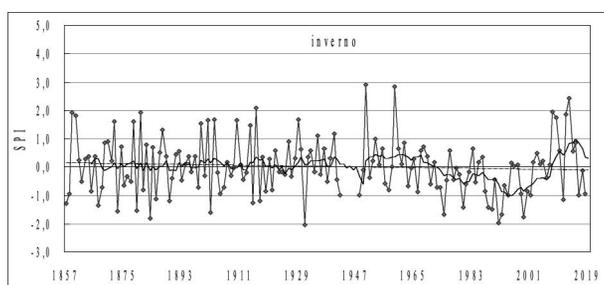


Figura 5. Andamento dell'indice standardizzato delle precipitazioni stagionali e annue (SPI) a Livorno (1857-2019).

Indice standardizzato delle precipitazioni

La durata del catalogo pluviometrico di Livorno ci offre un quadro delle fasi di umidità e di aridità pluviometrica dalla metà dell'Ottocento ai nostri giorni, in un'area della Toscana centrale altrimenti povera di stazioni pluviometriche ultracentenarie. La graduazione dell'umidità e dell'aridità è stata definita con l'Indice Standardizzato delle Precipitazioni ed è determinata sia alla scala stagionale, sia alla scala annuale (SPI) (McKee *et al.*, 1993)¹¹.

Lo SPI annuo ha oscillato tra -2,03 del 2011 e +2,86 del 2014, perciò, nel breve volgere di quattro anni, si sono toccati i valori estremi della scala, fatto assolutamente imprevedibile e straordinario in 163 anni di osservazioni (Fig. 5; Tab. 2). Alla scala stagionale i valori estremi si sono verificati in inverno (-2,05 nel 1931) e in primavera (-2,02 nel 1933); i valori più elevati sono ben rappresentati in tutte le stagioni, con il massimo in estate (+4,55 nel 1886) (Tab. 3). Le tendenze stagionali indicano le flessioni più significative in primavera e in estate, fatto non positivo per la vegetazione coltivata e spontanea, che attraversa la fase della ripresa vegetativa e della produzione dei fiori e dei frutti.

Numero e tendenza del numero di giorni piovosi

Il numero annuo di giorni piovosi presenta una netta discontinuità tra il 1920 e il 1921, che si riscontra peraltro in tutte le stazioni del Compartimento della Toscana. L'entità dei valori tra il periodo precedente e il periodo seguente l'anno 1920 non ha giustificazione meteorologica, ed è tale da indicare che in quell'anno fu modificato il criterio del computo dei giorni piovosi, con l'assunzione di un sistema unificato (International Meteorological Organization, 1873), secondo cui si definiscono piovosi i giorni con pioggia uguale o maggiore di 1 mm¹². Dal 1921 al primo decennio del nostro secolo è stato regolare, con un tasso stimabile in 1,5 g.p./10 anni. Dal 2010, accompagnato dal consistente incremento delle piogge annue, si è registrato anche l'aumento del numero di giorni piovosi, con 115 giorni nel 2010 e 91 giorni nel 2014 (Fig. 6).

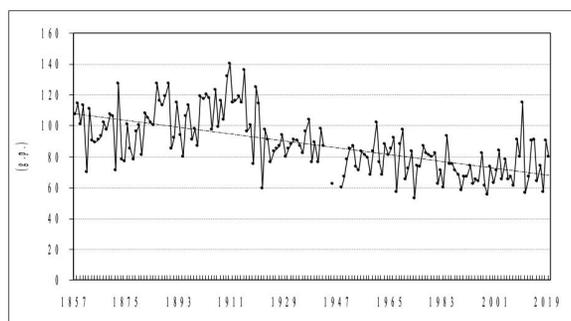


Figura 6. Andamento del numero di giorni piovosi annui a Livorno (1857-2017).

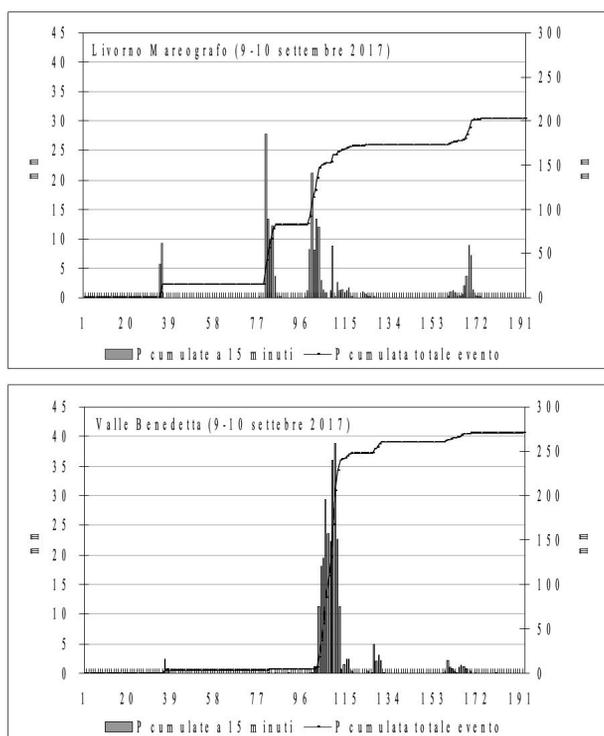


Figura 7. Cumulazione della piogge alla scansione di 15 minuti e cumulata totale delle stazioni di “Livorno Mareografo” e di Valle Benedetta (dati SIR). La numerazione delle ascisse è contata in intervalli di 15 minuti, dalle ore 00:00 del 9 settembre alle ore 24:00 del 10 settembre 2017.

Piogge di forte intensità

Nella fascia costiera della Provincia di Livorno e nei rilievi che vi si affacciano, le piogge intense sono rare, in confronto alle frequenze ed intensità che ricorrono nel Levante Ligure e nelle Alpi Apuane (Rapetti & Rapetti, 1996; Cucurnia, 2020)¹³. Tuttavia, si ricorda, ormai lontano nel tempo, lo straordinario evento pluviometrico che il 28 e 29 settembre 1930 colpì i paesi di Micciano e di Sassa in Val di Cecina (Annali Idrologici, Parte Prima-Servizio Idrografico e Mareografico dell’Arno), dove furono misurati 440,0 e 410,0 millimetri di pioggia, che costituiscono un record assoluto per quel settore costiero, poiché le “linee segnalatrici di possibilità pluviometrica” prevedono intensità massime teoriche non maggiori di 250 millimetri/giorno con una ricorrenza di 200 anni (Rapetti & Vittorini, 1994; Pinna, 2006; Servizio Idrologico Regionale, s.d.)¹⁴. A Livorno le intensità pluviometriche sono generalmente modeste, pur avendo raggiunto nell’ultimo secolo 91,2 mm/1h (1 ottobre 1993), 138,4 mm/3h (18 giugno 1970), 151,8 mm/6h (2 ottobre 1964), 157,6 mm/12h e 195,8 mm/24h (18 giugno 1970). Si tratta di eventi sporadici e concentrati in aree limitate (Annali Idrologici, Parte Prima), come la pioggia che il 9 e 10 settembre 2017 colpì la città di Livorno e i Monti Livornesi (Rapetti, 2018) (Tab. 4).

Tabella 4 - Precipitazioni di forte intensità a Livorno (1933-2019, in confronto ai valori pluviometrici registrati il 9 e 10 settembre 2017 nelle stazioni di “Livorno Mareografo” e di Valle Benedetta (fonte: SIR).

Stazioni	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Livorno 1933-2016	91,2 (1993)	138,4 (1970)	151,8 (1964)	157,6 (1970)	195,8 (1970)
“Livorno Mareografo”	63,4	79,2	131,6	158,4	186,8
Valle Benedetta	120,8	235,0	242,8	256,2	266,6

CONSIDERAZIONI SUGLI ERRORI DI MISURA DELLA PIOGGIA

Il rapporto tra la pioggia misurata con il pluviografo a bocca orizzontale e la pioggia che cade al suolo è generalmente diverso dall’unità. Tali differenze dipendono da fattori di natura diversa, quali la presenza di ingombri naturali o artificiali nei pressi della stazione di misura¹⁵, le caratteristiche tecniche dello strumento di registrazione, l’area della bocca di raccolta, la giacitura e l’altezza della bocca dal piano di campagna, la forma e i materiali dell’imbuto raccoglitore, la morfologia del suolo (pianeggiante o inclinato), le condizioni dell’atmosfera presso il suolo durante l’afflusso, l’intensità della pioggia, l’assenza o la presenza di vento (velocità, turbolenza, direzione)¹⁶. Un capitolo riguarda inoltre la quantità di pioggia che nelle aree boscate arriva al suolo rispetto a quelle che si misurerebbero nelle attigue aree prive di vegetazione.

Misure della pioggia e geometria del suolo

Nelle superfici pianeggianti, il rapporto tra la pioggia misurata dal pluviografo a bocca orizzontale e la pioggia intercettata dalla superficie del suolo è pressoché unitario, sia in assenza che in presenza di vento, a meno di qualche differenza dovuta alla turbolenza dell’aria, modificata dall’impatto con la stazione di misura, fino ai fenomeni di rimbalzo delle gocce cadute all’interno dell’imbuto raccoglitore e di bagnatura delle parti interne dello strumento (Fig. 8).



Figura 8. Pluvionivometro totalizzatore a bocca orizzontale presso la vetta del M. Capanne all’Isola d’Elba (fonte: Archivio fotografico dell’Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa - fine anni Cinquanta).

Le differenze più rilevanti tra la pioggia misurata e quella che giunge alla superficie del suolo si verificano nelle aree acclivi, quando la pioggia è accompagnata dal vento. Le forti anomalie riscontrate da E.R. Horton (1919) tra gli afflussi e i deflussi in alcuni bacini campione delle Montagne Rocciose, risultati superiori agli afflussi da tre a sette volte, indussero lo studioso statunitense ad ipotizzare che le anomalie derivassero dall'utilizzazione di pluviometri a bocca orizzontale, essendo più marcate nelle fasce altimetriche prossime allo spartiacque, dove i venti sono mutevoli per direzione ed intensità e le gocce di pioggia subiscono forti deviazioni angolari rispetto alla verticale nel punto della misura.

La valutazione teorica del rapporto fra l'afflusso meteorico registrato dallo strumento a bocca orizzontale e l'afflusso reale intercettato dalla superficie dei versanti può svilupparsi in via geometrica. I fattori che influenzano tale rapporto sono l'acclività del versante, l'angolo di deviazione delle gocce di pioggia dalla verticale, l'angolo azimutale tra la retta di massima acclività del versante, la direzione Nord-Sud e l'angolo azimutale fra la direzione di provenienza del vento piovoso e la direzione di riferimento Nord-Sud (Fig. 9). La determinazione teorica e pratica dell'afflusso intercettato dalle superfici dei versanti in Toscana è stata oggetto di ricerche dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (Panicucci 1966, 1967; Torri & D'Egidio, 1979; Torri, 1979), e degli studi sul comportamento idrologico delle argille plioceniche in Val d'Era condotti presso l'Istituto di Geografia e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa (Rapetti & Vittorini, 1972). La relazione (1) ha perciò un valore meramente teorico, che deve essere confrontato con i dati sperimentali.

$$P_v = P_m \times \cos \Phi / \cos \beta \quad (1)$$

dove: P_v = pioggia nell'unità di superficie del versante, P_m = pioggia misurata dal pluviografo a bocca orizzontale; $\cos \Phi = \cos (90 - \alpha) \cos \varphi \cos (90 - \beta) \cos \varphi' + \cos (90 - \alpha) \sin \varphi \cos (90 - \beta) \sin \varphi' + \sin (90 - \alpha) \sin (90 - \beta)$, con α (angolo di acclività del versante), β (angolo di deviazione delle gocce di pioggia dalla verticale), φ (angolo azimutale tra la direzione di massima acclività del versante e la direzione di riferimento cardinale Nord-Sud), φ' (angolo azimutale fra la direzione di provenienza della pioggia e la direzione Nord-Sud).

Il valore virtuale della (1) deriva dal fatto che i versanti non sono assimilabili a superfici piane di acclività costante, ma, soprattutto, i venti non spirano per intervalli prolungati con direzione e velocità costanti. Tuttavia i riscontri sperimentali fatti in alcune particelle della Val d'Era (Provincia di Pisa) hanno dimostrato

che durante singoli eventi di pioggia i versanti con differente inclinazione e orientamento hanno ricevuto quantità di pioggia diverse tra loro e diverse da quelle misurate dal pluviografo (Vittorini, 1965; Vittorini, 1971).

La pioggia di forte intensità che colpì i Monti Livornesi tra il 9 e il 10 settembre 2017 fu accompagnata da venti prevalenti da SE, di velocità intorno ai 10 m/s, con raffiche di 15 m/s (Fig. 10). L'orientamento e l'acclività delle piccole valli torrentizie del versante marittimo dei Monti Livornesi, è molto variabile nei singoli tratti vallivi. Tale condizione non consente la stima degli afflussi teorici intercettati dai loro bacini idrografici, a meno di non disporre di un modello digitale del terreno a grande scala e di un opportuno programma informatico.

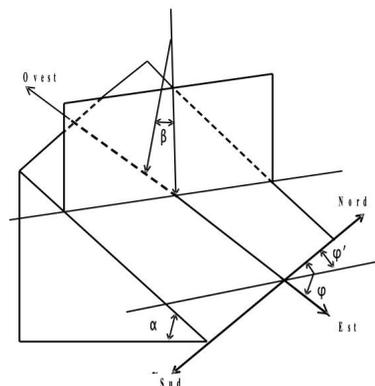


Figura 9. Stereogramma di un ipotetico versante geometrico orientato a Est ($\varphi \approx 90^\circ$), inclinato sul piano orizzontale di circa 30° (α). La direzione del piano di caduta delle gocce di pioggia forma un angolo di circa 40° rispetto alla direttrice Nord-Sud (φ'), mentre la deviazione delle gocce di pioggia dalla verticale è di circa 35° (β).

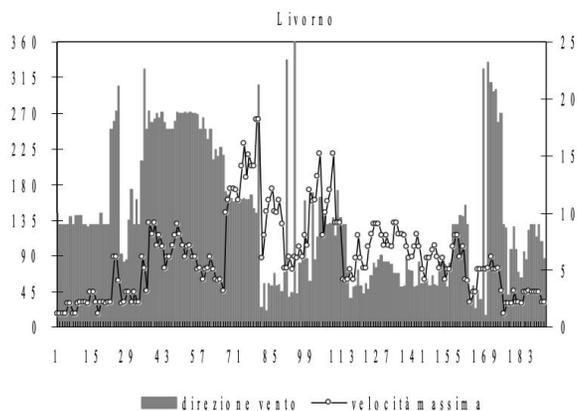


Figura 10. Direzione e velocità del vento a Livorno durante la tempesta di pioggia del 9-10 settembre 2017 (fonte: LaMMA).

Errori di misura del pluviografo a vaschette basculanti

Nelle piogge di forte intensità, superiori all'accuratezza¹⁷ del pluviografo, una parte dell'acqua raccolta dall'imbuto e convogliata alle vaschette basculanti può disperdersi quando l'afflusso supera l'inerzia del sistema basculante (condizione di "troppo pieno") (Fig. 11).

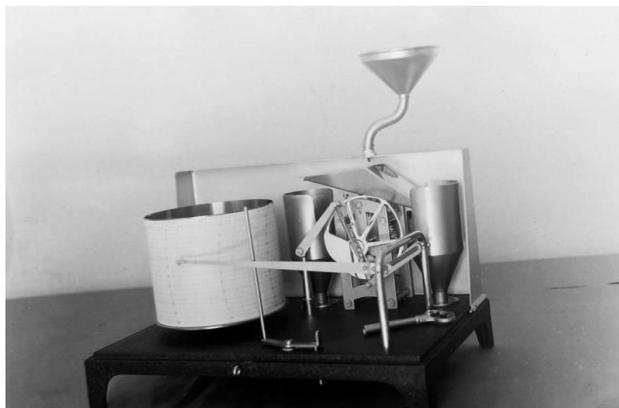


Figura 11. Pluviografo meccanico a vaschetta basculante, in uso nelle stazioni del Compartimento della Toscana del Servizio Idrografico e Mareografico dell'Arno fino ai primi anni Novanta del secolo scorso (fonte: Archivio fotografico dell'Ufficio).

In Toscana le prime stazioni pluviometriche digitali con la teletrasmissione dei dati furono installate nelle Alpi Apuane nei primi anni Novanta del secolo scorso, poi estese agli altri settori del Compartimento. Nei Monti Livornesi, per la prima volta dall'inizio delle misure della pioggia, furono installate le stazioni di Valle Benedetta (2001) e di Quercianella (2012), mentre nel 2004 era stata impiantata quella di "Livorno Mareografo" presso il Porto Mediceo, munite di pluviografi di accuratezza del -3,2% per intensità di 50 mm/60 minuti (4,2 mm/5minuti), di -6,6% per 100 mm/60 minuti (8,3 mm/5minuti), di -10,3% per 150 mm/60 minuti (12,6 mm/5minuti) (Fig. 12).

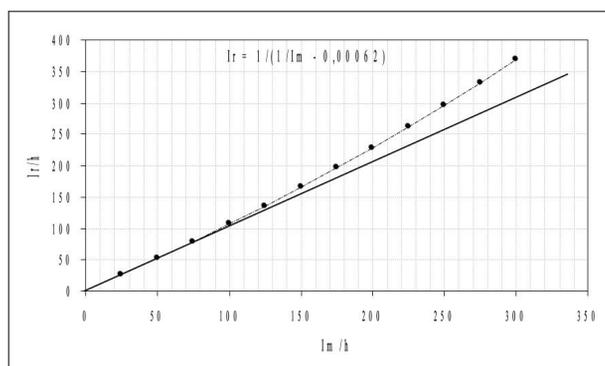


Figura 12. Errore di misura in funzione dell'intensità pluviometrica (mm/60 minuti) tra la pioggia misurata (Im) e la "pioggia reale" (Ir) (PMB2; CAE-Bologna).

Nelle fasi di maggiore intensità della pioggia, come durante la tempesta di pioggia del 9 e 10 settembre 2017, le misure pluviometriche, per una più realistica considerazione dell'evento, devono essere corrette secondo l'equazione dell'accuratezza dei pluviografi utilizzati (Tab. 5).

Tabella 5 - Valori pluviometrici misurati (Im) e corretti (Ir) secondo l'equazione dell'accuratezza in funzione dell'intensità della pioggia del 10 e 11 settembre 2017 nelle stazioni di "Livorno Mareografo", Valle Benedetta, Quercianella (stazione collinare), nei tempi di aggregazione della pioggia a 15, 30, 45, 60 minuti (pluviografo PMB2-CAE Bologna) (in grassetto i valori misurati; in corsivo i valori calcolati).

Δ max	Intensità	"Livorno Mareografo"	Valle Benedetta	Quercianella
15 min	Im	27,8 (112,2)	38,8 (155,2)	42,4 (169,6)
	Ir	30,2 (+7,9%)	42,9 (+9,6%)	47,4 (+10,5%)
30 min	Im	41,2 (82,4)	74,8 (149,6)	72,8 (145,6)
	Ir	43,4 (+5,1)	82,5 (+9,3%)	80,0 (+9,0%)
45 min	Im	51,2 (68,3)	97,4 (129,9)	101,0 (134,7)
	Ir	53,5 (+4,3%)	106,0 (+8,1)	110,2 (+8,3)
1 ora	Im	63,4	120,8	121,8
	Ir	66,0 (+3,9%)	130,6 (+7,5%)	131,7 (+7,5%)
3 ore	Im	79,2	235,0	206,2
6 ore	Im	131,6	242,8	212,4
12 ore	Im	158,4	256,2	217,6
24 ore	Im	186,8	266,6	240,8

In questi ultimi anni l'accuratezza dei pluviografi ha fatto grandi progressi, raggiungendo valori inferiori al 3% già dal primo minuto dello scroscio, fino all'intensità di 800 mm/60 minuti (13,3 mm/1 minuto, 40 mm/3 minuti, 66,7 mm/5 minuti) (Fig. 13). L'utilizzazione di strumenti quali quello raffigurato, prodotti sia da aziende italiane, sia estere, avrebbe migliorato l'accuratezza delle misure della pioggia che provocò l'alluvione di Livorno (Lanza *et al.*, 2005) (Tab. 5).



Figura 13. Pluviografo PG10 (CAE-Bologna) di accuratezza inferiore al 3% fino all'intensità di 800 mm/60 minuti.

Tabella 6. Frazionamento della “pioggia incidente” in un bosco misto di *Pinus pinea* L. e *Pinus pinaster* Aiton (Rapp & Ibrahim, 1978) e in un bosco puro di *Quercus ilex* L. (Ettehad *et al.*, 1973).

specie arborea	gocciolamento	scorrimento	evaporazione	acqua al suolo
<i>Pinus pinea</i> L.	70,10%	2,30%	27,60%	72,40%
<i>Quercus ilex</i> L.	65,20%	4,50%	31,30%	68,70%

La pioggia nelle aree forestali

La Toscana ha un “indice di boscosità” totale (bosco + impianti di arboricoltura da legno + arbusteti) del 53,4% del territorio regionale (1.208.850 ha). La Provincia Livorno, con un indice del 46,6% (56.085 su 120.314 ha), si colloca, in valore assoluto, al settimo posto tra le Province toscane, con 42.444 ha di bosco, 225 ha di arboricoltura da legno e 13.416 ha di arbusteti (Rapporto delle Foreste in Toscana, 2016).

A tali estese superfici si attribuisce ordinariamente l'altezza pluviometrica misurata nelle aree aperte, sulla base delle isoiete tracciate con metodi geometrici o con algoritmi (Mazzarella & Tranfaglia, 2000). Tale attribuzione sovrastima la quantità di acqua ricevuta dai suoli delle superfici boscate di una quantità difficile da definirsi, ma consistente. L'altezza pluviometrica così attribuita alle aree coperte da boschi corrisponde alla “pioggia incidente”, che è virtualmente assimilabile a quella misurabile ponendo l'imbuto di raccolta della pioggia al di sopra delle chiome degli alberi (“gross rainfall”) (Rapetti, 1997). Nel moto di discesa verso il suolo la pioggia si fraziona seguendo percorsi diversi: una parte cade direttamente o indirettamente alla superficie del bosco (frazione misurabile con il pluviografo) (“throughfall”), una seconda frazione vi giunge scorrendo lungo le foglie, i rami e il tronco degli alberi e della vegetazione arbustiva (“stemflow”), l'ultima, quella che bagna le superfici della vegetazione, è restituita direttamente all'atmosfera per evaporazione (“interception loss”), ed è sottratta al bilancio idrico del suolo. Quest'ultima frazione, uguale alla differenza tra la “pioggia incidente” e quella che giunge al suolo, è determinata dalla composizione floristica del bosco (alto fusto o ceduo, conifere o latifoglie, sempreverdi o caducifoglie, coetaneo o disetaneo, puro o misto) e dalle condizioni meteorologiche (distribuzione delle piogge in frequenza e intensità, intervallo tra una pioggia e la successiva, radiazione solare, temperatura dell'aria, umidità relativa, ventosità). In alcune ricerche condotte nella stazione sperimentale di Petit-Saint-Jean in Camargue (foce del Rodano) in un popolamento di *Pinus pinea* L. e *Pinus pinaster* Aiton (Rapp & Ibrahim, 1978), e in altre ricerche condotte da Ettehad *et al.* (1973) in un bosco di *Quercus ilex* L. (specie xerofila presente nei Monti Livornesi), è risultato che l'acqua che arriva al suolo è inferiore del 20-30% della pioggia incidente (Tab. 6).

I boschi che coprono aree di bassa piovosità, come i Monti Livornesi, soffrono perciò la siccità più delle aree confinanti prive di vegetazione, e sono pertanto esposti ad un forte stress idrico e ad un più alto rischio di incendio. La copertura boschiva dei versanti offre invece una efficace regimazione dei deflussi, anche per il ritardo con cui l'acqua che scorre sulle superfici vegetali giunge al suolo.

CONSIDERAZIONI FINALI

Le prime misure della pioggia a Livorno, per quanto è dato sapere, risalgono al 1721 e furono interrotte nel 1724. Dopo oltre un secolo, negli ultimi mesi del 1856, la città di Livorno si dotò di una stazione pluviometrica, fondata dal barnabita Pietro Monte. Da quell'anno il punto delle misure della pioggia ha subito piccoli spostamenti in uno stretto intorno del Liceo Classico “G.B. Niccolini”, dove la stazione ha avuto sede dal 1862 al 1993, fino ad assumere la posizione attuale presso il Porto Mediceo, dove prende il nome di “Livorno Mareografo”. Il catalogo, se pur non è esente da qualche imperfezione come mostrano i test della omogeneità non climatica e della casualità, nel complesso è idoneo allo studio della piovosità della città labronica. Il catalogo pluviometrico di Livorno, per continuità e durata, è il più importante della fascia costiera da Viareggio (1881) a Cecina (1887). La pioggia media annua è stata di 834,4 millimetri e il numero medio di giorni con pioggia di 88,1. L'autunno ha rappresentato la stagione più piovosa, seguita dall'inverno, dalla primavera e dall'estate, secondo il regime “submediterraneo”, che è distintivo di una stretta fascia costiera tra la Toscana centro-meridionale e il Cilento.

A Livorno e nel suo immediato entroterra le piogge di forte intensità sono rare; tuttavia, con ricorrenze pluridecennali, possono apportare grandi volumi d'acqua nel piccolo spazio geografico tra la città e il versante marittimo dei Monti Livornesi. Un tale evento si è manifestato tra il 9 e il 10 settembre 2017, quando una tempesta di pioggia che colpì l'area urbana, ma con maggiore intensità il versante marittimo dei Monti Livornesi, provocò imponenti onde di piena di acqua e di fango dei torrenti che scendono verso il mare, responsabili dei gravi danni arrecati al patrimonio urbano e della perdita di molte vite umane.

Gli studi compiuti in Italia fino ai primi anni del nostro secolo sono pressoché concordi nel riconoscere la diminuzione tendenziale delle piogge, pur con qualche eccezione in singole stazioni o in ristrette aree geografiche, dove si è osservata stabilità o, in rari casi, lievi tendenze all'aumento (Camuffo *et al.*, 1991; Giuffrida & Conte, 1991), oppure durante ben definite “finestre temporali”, quando la piovosità ha attraversato fasi di crescita, anche prolungate nel tempo. Le piogge annue di Livorno non fanno eccezione, poiché mostrano la debole tendenza complessiva alla diminuzione (6,6 mm/10 anni), ma con marcate oscillazioni negative e positive in alcuni periodi. La tendenza negativa delle piogge a Livorno, come nelle altre stazioni ultracentenarie della Toscana (Rapetti & Vittorini, 1991), peraltro accompagnata nell'ultimo trentennio da un consistente aumento della temperatura dell'aria, ha fatto temere i gravi fenomeni provocati dalla siccità, ma la ripresa delle piogge dell'ultimo decennio, e in particolare quelle del 2010 (1303,2 mm) e del 2014 (1392,8 mm) ha almeno in parte attenuato il fenomeno (Pinna, 2014, 2018).

¹ Nella “Lezione accademica intorno l'origine delle fontane” sono indicate le misure delle piogge di Livorno (pagina 171): 1721 (194 libbre e 9 once), 1722 (138 libbre e 0 once), 1723 (201 libbre e 6 once), 1724 (195 libbre e 7 once).

² Le Osservazioni meteorologiche presso l'Orto Botanico di Pisa, dopo quelle riferite dal Vallisneri, furono riprese da Giovanni Lorenzo Tilli tra il 1775 e il 1780 (Tilli, 1775; Rapetti & Ruschi, 2009).

³ Pietro Monte (1823-1888), dopo un periodo di insegnamento presso l'Università Parma, nel 1855 approdò a Livorno come professore di Fisica del Regio Liceo della città, dove fondò l'Osservatorio Meteorologico “in corrispondenza telegrafica fin dal 1858 coll'Osservatorio di Parigi”. La stazione meteorologica era dotata di un barometro (al pozzetto: 12,87 m s.l.m.m.), un termometro, un anemoscopio, un udometro “formato da un vaso circolare di rame [...] del diametro di 50 centimetri; l'acqua piovuta [...] si misura colla massima esattezza e se ne prende il quarto” (Monte, 1858).

⁴ La documentazione relativa alla storia dell'Osservatorio, comprese le schede originali di Pietro Monte (178 registri e 7 quaderni) è conservata presso l'Archivio Storico del Comune di Livorno.

⁵ Le ricerche indicano che in inverno la massima attività temporalesca si sviluppa in mare a poca distanza dalla costa, in autunno essa è pressoché centrata nell'area costiera, mentre dalla primavera all'estate si sposta sempre più all'interno della terraferma (Bossolasco *et al.*, 1969).

⁶ Gli Annali Idrologici (Parte Prima) sono disponibili in rete nel sito del Servizio Idrologico Regionale: con le interruzioni per cause belliche tra il giugno 1943 e dicembre 1944. Nel 1945 furono riprese, ma i dati da gennaio ad agosto sono stati ricostruiti, perciò scarsamente affidabili, per essere ancora interrotte fino al 1947. Dal 1 gennaio 1948 furono riprese fino a dicembre 1996.

⁷ Nelle serie termo-pluviometriche dove $N \geq 49$, la aleatorietà dei dati si stima con il conteggio – nella poligonale cronologica –, del numero dei massimi, dei minimi e del numero di tratti tra i minimi e i massimi (fasi). In una serie aleatoria pura il numero dei massimi (S) e dei minimi (C) obbedisce alla relazione $S = C = 1/3 (N - 2)$, e il numero delle fasi a $F = 2/3 (N - 2) - 1$ (Kivéliovitch & Vialar, 1953).

⁸ Il confronto con il catalogo di Pisa, rilevato dal 1867 ad oggi presso la ex Scuola Superiore di Agraria dell'Università di Pisa, sviluppato con la doppia cumolazione delle piogge annue delle due stazioni (Ven Te Chow, 1964; Escourrou, 1978), mostra la presenza di qualche lieve serpeggiamento rispetto alla retta della regressione lineare, tuttavia il coefficiente di determinazione ($R^2 = 0,9995$) conferma l'affidabilità sostanziale del catalogo di Livorno.

⁹ Il catalogo meteorologico di Livorno è stato oggetto di studio da Meini *et al.* (1979), dove è sviluppata l'analisi dei principali elementi del clima dal 1857 al 1976.

¹⁰ In questo sistema di classificazione, che riferisce all'Italia, le possibili combinazioni dei regimi pluviometrici stagionali sono ventiquattro, che si ottengono dalla permutazione delle iniziali delle stagioni: EAPI, EPAI, EPIA, EAIP, AEPI, AEIP, PAEI, PEAI, APEI, EIAP, EIPA, PEIA, PAIE, PIEA, PIAE, APIE, AIPE, AIEP, IAPE, IAEP, IPAE, IPEA, IEAP, IEPA (Pinna & Vittorini, 1985).

¹¹ Indice $SPI = (X - \bar{X})/\sigma$, dove X è il valore di un qualsiasi anno del catalogo pluviometrico, \bar{X} il valore medio del periodo, σ la deviazione standard dei valori argomentali.

¹² In un primo lungo periodo di tempo, dall'inizio delle misure della pioggia ai primi due decenni del Ventesimo secolo, si consideravano piovosi quei giorni in cui fosse caduta anche solo qualche goccia di pioggia, come ci riferisce Pietrantonio Butori, autore di una pregevole raccolta di misure pluviometriche a Camaiore (Repubblica di Lucca) dal 1777 al 1826. Egli riferisce infatti: “Hò indicato per giorni con piogge quelli né quali realmente qualche pioggia è caduta, ò ella sia stata di lunga, ò di corta durata” (Butori, 1817).

¹³ La diversa pericolosità pluviometrica dell'area costiera tra il Levante Ligure e la Versilia, rispetto a quella della costa livornese, è rappresentata dalle intensità pluviometriche che negli ultimi decenni hanno interessato i due settori tirrenici: a Valleregia e a Bolzaneto, tra il 7 e l'8 ottobre 1970, la pioggia raggiunse rispettivamente 948,4 mm e 932,6 mm (fonte: Servizio Idrografico e Mareografico di Genova); il 19 giugno 1996 a Pomeziana (Alta Versilia), l'intensità raggiunse 30,8 mm/5 minuti, 53,2 mm/10 minuti, 112,8 mm/30 minuti e 158,0 mm/60 minuti (fonte: Ufficio Idrografico e Mareografico dell'Arno; Rapetti & Rapetti, 1996).

¹⁴ Non sono note le intensità orarie delle piogge cadute a Micciano e a Sassa, poiché all'inizio degli anni Trenta del secolo scorso l'unico pluviometro registratore nell'area era quello di Volterra, dove la pioggia del 29 settembre 1930 fu di 143,2 mm. Sulla base delle registrazioni in quella località, l'Ufficio Idrografico dell'Arno ha stimato le intensità massime di 95 mm/60 minuti a Micciano e 88 mm/60 minuti a Sassa, in entrambe le stazioni tra le ore 16:00 e le 17:00 del 29 settembre 1930.

¹⁵ Le norme internazionali (OMM) prescrivono che le stazioni pluviometriche siano impiantate in luoghi lontani da ingombri naturali o artificiali, che la bocca dell'imbutto raccoglitore abbia una giacitura rigorosamente orizzontale ed una altezza di 150 centimetri dal piano di campagna.

¹⁶ Gli elementi anemologici che entrano in gioco sono il coefficiente di topografia (c), posto uguale al valore unitario in assenza di ingombri di qualsiasi natura nella prossimità della stazione, la turbolenza e le perturbazioni aerodinamiche determinate dall'impianto di misura della pioggia (CNR 207/2008).

¹⁷ L'accuratezza del pluviometro stima la differenza tra il valore misurato e il “valore vero”, che viene determinato con sofisticati procedimenti di laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- ANTINORI V., 1858. *Archivio Meteorologico Centrale Italiano nell'I. e R. Museo di Fisica e di Storia Naturale*. Prima Pubblicazione. 65, Società Tipografica sulle Logge del Grano, Firenze, 505 pp.
- ASSOCIAZIONE PRO LICEO CLASSICO DI LIVORNO, 2009. *Il Liceo Classico a Livorno*. Editrice O. Debatte srl, Livorno, 335 pp.
- BARSOZZI G., FEDERICI P.R., GIANNELLI L., MAZZANTI R., SALVATORINI G., 1974. Studio del Quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia ed alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale. *Memorie della Società Geologica Italiana* 13: 425-495.
- BOSSOLASCO M., DAGNINO I., FLOCCHINI G., 1969. Il contrasto mare-terra nella genesi dei temporali. *Geofisica e Meteorologia, Bollettino Società Italiana Geofisica e Meteorologia* 18(3-4): 45-50.
- BUTORI P., 1817. *Resultati meteorologici di anni quaranta offerti e dedicati all'Accademia lucchese delle scienze, e delle belle lettere ed arti dal collega Pietrantonio Butori canonico della insigne collegiata chiesa di Camajore*. Dalla tipografia di Francesco Bertini, Lucca, 52 pp.
- CAMUFFO D., BERNARDI A., ONGARO A., 1991. *Variazioni secolari delle piogge nell'Italia Settentrionale*. In Pinna M.: Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XX secolo. Proceedings of the Italian Geographical Society Conference, Roma, 5-6 aprile 1990, *Memorie della Società Geografica Italiana* 46: 363-383.
- CANTÙ V., 1984. Ferdinando II de' Medici creatore della meteorologia moderna. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi, Firenze* 28(56): 661-675.
- CANTÙ V., NARDUCCI P., 1967. Lunghe serie di osservazioni meteorologiche. *Rivista Meteorologia Aeronautica* 27(2): 71-79.
- CORTEMIGLIA G.C., 2002. Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001). *Quaderno N. 3. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova*. Litocoop Srl, Tortona (AL), 162 pp.
- CUCURNIA G., 2020. L'alluvione di Marina di Carrara (Toscana, Italia) del 5 novembre 2014: descrizione dell'evento meteorologico ed analisi dei fattori geografici e geomorfologici predisponenti. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 127: 5-14. doi: 10.2424/ASTSN M.2020.11
- ESCOURROU G., 1978. *Climatologie pratique*. Collection Géographie. Édition Masson, Paris, 192 pp.
- ETTEHAD R., LOSSAINT P., RAPP M., 1973. Recherches sur la dynamique et le bilan de l'eau del sols de deux écosystèmes méditerranéens á chchéne vert. *Écologie du Soil, Recherche coopérative sur programme n. 40, C.N.R.S.*, 3: 198-288. Paris.
- GIUFFRIDA A., CONTE M., 1991. L'evoluzione a lungo termine del clima italiano. In Pinna M.: Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XX secolo. Proceedings of the Italian Geographical Society Conference, Roma, 5-6 aprile 1990, *Memorie della Società Geografica Italiana* 46: 329-342.
- HORTON, E.R., 1919. Rainfall Interception. *Monthly Weather Review* 47: 603-623.
- KIVÉLIOVITCH M., VIALAR J., 1953. Étude statistique des séries chronologiques. *Journal Scientifique et Météorologique* 5, 17: 21-46.
- LANZA L.G., LEROY M., VAN DER MEULEN J., ONDRAS M., 2005. *The WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity (RI) Gauges. September 2004-September 2005: 10 CIMO report*.
- LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., NENCINI C., 1990. Geologia e geomorfologia dei Comuni di Livorno e Collesalveti. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*. Supplemento n. 2: 1-85.
- MAZZANTI R., 2008. *Elementi per la storia del clima in Toscana dal Miocene all'Olocene*. Felici Editore, Ghezzano (Pisa), 141 pp.
- MAZZARELLA A., TRANFAGLIA G., 2000. Fractal Characterisation of Geophysical Measuring Networks and its Implication for an Optimal Location of Additional Stations: An Application to a Rain-Gauge Network. *Theoretical and Applied Climatology* 65: 157-163. doi: 10.1007/s007040070040
- MEINI L., MUCCI G., VITTORINI S., 1979. Ricerche meteomarine sul litorale toscano: centoventi anni di osservazioni meteorologiche a Livorno (1857-1976). *Bollettino della Società Geografica Italiana, Serie* 10 8: 449-474.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. SERVIZIO IDROGRAFICO, 1967. *Carta delle linee dei massimi periodi con precipitazione nulla nel quarantennio 1921-1960*. Tipografia Riccardi, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. SERVIZIO IDROGRAFICO, 1919. *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915. Liguria e Toscana. Ordinate a cura del prof. Filippo Eredia*. Tipografia Nazionale, Bertero, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. SERVIZIO IDROGRAFICO, 1925. *Osservazioni pluviometriche raccolte nel quinquennio 1916-1920. Ordinate a cura del prof. Filippo Eredia*. Tipografia Nazionale, Bertero, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO DELL'ARNO (1916-1996). *Annali Idrologici. Parte Prima*. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- MONTE P., 1858. Osservazioni meteorologiche fatte nell'I. e R. Liceo di Livorno dal prof. Pietro Monte Barnabita. *Il Nuovo Cimento, Giornale di Fisica, di Chimica e Scienze affini*. Tomo VII, Torino, Presso i tipografi-librai G.B. Paravia e C.: 368-375.
- PANICUCCI M., 1966. *Sugli errori derivanti dalle registrazioni effettuate mediante comuni pluviometri in zone non pianeggianti (Valutazione teorica)*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, 20 pp.
- PANICUCCI M., 1967. *Sugli errori derivanti dalle registrazioni effettuate mediante comuni pluviometri in zone non pianeggianti (Il pluviometro «direzionale»)*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, 13pp.
- PINNA S., 2006. *Le piogge intense in Toscana*. Felici Editore, Pisa, 164 pp.
- PINNA S., 2014. *La falsa teoria del clima impazzito*. Felici Editore, Pisa, 158 pp.
- PINNA S., 2018. L'andamento del clima in Italia dopo il 1950. *Ambiente Fisico e Territorio*: 1-134.
- PINNA M., VITTORINI S., 1985. Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia. In Pinna M.: *Contributi di Climatologia. Memorie della Società Geografica Italiana* 39: 147-167.
- PRESIDENZA C.D.M., SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO DI PISA. *Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica: analisi delle precipitazioni intense delle stazioni del compartimento di Pisa*. LitoTipografia Vigo Cursi, Pisa, 229 pp.

- RAPP M., IBRAHIM M., 1978. Égouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L. *Oecologia Plantarum* 13 (4): 321-330.
- 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 di 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 della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B* 104: 73-90.
- RAPETTI F., 2018. L'alluvione di Livorno del 9-10 settembre 2017 (Toscana, Italia). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 125: 45-53.
- RAPETTI F., RUSCHI M., 2010. Osservazioni botanico-meteorologiche condotte da Giovanni Lorenzo Tilli presso il Giardino dei Semplici di Pisa (1775-1780). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 114: 45-59.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1972. I venti piovosi a Legoli (Toscana) in relazione ai processi di erosione del suolo. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 80: 1-16.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1991. Studio di serie pluviometriche secolari in Toscana. In Pinna M.: Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XX secolo. Proceedings of the Italian Geographical Society Conference, 5-6 aprile 1990, *Memorie della Società Geografica Italiana* 46: 457-478.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1994. Le precipitazioni in Toscana: osservazioni sui casi estremi. *Rivista Geografica Italiana* 101: 47-76.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 2012. Note illustrative della Carta Climatica della Toscana. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 117-119: 41-74.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 2013. Note illustrative della Carta Climatica della Liguria. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 120: 75-99.
- REGIONE TOSCANA, 2018. *Rapporto sullo stato delle Foreste in Toscana 2016*. Tipografia IGV S.r.l., San Giovanni Valdarno (AR), 164 pp. ISBN 978-88-98850-30-3
- RÉMÉNIÉRAS, G. 1959. *Éléments d'hydrologie appliquée*. Édition Armand Colin, Paris, 208 pp.
- TAUPIER-LETAGE I., PIAZZOLA J., BRUNO ZAKARDJIAN B., 2013. Les îles d'Hyères dans le système de circulation marine et atmosphérique de la Méditerranée. *Scientific Reports of the Port-Cros National Park* 27: 29-52.
- THOM H.C.S., 1966. Some methods of climatological analysis. *W.M.O. Technical Note* 81: 1-53.
- TILLI G.L., 1771. Osservazioni Botanico-Meteorologiche fatte in Pisa, rispettivamente per gli anni 1775, 1778, 1779, 1780. *Magazzino Toscano* XXVI: 113-139; *Nuovo Magazzino Toscano* III: 135-175; VIII; IX: 165-185.
- TORRI D., 1979. Modello per la stima degli afflussi su un versante mediante misure standard di pioggia. Direzione e velocità del vento. *Annali dell'Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo* 10: 225-233.
- TORRI D., D'EGIDIO G., 1979. Misura degli afflussi idrometeorici su un versante. *Pubblicazione dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, 10: 211-223.
- VALLISNÈRI A., 1726. *Lezione accademica intorno l'origine delle fontane*. II edizione. Appreso Pietro Poletti, Venezia.
- VEN TE CHOW, 1964. *Handbook of applied Hydrology*. Mac Graw-Hill, New York.
- VITTORINI S., 1965. La valutazione quantitativa dell'erosione nei suoli argillosi pliocenici della Val d'Era. *Atti XIX Congresso Geografico Italiano*, Como, 18-23 maggio 1964: 83-100.
- VITTORINI S., 1971. La degradazione in un campo sperimentale nelle argille plioceniche della Val d'Era (Toscana) e i suoi riflessi morfogenetici. *Rivista Geografica Italiana* 78 (2): 3-30.
- ZANCHETTA G., BECATTINI R., BONADONNA F.P., BOSSIO A., CIAMPALINI A., COLONNESE A., DALL'ANTONIA B., FALICK A.E., LEONE G., MARCOLINI F., MARIOTTI LIPPI M., MICHELUCCI L., 2006. Late Middle Pleistocene cool non-marine mollusc and small mammal faunas from Livorno (Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 112: 135-155.

(ms. pres. 7 dicembre 2020; ult. bozze 15 dicembre 2020)

APPENDICE

Catalogo delle piogge mensili e annue a Livorno (1857-2019) (in millimetri)

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
1857	110,5	58,9	38,4	74,9	56,6	25,0	26,8	65,7	222,0	219,1	69,9	19,1	986,9
1858	16,0	69,9	77,3	34,1	55,8	8,5	44,1	58,7	29,8	336,1	125,5	37,0	892,8
1859	36,3	60,3	7,7	21,7	93,9	168,0	2,5	56,3	136,9	243,5	73,0	182,1	1.082,2
1860	142,5	73,3	55,0	155,6	67,0	30,5	10,3	11,3	57,5	11,0	143,7	185,0	942,7
1861	27,8	174,3	59,5	6,7	21,8	43,8	3,3	13,0	60,8	107,3	71,2	22,2	611,7
1862	126,1	95,8	182,0	24,9	114,5	28,6	0,0	20,4	106,7	194,6	150,0	75,7	1.119,3
1863	95,8	5,3	111,1	4,0	95,4	10,9	65,0	12,1	72,6	221,8	177,0	86,0	956,1
1864	20,0	141,2	89,4	14,5	14,8	8,2	0,3	30,0	88,2	110,5	178,8	120,0	815,9
1865	85,0	52,3	104,7	4,0	10,2	20,7	45,7	20,7	0,0	250,9	149,4	87,9	831,5
1866	40,0	17,8	103,2	84,5	27,5	19,8	11,0	12,6	58,8	40,9	53,8	12,2	482,1
1867	199,0	43,7	73,8	26,4	39,1	15,4	11,2	126,0	96,0	82,4	66,6	25,5	805,1
1868	67,6	5,2	24,2	48,6	41,7	46,1	122,8	45,4	215,6	135,9	171,5	105,3	1.029,7
1869	33,6	17,7	110,9	18,6	24,6	12,1	10,0	11,7	106,7	104,6	115,8	212,1	778,4
1870	36,3	52,0	40,2	12,3	10,8	78,7	9,5	111,0	1,8	88,2	168,4	186,9	796,1
1871	89,7	25,1	28,4	41,2	43,4	45,5	0,0	30,3	39,2	14,1	198,0	77,7	632,6
1872	109,1	54,4	95,6	64,2	106,6	45,4	17,1	30,9	19,1	501,5	144,6	199,5	1.388,9
1873	91,2	76,6	55,4	89,1	19,3	57,3	49,2	0,6	75,4	252,2	257,7	16,2	1.040,2
1874	23,8	38,8	19,1	55,8	73,2	10,3	10,4	17,0	102,5	96,6	18,8	171,2	637,5
1875	38,2	77,0	96,7	47,7	52,5	65,0	49,1	115,9	55,8	122,4	77,7	56,2	854,2
1876	56,4	49,8	61,5	84,7	67,7	67,1	5,0	82,8	15,3	28,6	64,3	156,5	739,7
1877	15,2	17,9	172,3	60,0	56,2	27,3	7,0	0,0	69,4	36,9	107,7	119,7	689,6
1878	29,6	24,2	67,5	30,9	20,7	31,3	0,0	22,2	126,3	159,5	152,3	207,2	871,7
1879	21,3	140,1	106,7	158,2	117,2	0,0	43,0	7,0	67,5	7,3	67,5	9,5	745,3
1880	23,5	49,0	11,2	102,3	88,1	25,0	0,0	161,2	96,1	80,4	73,0	62,2	772,0
1881	309,7	27,0	33,1	31,6	140,1	83,8	0,0	5,6	231,9	239,6	78,4	89,4	1.270,2
1882	39,9	18,6	48,8	24,4	35,9	67,7	23,7	20,6	229,1	156,4	75,2	131,9	872,2
1883	81,2	82,2	146,8	45,5	62,0	40,4	35,9	0,5	67,1	21,7	78,0	14,4	675,7
1884	33,9	6,0	30,1	111,3	18,2	48,4	2,4	75,0	86,4	50,0	27,0	134,4	623,1
1885	90,6	61,0	60,8	110,2	38,2	15,9	83,8	62,1	175,8	201,3	129,5	29,3	1.058,5
1886	41,6	46,2	48,7	85,9	44,8	69,8	1,5	34,2	28,5	193,0	124,9	187,4	906,5
1887	59,6	23,4	103,5	102,3	109,4	18,8	18,6	0,0	46,6	122,5	203,9	168,7	977,3
1888	20,6	150,8	108,7	48,7	24,7	19,5	7,9	35,1	84,3	187,1	102,0	88,2	877,6
1889	48,0	121,1	65,5	111,9	77,1	58,8	22,3	6,5	73,7	325,7	99,6	66,4	1.076,6
1890	39,5	6,5	77,4	115,3	34,6	3,6	13,6	20,6	49,7	62,2	100,0	73,6	596,6
1891	104,9	5,9	45,8	55,5	59,3	40,3	20,5	26,6	11,1	148,8	26,5	50,7	595,9
1892	106,7	107,0	136,0	59,3	38,8	13,9	10,8	17,5	18,8	76,3	115,7	114,0	814,8
1893	70,7	87,4	6,0	6,9	50,0	22,0	104,6	16,0	51,7	97,5	256,1	71,9	840,8
1894	86,0	20,1	19,1	64,4	67,2	7,3	2,0	0,8	52,9	60,6	41,0	12,9	434,3
1895	94,9	125,2	80,7	83,9	60,3	74,8	7,3	4,2	5,0	251,4	92,3	196,9	1.076,9
1896	15,3	45,0	29,7	41,3	132,3	68,0	46,7	280,0	138,1	150,8	188,2	112,2	1.247,9

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
1897	87,2	7,9	69,6	27,3	49,3	6,0	42,0	35,2	109,0	170,9	46,7	115,2	766,3
1898	67,4	72,5	143,4	136,5	77,0	161,0	67,0	131,0	67,1	224,3	174,0	61,8	1.383,0
1899	52,9	41,7	38,0	107,5	17,7	59,5	22,0	29,5	61,3	193,7	117,9	123,4	865,1
1900	145,8	94,6	151,0	138,0	127,5	36,4	29,5	8,1	123,9	61,8	368,2	64,1	1.348,9
1901	5,8	124,7	141,3	30,8	50,4	65,5	17,4	2,5	81,0	156,6	21,3	128,5	825,8
1902	64,3	180,7	84,8	102,0	72,6	59,6	12,6	24,6	91,9	200,4	118,2	24,4	1.036,1
1903	41,1	9,3	77,2	53,8	48,6	125,1	55,7	0,0	51,2	201,0	101,9	273,6	1.038,5
1904	56,7	47,3	105,8	44,4	2,9	10,3	1,1	41,4	132,3	31,0	63,0	61,4	597,6
1905	42,6	98,9	66,2	45,2	98,1	78,6	55,9	91,2	100,0	163,9	227,3	19,0	1.086,9
1906	31,6	83,0	70,4	31,2	37,2	42,3	51,6	0,0	24,4	119,8	172,6	46,4	710,5
1907	62,9	46,4	20,5	138,5	48,9	38,2	32,3	2,4	94,1	348,6	107,1	147,8	1.087,7
1908	37,2	52,6	193,6	59,2	113,8	79,2	63,7	32,9	37,3	30,5	90,8	99,2	890,0
1909	37,0	58,9	234,7	9,9	19,1	108,6	14,0	49,9	120,1	52,1	86,5	81,8	872,6
1910	61,5	76,2	31,7	99,5	55,9	43,0	6,2	22,7	128,4	91,7	140,2	311,2	1.068,2
1911	25,1	37,1	59,6	64,0	146,3	133,9	4,0	21,8	171,3	55,1	116,1	72,4	906,7
1912	98,0	58,0	52,9	33,7	59,7	82,4	18,5	21,7	22,9	115,3	100,7	48,5	712,3
1913	116,1	15,1	58,9	96,7	34,6	69,2	29,4	6,5	137,6	63,3	185,0	65,6	878,0
1914	71,6	65,9	82,8	10,7	91,3	96,4	8,7	44,7	16,6	98,6	62,8	90,0	739,9
1915	124,5	141,2	53,2	22,6	102,4	128,2	4,5	0,4	126,5	102,3	128,7	63,3	997,8
1916	5,7	37,1	184,9	19,6	99,8	1,0	2,2	49,5	170,2	96,1	164,5	212,7	1.043,3
1917	155,5	46,2	110,1	83,7	70,5	5,8	16,9	16,2	57,0	103,2	42,1	56,2	763,4
1918	51,0	4,8	51,7	154,1	43,7	24,8	0,0	2,3	66,2	109,7	48,0	52,1	608,4
1919	173,6	26,5	39,3	63,1	56,5	23,8	19,9	15,0	48,9	87,3	179,7	15,2	748,8
1920	113,5	15,0	125,0	46,8	8,1	49,7	70,8	79,1	259,4	149,4	165,1	112,3	1.194,2
1921	84,5	50,3	43,6	97,0	41,8	41,1	51,9	24,1	27,6	22,0	49,3	24,2	557,4
1922	58,1	64,7	39,8	62,4	38,2	59,3	0,5	25,7	113,9	136,4	30,7	93,5	723,2
1923	42,2	140,2	22,0	137,8	9,2	26,2	0,0	60,8	96,0	21,0	143,6	65,6	764,6
1924	59,1	83,0	39,0	168,9	23,7	27,9	13,6	31,9	35,0	137,3	4,6	46,5	670,5
1925	59,2	101,0	45,3	73,7	115,5	1,8	28,0	21,8	28,1	23,3	178,3	27,6	703,6
1926	100,2	67,8	29,4	59,2	91,0	12,4	37,0	17,8	37,6	74,8	226,8	109,2	863,2
1927	165,0	29,9	134,8	61,0	44,8	57,0	8,1	1,5	36,0	45,5	131,1	111,5	826,2
1928	59,7	18,1	172,3	36,1	67,2	6,6	7,5	1,7	236,6	87,0	138,5	45,9	877,2
1929	95,5	109,0	11,3	10,1	34,0	19,9	6,2	12,6	32,6	118,6	95,5	83,4	628,7
1930	112,2	180,2	147,2	95,6	97,9	17,4	3,6	15,8	6,4	51,4	31,4	80,0	839,1
1931	67,1	131,8	91,1	66,7	86,9	9,8	1,2	2,7	77,4	54,5	183,7	13,4	786,3
1932	10,4	9,0	77,8	54,4	69,0	57,6	108,5	13,4	121,1	132,6	145,3	114,7	913,8
1933	94,8	42,9	18,5	19,0	10,2	84,7	7,4	2,0	61,0	30,4	156,5	178,5	705,9
1934	38,3	58,3	165,5	94,2	57,2	43,9	1,0	25,2	65,9	65,0	199,3	78,7	892,5
1935	83,8	44,2	43,6	61,4	57,4	2,4	0,6	80,6	31,2	387,5	169,1	129,0	1.090,8
1936	90,8	101,4	109,6	111,2	58,4	68,4	33,4	5,8	101,7	87,2	29,6	60,0	857,5
1937	95,2	41,2	167,8	109,4	50,6	113,8	14,4	96,2	96,6	75,2	163,4	222,6	1.246,4
1938	42,4	16,4	9,6	60,4	120,8	72,6	5,2	51,8	143,8	193,4	76,6	75,6	868,5
1939	90,2	8,0	49,8	35,8	135,6	8,8	0,0	68,2	133,0	119,2	97,2	126,6	872,2

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
1940	44,4	78,2	11,6	1,8	91,0	160,8	13,0	74,4	13,8	311,2	118,8	11,4	930,4
1941	144,0	173,8	36,2	117,6	111,8	19,2	8,8	10,0	30,0	72,8	158,6	20,6	903,4
1942	66,9	95,2	82,0	100,4	57,2	127,4	28,6	2,8	101,2	210,4	68,6	129,6	1.070,3
1943													
1944													
1945	50,8	33,3	40,0	17,0	20,3	5,0	0,0	15,0	10,0	57,0	150,0	48,0	446,4
1946													
1947													
1948	101,0	32,4	0,0	56,2	49,0	17,8	10,8	19,8	79,4	80,6	19,4	61,2	527,6
1949	69,6	1,0	55,6	21,2	72,4	73,2	0,0	3,0	63,2	174,2	317,2	73,2	923,8
1950	68,0	71,2	31,2	135,2	19,0	8,2	0,0	27,8	114,2	140,4	78,8	176,6	870,6
1951	123,2	188,8	92,0	47,4	62,8	15,6	13,8	12,8	80,2	84,0	81,4	21,6	823,6
1952	84,4	81,2	21,0	14,0	53,4	0,0	18,6	8,4	118,0	74,6	126,6	131,6	731,8
1953	62,8	47,6	1,6	82,6	46,2	75,6	44,4	61,8	12,8	229,4	53,0	80,4	798,2
1954	96,4	136,2	65,4	42,8	45,2	33,0	10,0	53,6	73,4	21,0	58,0	39,8	674,8
1955	57,4	129,6	33,2	1,8	16,2	22,2	85,8	34,3	106,2	27,8	123,0	111,0	748,5
1956	130,4	40,6	59,4	59,6	34,0	42,2	2,0	2,6	47,4	31,2	88,8	36,8	575,0
1957	46,4	84,0	15,2	85,0	83,4	44,2	15,4	11,6	7,2	51,2	85,0	78,4	607,0
1958	43,6	24,6	89,2	79,6	15,8	25,0	11,2	0,4	3,8	95,6	79,2	123,0	591,0
1959	75,6	22,6	101,2	48,0	68,6	8,0	5,4	39,8	55,2	52,6	125,6	279,0	881,6
1960	108,2	94,8	120,8	77,0	12,4	28,6	18,8	0,6	103,4	215,2	111,4	179,4	1.070,4
1961	84,6	17,6	6,0	120,4	33,0	34,0	36,6	4,0	78,2	218,0	155,8	156,6	944,8
1962	47,2	28,4	84,4	10,6	77,6	14,0	2,6	0,0	71,4	118,6	176,6	83,8	715,2
1963	140,0	76,8	96,6	85,4	25,8	56,8	32,0	96,2	199,6	31,4	79,8	63,8	984,2
1964	3,0	93,4	100,4	66,8	17,2	38,2	17,6	15,2	18,2	378,6	41,4	132,8	922,8
1965	72,8	13,4	96,0	39,2	64,4	16,6	0,4	84,6	232,6	17,0	146,8	70,8	854,6
1966	47,8	126,9	26,8	33,4	15,4	9,0	37,2	67,2	38,4	274,0	283,6	52,6	1.015,0
1967	41,0	46,8	38,0	15,8	53,6	56,4	0,0	18,8	90,8	18,4	81,4	104,4	565,4
1968	43,2	127,6	31,8	58,6	115,0	27,6	4,2	59,8	20,6	79,6	84,0	60,8	712,8
1969	108,0	120,0	86,4	36,8	59,4	28,2	44,8	37,2	84,0	25,6	169,4	63,8	863,6
1970	136,8	56,6	99,2	52,0	12,0	198,2	17,0	34,2	0,0	20,0	55,2	75,4	756,6
1971	43,4	45,8	55,0	15,4	134,4	201,2	7,6	10,0	23,6	63,4	188,8	48,8	837,4
1972	114,0	74,2	68,0	42,0	31,6	34,0	17,2	26,8	66,2	74,6	65,2	67,0	680,8
1973	64,6	24,0	7,8	36,0	13,0	74,6	2,4	18,6	245,2	103,2	39,0	32,0	660,4
1974	45,2	80,4	88,6	75,4	54,6	14,8	5,0	48,6	77,2	38,6	52,0	16,4	596,8
1975	22,0	31,0	97,0	52,8	71,8	36,6	0,0	23,2	86,4	131,4	188,4	76,2	816,8
1976	14,0	88,6	50,8	53,8	20,6	23,0	51,4	79,4	110,4	247,8	123,8	112,2	975,8
1977	88,4	75,2	85,0	10,8	151,2	9,0	25,0	59,8	46,8	71,8	48,8	39,8	711,6
1978	71,2	71,4	32,4	103,6	48,2	5,2	16,6	3,4	8,2	81,2	38,4	70,6	550,4
1979	84,8	64,0	117,0	81,6	2,8	12,4	12,4	8,0	170,6	154,0	94,8	135,4	937,8
1980	37,6	24,0	118,4	14,6	88,4	37,0	12,0	68,8	8,2	210,2	151,0	51,8	822,0
1981	19,6	18,6	59,4	76,8	35,6	26,6	38,0	10,2	121,4	163,6	0,2	116,4	686,4
1982	22,2	25,8	44,6	15,2	35,0	6,2	20,0	27,2	59,8	187,0	70,4	93,0	606,4

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
1983	12,8	99,8	88,6	26,6	14,2	58,6	1,0	106,4	14,0	53,2	13,2	101,8	590,2
1984	135,2	43,6	51,4	81,4	139,8	31,2	9,2	156,8	138,0	121,0	197,8	59,0	1.164,4
1985	77,4	34,0	113,4	8,0	70,6	2,6	0,0	57,8	34,4	56,0	144,8	43,0	641,8
1986	124,8	68,8	100,6	98,6	0,2	90,4	40,6	12,4	82,4	13,6	41,2	48,6	722,2
1987	116,3	88,2	13,8	23,8	51,6	19,8	30,6	12,6	0,0	217,2	148,0	34,6	756,5
1988	74,0	35,8	44,0	105,2	33,4	65,8	7,2	6,4	13,4	80,4	157,6	41,4	664,6
1989	41,8	6,8	20,2	178,6	5,4	2,2	43,2	62,8	171,8	35,2	59,4	33,4	650,8
1990	27,8	23,0	48,2	211,6	1,8	28,2	8,6	24,4	174,0	299,4	105,0	127,2	0,0
1991	16,0	39,4	57,6	56,6	83,8	47,2	7,4	61,4	112,0	219,8	136,8	4,2	842,2
1992	19,6	16,0	6,0	87,2	58,4	117,0	16,8	43,2	87,4	308,2	39,2	63,6	862,6
1993	0,0	5,8	48,4	52,6	40,8	10,8	0,0	16,6	93,4	320,8	142,8	80,0	812,0
1994	58,2	25,2	0,0	149,2	38,6	89,2	9,0	0,0	70,8	52,8	142,4	62,8	698,2
1995	18,8	50,0	38,8	47,8	66,0	38,6	2,4	67,4	74,2	38,8	50,6	101,6	595,0
1996	64,8	68,8	11,8	81,0	77,0	15,4	9,8	102,4	86,6	59,6	189,4	70,6	837,2
1997	121,6	32,2	20,0	84,2	17,3	59,4	5,4	32,4	56,0	70,0	114,8	103,8	717,1
1998	61,0	65,0	41,8	57,2	49,8	29,0	3,4	1,4	70,8	110,2	37,4	44,8	571,8
1999	66,8	23,8	61,8	42,2	13,4	71,6	4,0	13,0	102,8	134,2	160,8	49,6	744,0
2000	8,4	0,6	86,0	72,0	3,0	37,0	25,8	16,8	22,6	202,8	180,0	43,2	698,2
2001	64,6	36,0	123,0	59,6	33,8	5,0	10,0	0,0	85,6	84,8	185,0	40,2	727,6
2002	24,2	67,4	5,4	81,8	64,6	33,4	60,2	93,4	90,4	110,2	128,4	119,0	878,4
2003	107,0	12,4	22,0	103,2	0,6	5,8	0,0	14,0	89,0	93,0	224,0	85,2	756,4
2004	59,0	122,2	104,6	91,0	48,6	33,8	9,6	2,2	56,6	205,0	91,2	141,2	965,0
2005	19,6	71,2	43,8	31,0	38,2	20,8	0,6	69,0	126,8	97,8	185,2	104,4	808,4
2006	81,4	54,2	34,6	17,0	75,2	8,2	33,0	22,6	226,2	73,6	89,2	77,6	792,8
2007	53,8	57,0	54,6	0,2	135,4	21,2	0,8	22,6	44,2	50,6	63,8	80,4	584,4
2008	118,8	35,0	87,6	51,0	101,4	19,2	0,0	9,4	42,6	137,8	264,2	144,0	1.004,0
2009	86,2	171,8	151,8	90,6	3,6	44,6	1,2	1,4	193,6	71,8	71,2	162,0	1.049,8
2010	161,8	59,2	45,4	98,0	157,6	55,2	60,0	63,0	88,0	128,6	240,6	145,8	1.303,2
2011	49,6	81,2	78,6	16,8	1,4	34,6	18,6	0,0	49,8	19,2	28,6	51,4	429,8
2012	17,6	46,0	22,8	96,2	92,8	4,2	0,0	9,2	39,0	150,8	176,4	97,2	752,2
2013	157,4	137,4	157,6	54,6	73,6	8,8	14,0	24,2	76,2	151,4	79,2	28,4	962,8
2014	286,8	129,6	97,6	30,8	29,8	34,8	210,0	8,0	56,0	112,6	304,4	92,4	1.392,8
2015	79,6	101,4	59,4	58,2	13,0	26,6	13,0	113,8	25,8	168,8	34,0	20,2	713,8
2016	79,6	101,4	59,4	58,2	13,0	26,6	13,0	113,8	25,8	168,8	34,0	20,2	814,2
2017	23,6	93,0	34,6	32,0	13,2	41,6	9,6	3,2	264,2	1,8	145,8	88,8	751,4
2018	28,8	91,6	180,0	50,6	117,2	3,6	16,6	41,6	21,8	54,8	52,4	51,8	710,8
2019	42,2	41,2	1,2	96,2	45,4	1,0	72,2	24,8	38,0	154,2	301,0	119,6	937,0
Media	71,0	63,3	69,5	63,1	56,1	42,5	21,1	34,4	81,9	123,9	118,8	88,8	833,8

Edizioni ETS

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

info@edizioniets.com - www.edizioniets.com

Finito di stampare nel mese di dicembre 2020