

PIO BERSANI

150 anni di piene del fiume Tevere a Roma dal 1871 al 2020

anche in relazione alle variazioni climatiche
intervenute nel tempo



ROMA, MARZO 2023

Supplemento al n. 2-2023 della Rivista L'Acqua

INDICE

1.	PREMESSE	5
2.	IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME TEVERE	7
3.	PRINCIPALI VARIAZIONI DELL'ALVEO DEL TEVERE DAL 1871 AL 2020	12
4.	METODOLOGIA DI STUDIO DELLE PIENE DEL TEVERE A ROMA	19
5.	COLMI IDROMETRICI DI PIENA DEL TEVERE A ROMA PER ANNO E PER DECENNIO IN RELAZIONE ALLA PIOVOSITÀ	47
6.	MASSIME ALTEZZE IDROMETRICHE PER MESE IN DIVERSI PERIODI DI TEMPO	60
7.	IL TRASPORTO SOLIDO DEL FIUME TEVERE A ROMA	63
8.	MASSIMA ALTEZZA IDROMETRICA E MASSIMA PORTATA STORICA DEL TEVERE A ROMA	80
9.	MASSIMA PIOGGIA GIORNALIERA POSSIBILE SUL BACINO DEL TEVERE	89
10.	CHANGE POINT CLIMATICI OSSERVATI NEL BACINO DEL TEVERE E PREVISIONE DEL CLIMA FUTURO.	93
11.	RUOLO DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE E DELL'INFILTRAZIONE NEGLI EVENTI DI PIENA	102
12.	INVASI ESISTENTI E NUOVI INVASI IN PROGETTO	108
13.	RISCHI IDRAULICI ATTUALI NELLA CITTÀ DI ROMA E COMPETENZE SULLA MANUTENZIONE DEI CORSI D'ACQUA	110
14.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	112
	BIBLIOGRAFIA	119
	APPENDICE	
	Analisi granulometriche eseguite su campioni di trasporto solido del Tevere a Roma prelevati dal 1990 al 2005	130

*In ricordo
del Prof. Sabino Palmieri*

1. Premesse

Scopo del presente lavoro è studiare le piene del Tevere a Roma negli ultimi 150 anni dal 1871 al 2020, cioè le piene successive alla grande piena del 28 dicembre 1870, che raggiunse l'altezza idrometrica eccezionale di 17,22 m alla stazione Roma Ripetta.

Il lavoro è costituito in particolare:

- dalla descrizione dell'intero bacino idrografico del fiume Tevere e dalle variazioni dell'alveo del fiume, in particolare nel tratto urbano di Roma e da Roma al mare, dal 1870 ad oggi;
- dall'esame dei dati pluviometrici nell'intero bacino e dei dati idrometrici a Roma per i 150 anni dal 1871 al 2020;
- dalla stima del coefficiente di deflusso di piena dal 1871 al 2020.

Parallelamente alle piene si è studiato il trasporto solido del fiume che è un fenomeno direttamente legato alle piene, avvenendo in massima parte proprio durante gli eventi di piena.

Per studiare gli eventi di piena attuali del Tevere e prevedere l'entità degli eventi futuri è importante riferirsi anche a quanto noto dalle inondazioni avvenute nel passato anche remoto, infatti la storia del Tevere è conosciuta da oltre 2000 anni e le misure regolari dei livelli idrometrici giornalieri a Roma, pur con qualche interruzione, risalgono al 1781.

Dallo studio si cerca di comprendere quale sia ancora oggi per la città di Roma il rischio

di nuove inondazioni e la necessità o meno di nuovi interventi a difesa dalle piene.

Inoltre la raccolta e l'esame dati climatici su un periodo di 150 anni unitamente alla memoria delle grandi inondazioni del Tevere sin dal periodo romano consentono anche di fare previsioni sul clima futuro e sul regime idrologico del Tevere nel prossimo futuro.

Un periodo così lungo di 150 anni ha visto succedersi diverse istituzioni sia nel controllo dei livelli del fiume e della piovosità nel bacino idrografico, sia nella manutenzione dell'alveo del fiume stesso.

Nel 1871 il controllo del livello idrometrico del fiume Tevere a Roma era effettuato con letture giornaliere alle ore 12 ad opera del Ministero dell'Agricoltura Industria e Commercio (Min. Agric., Indus. e Com., 1872), il controllo poi passò al Ministero dei Lavori Pubblici (Min. LL. PP., 1924); nel 1921 fu infatti istituito il Servizio Idrografico Nazionale, che divideva il territorio italiano in Compartimenti. Il bacino del fiume Tevere ricadeva nel Compartimento di Roma. Il Servizio Idrografico provvedeva alla lettura dei livelli idrometrici e a misurare le portate liquide in varie stazioni sull'asta principale del Tevere e sui maggiori affluenti, unitamente al controllo della pluviometria e della temperatura in stazioni di misura distribuite nell'intero bacino, pubblicando annualmente

negli Annali idrologici i risultati delle misure eseguite.

Dal 2002 il controllo dei livelli dei fiumi e delle stazioni termo-pluviometriche è passato alle Regioni; il controllo del territorio del bacino del Tevere è stato suddiviso tra 5 regioni, principalmente Umbria e Lazio, in misura assai minore Toscana e Abruzzo e in misura trascurabile l'Emilia Romagna, nel cui territorio si trovano le sorgenti del Tevere.

La manutenzione dell'asta principale del Tevere e dei suoi maggiori affluenti è stata svolta in maniera ottimale dall'Ufficio Speciale Tevere e Litorale, voluto dal Senatore Giuseppe Garibaldi, all'epoca della costruzione dei muraglioni urbani ottocenteschi,

fino a circa il 2002 quando le competenze di tale ufficio sono passate alle Regioni. Nel Lazio è stata dapprima costituita l'Agenzia Regionale di Difesa del Suolo (A.R.D.I.S), poi trasformata in altro ufficio regionale di Difesa del Suolo.

Il bacino idrografico del fiume Tevere può essere suddiviso in 13 bacini elementari o sottobacini, che sono riportati nella Fig.1 e sono descritti nella Tab.1 (i bacini diventano 14 se il bacino VII si considera diviso in 2 parti).

2. Il bacino idrografico del fiume Tevere

Sottobacino	Area (km ²)	Nome sottobacino
I	2.184	Tevere a monte del Chiascio
II	724	Chiascio
III	1.034	Nestore e Trasimeno
IV	1.230	Topino-Maroggia
V	905	Tevere a monte del Paglia
VI	1.338	Paglia e Chiani
VII bis	997	Tevere da confl. Paglia a confl. Nera
VII	2.387	Tevere a monte dell'Aniene
VIII	501	Nera
IX	1.454	Nera e Corno a monte Velino
X	743	Velino
XI	1.592	Salto e Turano
II	1.446	Aniene
XIII	621	Tevere area urbana di Roma
Intero bacino	17.156	

Tab. 1 – I 14 sottobacini elementari del bacino del Tevere (il bacino VII è stato suddiviso in 2 sottobacini)

I 14 sottobacini elementari possono essere riuniti in 4 bacini principali (Bencivenga et alii, 2000), riportati nella Fig.2 e nella Tab.2.

Sottobacino principale	Area (Km ²)
I -Paglia e basso Tevere	5.343
II -Tevere alla diga di Corbara	6.077
III – Nera	4.290
IV – Aniene	1.446
Totale	17.156

Tab.2 – I 4 sottobacini principali del Tevere

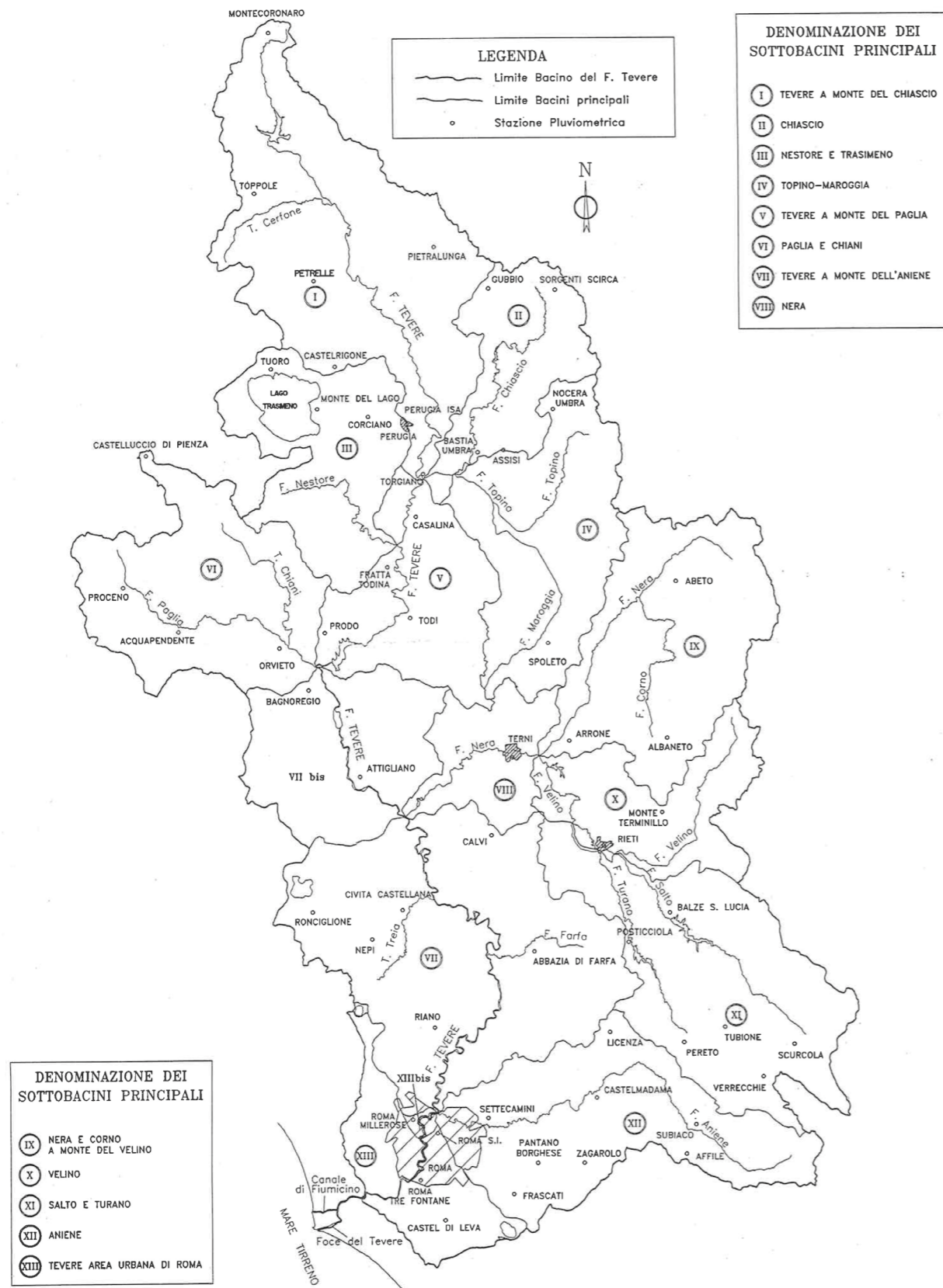


Fig.1 – I 13 sottobacini elementari del bacino del fiume Tevere, sono riportate anche le stazioni pluviometriche che hanno funzionato con maggiore continuità.

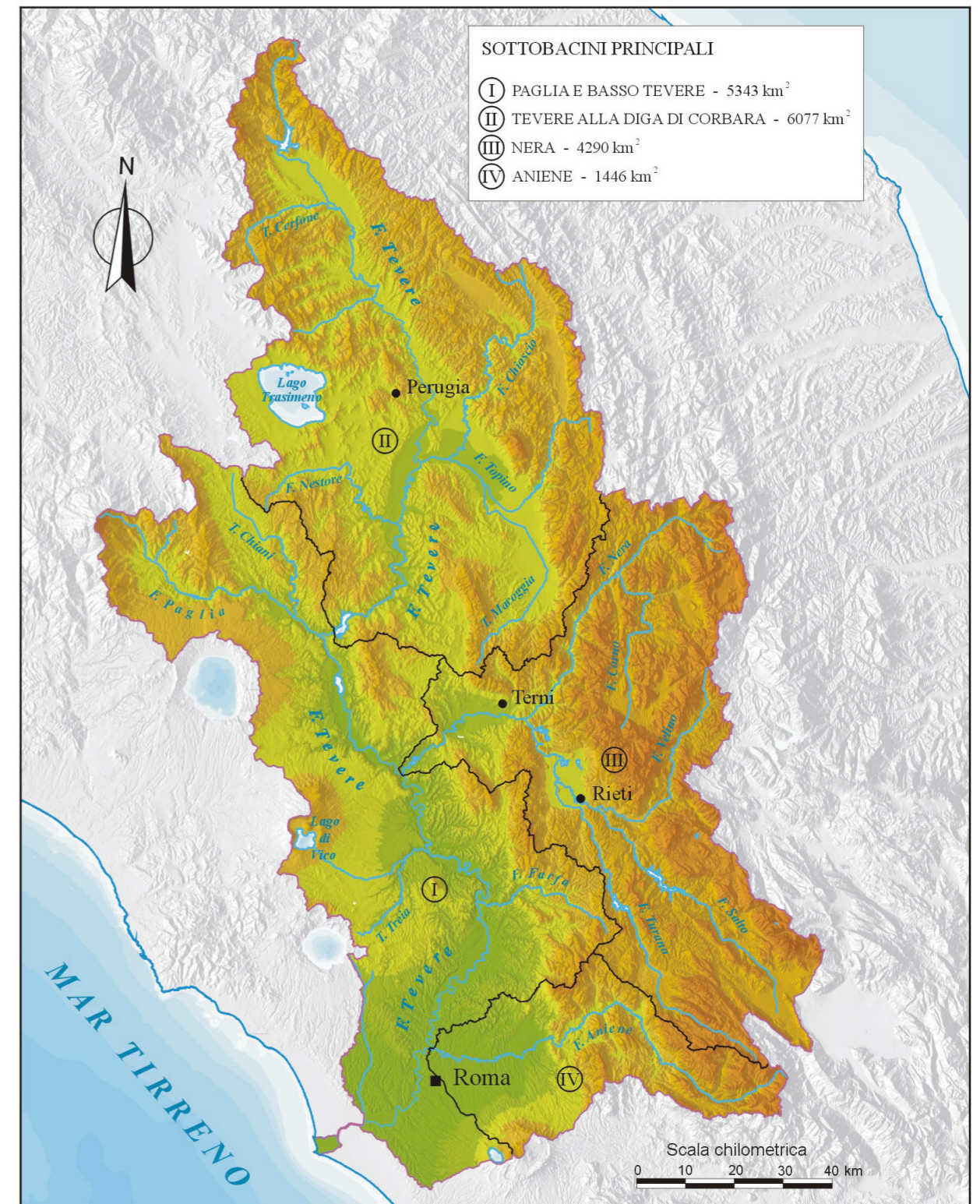


Fig.2 – I 4 sottobacini principali in cui è diviso il bacino del Tevere (Bencivenga et alii, 2000)

L'Autorità di bacino del Tevere nel 2009 nel Piano Straordinario 5 (P.S.5) per l'area metropolitana di Roma ha aggiunto 2 sottobacini amministrativi a nord e a sud delle foci del Tevere (Bersani et alii, 2005):

- il bacino COL-TEV comprendente la Zona litoranea tra il Collettore generale delle Acque Alte ed il canale di Fiumicino (bonifica di Maccarese) di 55,72 km²;

- il bacino TEV-GUR comprendente la Zona litoranea tra il fiume Tevere escluso e ed il fosso di Guardapasso incluso di 135,42 km²;

la superficie totale amministrativa del bacino del Tevere risultava quindi di circa 17.350 km².

L'area dell'intero bacino idrografico risulta di 17.156 km² (non considerando le aree amministrative ora citate), mentre l'area alla stazione di misura di Roma Ripetta è pari a 16.545 km² (corrispondente ad oltre il 96% della superficie totale del bacino idrografico).

Le aree riportate in Tab. 2 sono quelle calcolate dal Servizio Idrografico di Roma nel 1925. Tali aree sono state ricalcolate dallo stesso Servizio Idrografico nel 1999 (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, 1999; Bencivenga et alii, 2000) con metodologia GIS

ottenendo circa gli stessi risultati, per cui si è preferito lasciare inalterate le aree calcolate nel 1925 (Sezione autonoma del Genio Civile, 1926) per avere un migliore confronto con i lavori precedenti. La superficie del bacino ricalcolata nel 1999 infatti risulta solo dello 0,7% superiore a quella calcolata nel 1925 (Bersani P. & Bersani A., 2008).

L'intera superficie del bacino del Tevere (compresi i due sottobacini litoranei), è stata poi ricalcolata nel 2021 con metodologia GIS dall'ABDAC (Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale) ed è risultata leggermente superiore e pari a circa 17.557 Km² (Fig.3), anche a causa di lavori intervenuti nel frattempo per ampliare il bacino idrografico del lago Trasimeno per contrastare l'abbassamento dello specchio lacustre.



Fig.3 – Il bacino idrografico del Tevere sovrapposto alle Regioni

Nella Tab.3 sono riportate le superfici in Km² e in percentuale delle sei regioni in cui ricade il bacino idrografico del Tevere.

Regione	Km ²	%
Umbria	8.219	46,81
Lazio	7.258	41,34
Abruzzo	655	3,73
Marche	213	1,22
Toscana	1.184	6,74
Emilia Romagna	28	0,16
Totale	17.557	100,00

Tab. 3 – Superfici regionali ricadenti nel bacino idrografico del Tevere (Fonte dei dati: Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale)

Per quanto riguarda la Geologia e Geomorfologia il Bacino idrografico del Tevere può essere suddiviso in quattro principali zone:

- la parte montuosa appenninica costituita da rilievi carbonatici che si estende sul fianco est e sud del bacino. Questa zona è caratterizzata da infiltrazione abbondante delle precipitazioni con esclusione di aree limitate dove prevalgono sedimenti argillosi od arenacei. È importante evidenziare che il carsismo pre-

sente nei rilievi carbonatici è più sviluppato nella parte sudorientale, che corrisponde al bacino dell'Aniene, rispetto alla parte orientale che corrisponde ai bacini del Chiascio e del Nera. Il carsismo più sviluppato nel bacino dell'Aniene fa sì che negli eventi di piena parte dell'acqua che si infiltra può ritornare in tempi brevi nel reticolo idrografico concorrendo quindi anch'essa al colmo di piena di questo fiume.

- i sedimenti terrigeni composti da depositi torbiditici argillosi ed arenacei presenti nell'alto bacino e nel sottobacino del Paglia, che costituiscono la parte più impermeabile del bacino del Tevere.

- la fossa tettonica del Tevere con le sue articolazioni laterali che include la Valle del Paglia, la conca di Terni e la conca di Rieti. I sedimenti detritici che colmano questa fossa costituiscono un serbatoio di spessore limitato che ha però ripercussioni sul regime dei deflussi e sulla evapotraspirazione;

- i rilievi di origine vulcanica (Cimini, Vulsini, Sabatini ed Albani) nei settori occidentale e meridionale. In quest'area gli acquiferi estesi ed efficienti alimentano i laghi interni ed una rete di drenaggio che dà contributi apprezzabili al flusso di base del Tevere.

3. Principali variazioni dell'alveo del Tevere dal 1871 al 2020

Per studiare le piene in un arco di tempo così lungo risultano ovviamente determinanti le variazioni dell'alveo avvenute in tale periodo nella città di Roma, ma anche nel corso del fiume sia a monte che a valle della città.

In seguito alla grande inondazione di Roma del 28 dicembre 1870, che raggiunse l'altezza idrometrica eccezionale a Roma Ripetta di 17,22 m (Frosini, 1977) allagando gran parte della città, fu istituita dal neonato Parlamento italiano, anche su spinta del senatore Giuseppe Garibaldi, la Commissione Canevari (Min. LL. PP., 1872) con il compito di difendere definitivamente la città di Roma dalle inondazioni. Contemporaneamente furono vietati i molini lungo il fiume perché costituivano un ostacolo al deflusso delle acque.

Tra i progetti presentati vinse il progetto che prevedeva la regolarizzazione dell'alveo del fiume nel tratto urbano, con la costruzione di muraglioni, sull'esempio del fiume Po a Torino, con una larghezza tra le due sponde di 100 m ed un'altezza, tale da proteggere le parti più basse della città che venivano regolarmente sommerse durante gli eventi di piena. I muraglioni urbani furono realizzati nel periodo 1880-1892, eccetto il tratto a valle della Bocca della Verità sotto l'Aventino – dove la città continuava ad allagarsi du-

rante le piene - che fu completato nel 1926 (Frosini, 1977; Brizzi, 1989). Contemporaneamente alla costruzione di muraglioni urbani fu eseguito (Frosini, 1977) lo sgombero dei ruderi esistenti in alveo e furono ampliate le luci delle arcate dei Ponti S. Angelo e Cestio, furono rimossi i piloni dell'antico ponte Sublicio nel 1878 e furono abbattute le due arcate dell'antico Ponte Senatorio più vicine alla riva destra nel 1887. Nell'anno 1900 (Frosini, 1977), quando vi fu la piena eccezionale nel mese di dicembre, era già stata realizzata la costruzione dei muraglioni su ambedue le sponde nel tratto dall'attuale Ponte Margherita fino a Ponte Palatino (salvo un breve tratto in corrispondenza dell'Ospedale S. Spirito), mentre le arginature in terra erano già state realizzate in destra da Ponte Milvio e in sinistra dai Sassi di San Giuliano fino all'altezza dell'attuale Ponte Risorgimento.

La costruzione dei muraglioni urbani non fu priva di rallentamenti e inconvenienti. Ad esempio subito dopo la grande piena del 2 dicembre 1900 (Altezza al colmo a Ripetta pari a 16,17 m), nella notte fra il 3 e il 4 dicembre (Frosini, 1977; Ravaglioli, 1982 e Bencivenga et alii, 2001) crollò un lungo tratto di muraglioni nel Lungotevere degli Anguillara in destra idrografica tra Ponte Garibaldi e Ponte

Cestio, all'altezza di Trastevere subito a valle dell'isola tiberina. Inoltre lesioni abbastanza gravi (Frosini, 1977) si manifestarono anche nel tratto tra Ponte Cestio e Ponte Palatino (Lungotevere degli Alberteschi).

Poiché gli allagamenti della città erano causati prima ancora che dalle tracimazioni del fiume (che iniziavano nella zona di Ripetta quando l'idrometro segnava 14 m), dal rigurgito delle fogne (che iniziavano quando l'idrometro di Ripetta segnava 13 m), contemporaneamente alla costruzione dei muraglioni urbani la città fu dotata di un nuovo sistema di fognature sia in destra che in sinistra idrografica: il collettore basso di destra e il collettore basso di sinistra. Questi nuovi collettori erano a quote più profonde rispetto alle fognature prima esistenti, in gran parte costituite dalle chiaviche papali risalenti al XVII secolo, e re-immettevano l'acqua raccolta nel fiume, a valle della città nella zona della Magliana all'altezza dell'attuale Grande Raccordo Anulare nei pressi della Autostrada Roma-Fiumicino. All'epoca della piena eccezionale del dicembre 1900 i due nuovi grandi collettori fognari erano già stati realizzati ad eccezione di qualche tratto non ancora ultimato. (Frosini, 1977).

A seguito delle piene eccezionali del Tevere a Roma del dicembre 1900 e del febbraio 1915, dopo la fine della Prima guerra mondiale, proseguirono i lavori di sistemazione del Tevere a valle di Roma allo scopo di permettere la navigazione e di difendere dalle inondazioni la zona a valle della città. I lavori riguardarono:

- il restringimento dell'alveo di magra dall'altezza della Basilica San Paolo a Capo

Due Rami;

- le arginature in terra al termine della difesa urbana (i muraglioni urbani) fino a Dragoncello, in sinistra, e al Rio Galeria in destra, poste a 250 m di distanza da una sponda all'altra.

Le arginature furono costruite nel periodo 1916-30 (Bencivenga et alii, 2001) ed ebbero l'effetto di far abbassare il fondo fluviale verso monte nel tratto urbano, mettendo allo scoperto alcuni tratti dei muraglioni urbani. Altra importante conseguenza delle nuove arginature in terra a valle di Roma fu che si alzarono i livelli di piena a monte, fenomeno resosi eclatante nella grande piena del dicembre 1937.

Durante quest'ultima piena infatti il Tevere raggiunse il livello eccezionale di 16,90 m all'idrometro di Ripetta, ma nel tratto urbano causò solo limitatissimi allagamenti nella zona di Ponte Milvio e nella zona dell'Istituto San Michele a Porta Portese all'altezza di Trastevere, a causa in entrambe i casi del mancato completamento di talune opere di difesa (Frosini, 1977). I muraglioni urbani avevano retto egregiamente al passaggio della piena. Qualche allagamento si registrò invece a valle di Roma in prossimità alla foce del fiume.

Nel 1938, a seguito della piena del dicembre 1937, fu nominata una Commissione con l'incarico di "proporre un piano generale per le opere di sistemazione del Tevere". Questa Commissione (Min. LL. PP., 1938) prevedeva una serie di interventi da Ponte Milvio fino al mare, in particolare:

- il banchinamento per la sistemazione dell'alveo di magra nel tratto urbano, con lo scopo di assicurare la stabilità dei muraglioni;

- lo svasso delle golene a valle della città;
- l'esecuzione del drizzagno di Spinaceto, per eliminare un'ansa del fiume a valle della città;
- lo spostamento degli argini in campagna a valle di Roma con allargamento dell'alveo di piena a 400 m.

La banchina, ultimata nel 1926, è stata progettata in modo tale che quando il livello del fiume raggiungeva la banchina all'idrometro di Ripetta (6,75 m all'idrometro in marmo di ponte Cavour, corrispondente ad una portata liquida di circa 350 m³/s), il livello del fiume fosse circa al livello della banchina sia in destra che in sinistra idrografica, circa dall'attuale Ponte Matteotti (ex Ponte Littorio) fino a circa l'altezza di Ponte Garibaldi.

Il drizzagno di Spinaceto realizzato nel 1940, eliminando una stretta ansa del Tevere a valle della città, ha permesso da allora un più agevole scorrimento delle acque verso il mare durante le piene, mentre lo svasso delle golene con lo spostamento di vari tratti delle arginature era già quasi completato prima della piena del dicembre 1947. Contemporaneamente furono realizzate intorno al 1940 due dighe con grandi serbatoi sui fiumi Salto e Turano, affluenti del Velino, che risolsero il problema millenario delle inondazioni della Piana di Rieti e contribuirono anche a diminuire il contributo delle parti di bacino da loro sottese (circa 1.300 Km² complessivamente), nelle piene del Tevere a Roma.

A monte della città di Roma importanza fondamentale per la regolazione delle piene ha avuto la costruzione delle dighe con serbatoio nel medio corso del fiume: la diga di Corbara, funzionante regolarmente dal 1963

e la diga di Alviano, a valle della confluenza del Paglia nel Tevere, funzionante dal 1964. La diga di Corbara con i suoi circa 135 Mm³ di invaso svolge tuttora una funzione determinante nella laminazione delle piene del Tevere a Roma; mentre la diga di Alviano, avendo inizialmente soltanto circa 4 Mm³ di invaso, risultava completamente interrata già pochi anni dopo la sua entrata in funzione.

Con la realizzazione degli interventi descritti il sistema di difesa delle inondazioni tra Roma e il mare ha praticamente assunto la configurazione attuale.

A seguito della piena del dicembre 2008 (Altezza al colmo Hc a Ripetta di 12,65 m), in cui diversi barconi galleggianti (come il Tiber II) si sono staccati dagli ormeggi fino ad andare ad occludere pericolosamente le arcate di Ponte S. Angelo, l'Autorità di bacino del fiume Tevere ha regolamentato la presenza dei barconi presenti nel tratto urbano, diminuendone il numero e facendo sì che fossero rimossi quelli più pericolosi. Nel tratto urbano rimane tuttora, in alcuni punti, il rischio legato alla presenza di alberi divenuti di alto fusto con radici superficiali che in caso di piena potrebbero essere sradicati e andare ad occludere le luci dei ponti con più arcate.

Per quanto riguarda l'alveo del Tevere, secondo Bencivenga et alii, 2001 non si notano grandi differenze nel fondo dell'alveo del tronco urbano del Tevere da Ponte Milvio tra il rilievo del 1871 e quello del 1930. In quest'ultimo rilievo appaiono per la prima volta dei gorghi al di sotto del livello del mare a valle di Ponte Milvio, mentre il confronto tra i rilievi del 1942 e del 1930 mostra un abbassamento generalizzato del fondo.

Visentini, 1946 valutava in l'abbassamento medio del fondo dell'alveo nei dodici anni tra il 1930 e il 1942 in 0,82 m nel tratto tra Ponte Milvio e Porto San Paolo. L'approfondimento dell'alveo è continuato (Torzilli, 1964) anche successivamente come emerge dal confronto dei rilievi fra Ponte Milvio e il Porto Fluviale, tra il 1942 e il 1961-62. La variazione della media dei fondi massimi dei tre profili (anni 1930, 1942 e 1961) indica un'intensificarsi del fenomeno erosivo. Infatti (Bencivenga et alii, 2001) la quota media dei fondi massimi dei tre profili, risulta a quota 2,50 m s.l.m. nel 1930, a 1,93 m s.l.m. nel 1942 e a 0,66 m s.l.m. nel 1961. In particolare il rilievo del 1961-62 (Torzilli, 1964) metteva in evidenza un approfondimento del gorgo massimo formatosi a valle di Ponte Milvio, che raggiungeva una quota di -8,8 m s.l.m.

Dagli studi sul trasporto solido eseguiti dalla S.A.P.P.R.O. spa nel 1990-91 si è constatato che l'alveo nel tratto urbano, da Ponte Milvio alla foce, è in abbassamento continuo dal confronto del rilievo del 1930 con i rilievi successivi (1942, 1964, 1978, 1983, 1985 e 1990), mentre sembrerebbe essersi stabilizzato dall'ultimo decennio del secolo scorso (Remedia, 1998)

da quanto emerge dai rilievi del 1995-96 e dei meno frequenti rilievi successivi.

L'abbassamento del fondo dell'alveo del Tevere nel tempo è stato così accentuato che dal profilo di fondo massimo del fiume (talweg), dai rilievi eseguiti nel 1995-96, risultava che la quota dell'alveo fosse a quota inferiore a 0 m s.l.m. in maniera quasi continua (Fig.4) dalla foce fino all'altezza di Ponte Milvio (Autorità bacino fiume Tevere, 2005).

Nello studio della S.A.P.P.R.O., 1991 inoltre era stata studiata inoltre l'evoluzione dell'alveo del Tevere da Corbara fino alla foce, mettendo a confronto gli ultimi rilievi eseguiti nel 1990 dalla stessa S.A.P.P.R.O., con gli studi precedenti. Lo studio aveva individuato diversi tratti fluviali in erosione: a valle della diga di Alviano, a valle del Ponte di Stimigliano, a valle della diga di Nazzano e nel tratto urbano da Ponte Milvio fino alla foce. Particolarmente accentuato risultava l'approfondimento per un lungo tratto a valle della diga di Nazzano.

Dalle indagini del 1995-96 (Hydroservices, 1996) nell'Alto bacino del Tevere, a valle dello sbarramento di Montedoglio, si evinceva che erano ancora in atto fenomeni di erosione con conseguente approfondimento dell'alveo. Nel Medio e Basso Bacino del Tevere, sulla base ancora dei rilievi topografici eseguiti nel 1995-96 e gli studi idrologici eseguiti sulle 4 stazioni di misura di portata: Ponte Felcino, Ponte Nuovo, Ponte Felice e Roma Ripetta (Hydroservices, 1996), appariva almeno localmente in atto una tendenza evolutiva che si manifestava con fenomeni di sedimentazione e conseguente innalzamento del fondo del letto fluviale, o con il mantenimento delle sezioni.

Nel 1999-2000 l'Autorità di bacino del Tevere (sotto la supervisione del Servizio Idrografico Nazionale - Compartimento di Roma) ha eseguito il rilievo dell'alveo del Tevere (con sezioni tradizionali) da Corbara alla foce, diviso in 5 tratte.

Più recentemente sono stati eseguiti rilievi multibeam (che restituiscono il profilo dell'alveo in maniera tridimensionale) ese-

guiti da Ponte del Grillo alla foce nel 2005 (Bernabini et, alii, 2006 e 2007) e nel canale di Fiumicino nel 2008.

Questi rilievi sembrerebbero mostrare, nel tratto studiato, una sostanziale stabilità dell'alveo rispetto al rilievo del 1996, senza ulteriori significativi approfondimenti del fondo alveo, ma mancano studi che mettano dettagliatamente a confronto gli ultimi rilievi del 1999-2000 e del 2005-2008 con i rilievi precedenti.

Da quanto esposto si evince la necessità sia di un maggiore controllo dell'evoluzione dell'alveo del Tevere lungo il suo corso e negli affluenti principali tramite periodiche campagne batimetriche dell'alveo del fiume, sia un maggiore confronto con i dati delle campagne batimetriche passate.

L'abbassamento del fondo dell'alveo del Tevere nel tratto urbano è stato determinato anche dalla forte diminuzione del trasporto solido, iniziata negli anni '40 del secolo scorso e accentuata a metà degli anni '60 con la costruzione delle dighe con serbatoio sull'asta principale del fiume, già menzionate: Alviano (funzionante dal 1964) e soprattutto Corba-

ra (funzionante dal 1963). Alla diminuzione del trasporto solido ha contribuito anche il prelievo in alveo di grandi quantitativi di materiali inerti (ghiaia e sabbia) negli anni '60 e '70 del secolo scorso con la creazione di buche nell'alveo stesso profonde fino a 20 m, che hanno funzionato come trappole per il trasporto solido.

Per tutelare la stabilità dell'alveo del Tevere a causa dell'approfondimento del fondo sono state sospese tutte le attività di prelievo di inerti in alveo sin dal 1986 lungo tutto il corso principale del Tevere.

Negli anni '60 - '80 del secolo scorso, per contrastare l'abbassamento del fondo dell'alveo, furono realizzate 7 soglie di fondo principali nel tratto urbano della città di Roma, tra le quali la soglia a valle di Ponte Cestio, che è stata risistemata con altezza variabile con i lavori del 1993-94 (Bencivenga et alii, 2001). Le soglie in questione sono riportate nella Tab.4 da quella più a monte a quella più a valle.

La prima, la più a monte, è stata costruita subito a valle di Ponte Milvio nel periodo 1964-67.

N°	Posizione soglia	Quota m (s.l.m.)	Anno di costruzione
1	A valle di Ponte Milvio	6,55	1964-67
2	A monte di Ponte Risorgimento	3,11	1970-73
3	Tra Ponte G. Matteotti e Ponte Regina Margherita	2,94	1980-83
4	Tra Ponte Umberto e Ponte S. Angelo	2,75	1970-73
5	A monte di ponte Fabricio (e a valle di Ponte Garibaldi)	4,80	1968-70
6	A valle di Ponte Cestio	4,20	1970 circa e 1993-94
7	A monte di Ripa Grande (e a valle di Ponte Palatino)	0,05	1961-64

Tab.4 – Le soglie di fondo costruite nel tratto urbano del Tevere a Roma

Nello stesso periodo 1964 – 1983 sono state costruite anche soglie minori: tra Ponte Mazzini e Ponte Sisto a quota 2,43 m s.l.m. nel 1964; a valle di Ponte Fabricio a quota 2,00 m s.l.m.; a valle di Ponte Sublicio a quota 0,75 m s.l.m.; al Porto fluviale a quota 1,57 m s.l.m. nel 1977.

La costruzione delle soglie a valle dei pon-

ti per contrastare l'abbassamento del fondo dell'alveo e per proteggere i ponti stessi dall'erosione delle fondazioni dei piloni è una pratica idraulica molto antica, utilizzata anche dagli antichi Romani. Nel 1900 (Frosini, 1965) infatti fu scoperta una soglia di età romana subito a valle di Ponte Milvio.

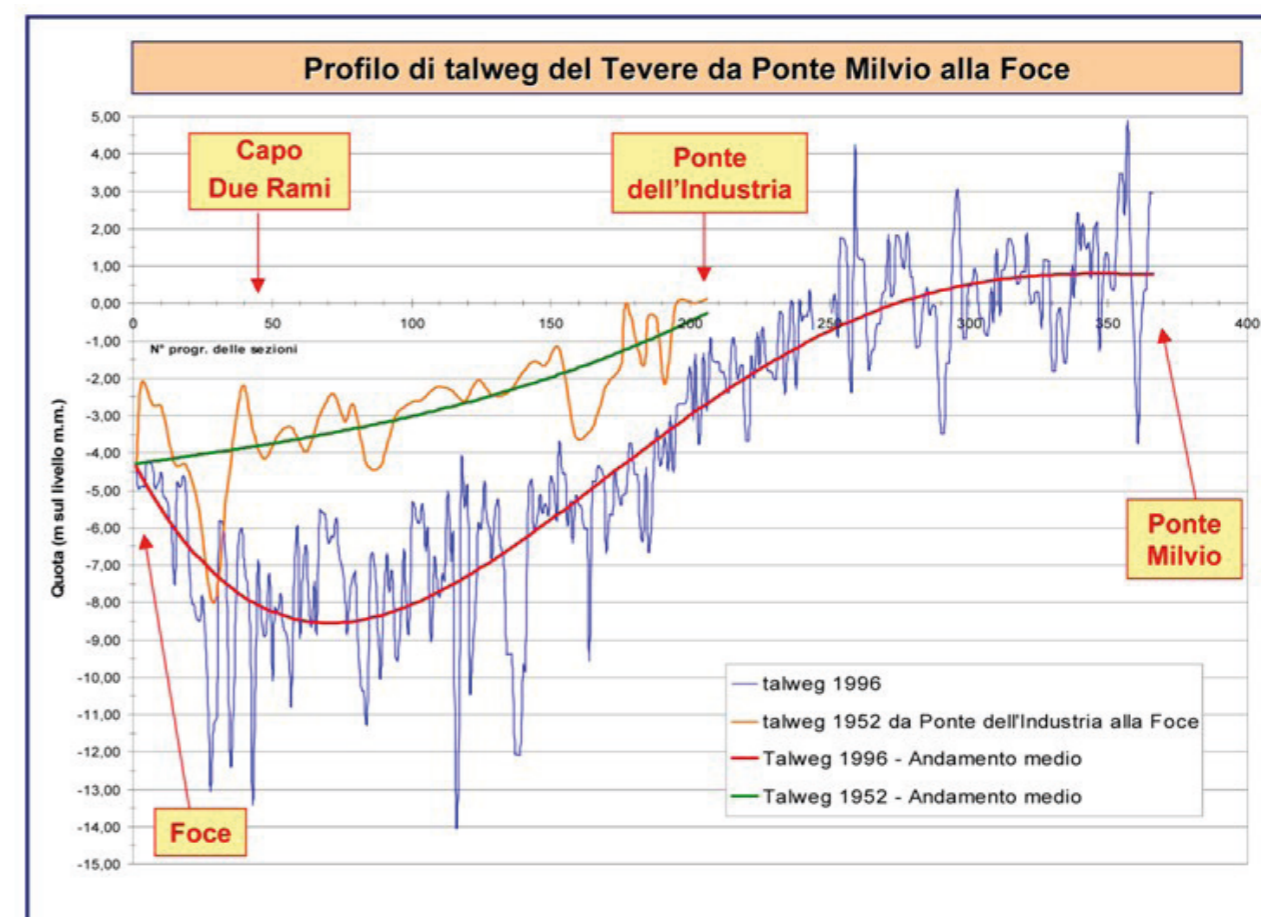


Fig.4 – Profilo di fondo massimo (talweg) del Tevere da Ponte Milvio alla foce, confronto tra i rilievi del 1952 e del 1996 (da Autorità bacino fiume Tevere, 2005 a cura di F. Castellano e G. Colatosti)

La soglia a valle di Ponte Garibaldi, all'altezza dell'isola Tiberina, è costituita da due soglie: una sul ramo sinistro del fiume a monte di Ponte Fabricio costruita nel 1968-70 e

un'altra sul ramo destro del fiume a valle di Ponte Cestio, costruita intorno al 1970 e poi ricostruita nel 1993-94 ad altezza variabile, con i lavori eseguiti da parte del Genio Civile.

Infine bisogna tenere conto che la diminuzione del trasporto solido e il contemporaneo approfondimento dell'alveo del Tevere, in concomitanza con le basse portate del fiume, favoriscono la risalita del cuneo salino nel braccio di Fiumara Grande e nel canale di Fiumicino, con conseguenze, ancora solo in parte studiate e conosciute, di salinizzazione delle falde idriche sotterranee (Capelli et alii, 2006). Nel rilievo del settembre 1976

(riportato in Mikhailova M.V. et al, 1999) si è riscontrata la presenza del cuneo salino nel fondo alveo del Tevere fino a ben 8,8 km a monte della diramazione del canale di Fiumicino. Attualmente (Autorità di bacino del fiume Tevere, 2005) la risalita del cuneo salino è ancora maggiore ed arriva dentro Roma probabilmente sino all'altezza del ponte dell'Industria ed anche più a monte.

4. Metodologia di studio delle piene del Tevere a Roma

Per studiare gli eventi di piena sono stati presi in considerazione i dati di piovosità nell'intero bacino, secondo una metodologia più volte adottata (Bersani e Piotti, 1999; Bersani e Bencivenga, 2001; Bersani, 2004 e Bersani P. & Bersani A. 2008).

4.1 L'idrometro di Ripetta e classificazione delle piene del Tevere a Roma

Le altezze idrometriche del Tevere a Roma sono riferite all'idrometro di Ripetta. Le prime osservazioni giornaliere del livello del fiume risalgono al periodo 1781-1801 e furono effettuate dall'Osservatorio del Collegio Romano. Le misure erano effettuate rispetto al ciglio del 7° ripiano inferiore dell'antico porto di Ripetta, che fungeva quindi da zero idrometrico di riferimento. Il primo idrometro in marmo risale al 1821 (Ministero dei Lavori Pubblici, 1924; Di Martino e Belati, 2017), diviso in 5 tratti graduati appoggiati sulle strutture del Porto di Ripetta e sul vicino Palazzo della Dogana, anche questo idrometro aveva il suo zero coincidente con la quota del ciglio del 7° ripiano prima citato del Porto di Ripetta. Le misure del livello del Tevere a Ripetta furono interrotte nel 1801 e furono poi riprese nel 1822 senza più interruzioni fino ai nostri giorni. Il primo idrometro in marmo fu sostituito nello stesso luogo nel 1893, dopo la costruzione dei muraglioni,

da un altro idrometro in marmo, tuttora esistente, costituito da 9 tratti graduati, ubicato nella scalinata che dal Lungotevere porta alla banchina del fiume, in sinistra idrografica subito a monte di Ponte Cavour. A questo idrometro è stato affiancato dapprima un idrometrografo a pressione e poi, dagli anni '90 del secolo scorso, una strumentazione laser in telemisura tuttora funzionante. L'idrometro del 1893 ha mantenuto pressappoco lo stesso zero idrometrico dell'idrometro del 1821, per cui ancor oggi i livelli di piena del Tevere a Roma si riferiscono sempre al medesimo zero idrometrico di Ripetta. Quindi anche per le inondazioni più antiche (sin dal 1495 fino a metà '800), riportate sulle famose colonne del Porto di Ripetta, essendo riferite allo stesso zero idrometrico, è possibile ricavare l'altezza idrometrica di piena reale. Mentre l'inondazione più antica di cui si conosce l'altezza idrometrica reale nella città è quella del 1422, di cui esiste una lapide-ricordo in posizione originale nelle facciate della chiesa di S. Maria sopra la Minerva (Di Martino e Belati, 1980; Bersani & Nisio, 2020).

La classificazione, in base alla portata liquida, dello stato del Tevere alla stazione di Roma Ripetta (circa 16.545 km²), secondo Frosini, 1977, è riportata nella seguente Tab.5:

Stato	Portata a Roma - Ripetta (m^3/s)
stato di magra	inferiore a $100 m^3/s$
stato normale	tra 100 e $200 m^3/s$
stato di intumescenza	tra 200 e $800 m^3/s$
stato di piena ordinaria	800 e $1500 m^3/s$
stato di piena straordinaria	tra 1500 e $2000 m^3/s$
stato di piena eccezionale	maggiore di $2000 m^3/s$

Tab.5 – Classificazione delle piene del Tevere a Roma in base alla portata (da Frosini, 1977)

Frosini (1977) classificava lo stato del Tevere anche in base all'altezza idrometrica a Ripetta (Tab. 6), ma a causa delle variazioni delle scale di deflusso nel tempo dovute all'approfondimento dell'alveo e alle variazioni (seppur limitate) dello zero idrometrico è sempre necessario specificare se la classificazione delle piene viene fatta in base alla portata o all'altezza idrometrica. Nel rispetto del pensiero del Prof. Frosini è oggi più corretto riferirsi alla scala delle portate, mentre la classificazione delle piene in base all'altezza idrometrica ha più che altro un significato storico, in quanto ad ogni altezza idrometrica di piena corrispondevano, prima

della costruzione dei muraglioni urbani, determinate zone della città che si allagavano (Margaritora G., 1993). L'altezza idrometrica costituisce un dato oggettivo per confrontare le altezze delle piene attuali con quelle del passato, essendo avvenute nel tempo, come detto, soltanto piccole variazioni (un abbassamento al massimo dell'ordine di circa 20 cm) dello zero idrometrico di riferimento (Min. LL. PP., 1924; Frosini, 1977; Dall'Oglio, 1987; Bencivenga et alii, 2001), a causa principalmente dell'assettamento dei muraglioni che costituiscono gli argini urbani.

La classificazione di Frosini (1977) in base all'altezza idrometrica a Ripetta è la seguente:

Stato del fiume Tevere	Altezza idrometrica a Roma – Ripetta
stato di magra	fino a 5 m
stato normale	da 5 m a 7 m
stato di intumescenza	da 7 m a 10 m
stato di piena ordinaria	da 10 m a 13 m
stato di piena straordinaria	da 13 m a 16 m
stato di piena eccezionale	oltre 16 m

Tab.6 – Classificazione delle piene del Tevere a Roma in base all'altezza idrometrica (da Frosini, 1977)

Si fa presente che alla stazione di Ripetta, oggi Ponte Cavour, la banchina del fiume è a quota 6,75 m della scala idrometrica, mentre la quota del lungotevere in prossimità del ponte è a quota circa 18 m della scala idrometrica.

Le inondazioni a Roma prima della costruzione dei muraglioni ottocenteschi (1880-1892) avvenivano secondo due modalità (Frosini, 1977; Bencivenga et alii, 1995; Margaritora G., 1993; Bersani e Bencivenga, 2001; Natale L. e Savi F., 2004):

a) per rigurgito dalle fogne ed iniziavano al livello di 13 m a Ripetta.

b) per correnti: le tracimazioni dal fiume cominciarono a 14 m a Ripetta, mentre a 16 m si avevano le vere e proprie inondazioni (stato di piena eccezionale in Tab.6).

4.2 Gli eventi di piena con portata maggiore di $1.400 m^3/s$ nel periodo 1921-2020

Lo studio delle piene del Tevere a Roma si è basato sull'analisi della piovosità giornaliera ricavata dai dati pluviometrici di circa 60 stazioni distribuite nei 13 bacini elementari (che diventano 14 se il bacino 7 si considera diviso in 2 parti) riportati nella Tab. 1 e nella Fig.1.

Per ognuno dei 14 sottobacini della Fig.1 sono stati presi in considerazione i valori della pioggia giornaliera in più stazioni, in modo da avere un valore medio attendibile, in considerazione anche del fatto che le stazioni non sono state sempre le medesime in ogni sottobacino a causa delle lacune di funzionamento di molte stazioni, oltre che per il passaggio della rete di controllo alle Regioni avvenuto, come detto, nel 2002 che ha por-

tato modifiche stabili nella rete delle stazioni funzionanti.

La Fig.2 mostra che oggi il corso principale del fiume – per quanto riguarda le piene – si può considerare l'asta del Paglia e poi l'asta del Tevere a valle della confluenza col Paglia (Bacino I), con 3 affluenti in sinistra idrografica: l'alto Tevere sotteso dalla diga di Corbara, il fiume Nera e il fiume Aniene. Con l'alto Tevere che costituisce un corso d'acqua con un comportamento non naturale perché dà il suo apporto con tempi e portate che sono modulate dallo scarico del serbatoio di Corbara, funzionante dal 1964.

Nella Tab.7 per il periodo da quando è stato costituito il Servizio Idrografico ad oggi (1921-2020) sono riportati i 64 eventi di piena che hanno raggiunto o superato la portata al colmo di $1.400 m^3/s$, abbassando la soglia di $1.500 m^3/s$ delle piene straordinarie in Tab.5 per avere un maggior numero di eventi da analizzare.

Di seguito si riporta il significato dei dati riportati nella Tab.7:

- Q_{med} = giorno della portata media giornaliera massima alla stazione di Roma Ripetta;
- $Q_{med} (m^3/s)$ = valore della portata media giornaliera a Roma Ripetta elaborato dal Servizio Idrografico (nazionale dal 1921 e regionale dal 2002);
- Ora e giorno del colmo = ora e giorno del passaggio del colmo di piena alla stazione di Roma Ripetta;
- H_c a Roma (m) = Altezza al colmo della piena alla stazione di Roma Ripetta;

- Q_c a Roma (m^3/s) = Portata al colmo corrispondente all'altezza al colmo alla stazione di Roma Ripetta;

- $Q_{4,5}$ (m^3/s) = media delle portate giornaliere medie del 5° e 4° giorno precedenti il giorno della massima portata giornaliera a Roma dell'evento di piena;

- P6gg (mm) Paglia + Basso Tevere - Bacino I ($5.343 km^2$) = piogge ragguagliate nel bacino indicato nei 6 giorni precedenti il giorno della portata massima giornaliera a Roma;

- P6gg (mm) Tevere a Corbara - Bacino II ($6.077 km^2$) = piogge ragguagliate nel bacino indicato nei 6 giorni precedenti il giorno della portata massima giornaliera a Roma;

- P6gg (mm) Nera - Bacino III ($4.290 km^2$) = piogge ragguagliate nel bacino indicato nei 6 giorni precedenti il giorno della portata massima giornaliera a Roma;

- P6gg (mm) Aniene - Bacino IV ($1.446 km^2$) = piogge ragguagliate nel bacino indicato nei 6 giorni precedenti il giorno della portata massima giornaliera a Roma;

- P6gg Intero bacino (mm) = piogge ragguagliate nell'intero bacino del Tevere ($17.156 km^2$) nei 6 giorni precedenti il giorno della portata massima giornaliera a Roma;

- Tipo di curva delle piogge secondo la classificazione di Frosini, 1977, che verrà illustrato nel seguito del lavoro.

Le portate liquide (portata al colmo e massima portata media giornaliera) della Tab.7 sono state riprese dagli Annali idrologici del Servizio idrografico Compartimento di Roma o forniti direttamente dallo stesso

in modo digitale, mentre dal 2002 sono stati forniti dal Servizio Idrografico regionale del Lazio (Centro Funzionale dell'Agenzia regionale di Protezione Civile).

Le piogge riportate nella Tab.7 che determinano la piena del Tevere a Roma (piogge determinanti) sono le piogge cumulate nell'intero bacino idrografico nei 6 giorni precedenti il colmo di piena. Anche se nella maggior parte dei casi le piogge determinanti avvengono in un intervallo di tempo minore, da 3 a 5 giorni.

Due eventi di piena sono stati considerati indipendenti se i rispettivi colmi di piena sono avvenuti ad una distanza di tempo di almeno 7 giorni. Per considerare lo stato del fiume su cui avvengono le piogge determinanti per l'evento di piena, nella Tab.7 è stato riportato il parametro $Q_{4,5}$ (Bersani e Bencivenga, 2001) che esprime la portata media giornaliera del Tevere a Roma (riportata negli Annali idrologici) del 4° e del 5° giorno antecedenti il giorno della portata massima giornaliera dell'evento di piena. Questo parametro prende in considerazione le piogge definite preparatorie (Remedia et alii, 1998) che avvengono prima delle piogge determinanti la piena del Tevere e dà indicazioni sullo stato di saturazione del bacino. Tanto maggiore è il valore del parametro $Q_{4,5}$, tanto maggiore sarà l'altezza di piena raggiunta a parità di piogge determinati per intensità e distribuzione.

Remedia et alii, 1998 definiscono infatti 3 fasi (preparatoria, antecedente e contemporanea) della pioggia che determina la piena del Tevere a Roma:

- Una lunga fase preparatoria della piena, sempre presente, caratterizzata da piogge ripartite in più mesi consecutivi che precedono l'evento e di altezza sufficiente a mantenere elevato il grado di imbibizione dei suoli impermeabili o mediamente permeabili ed a causare la saturazione, a seguito di moti ipodermici, dei suoli limitrofi ai compluvi drenanti aree sostanzialmente impermeabili;

- Una fase antecedente la piena, presente con elevata frequenza, caratterizzata da piogge giornaliere su più giorni consecutivi, in grado di elevare ulteriormente il grado di imbibizione, fino al limite della saturazione, dei suoli.

- Una fase contemporanea alla piena, caratterizzata da piogge giornaliere, estese su larga parte del bacino idrografico, che si manifestano per più giorni consecutivi (da 2-3 a 4-6). La distribuzione spaziale e temporale dei giorni delle precipitazioni è tutt'altro che uniforme. Elemento molto frequente nelle piene eccezionali del Tevere (Portata al colmo $Q_c > 2.000 m^3/s$ a Roma) è la presenza di piogge giornaliere elevate (50-100 mm cumulate nell'intero bacino) che anticipano mediamente di 24-48 ore il transito della portata di picco a Ripetta.

In particolare Remedia, 1998 per le piene eccezionali ($Q_c > 2.000 m^3/s$) prende in con-

siderazione per la fase preparatoria le piogge mensili relative a 2-4 mesi precedenti, per la fase antecedente le piogge giornaliere fino a 20 giorni prima il giorno della piena e infine per la fase contemporanea le piogge giornaliere fino a 3-5 giorni prima, che Frosini, 1977 ha denominato per primo come "piogge determinanti".

Remedia et alii, 2000 affermano che in presenza di suoli con di elevato stato di imbibizione, anche precipitazioni di intensità media nel bacino inferiore a 20 mm/giorno sono state in grado di generare piene con portata di picco a Roma di valore superiore a 2.000 m^3/s .

Nel presente lavoro sono state considerate, come piogge determinanti, le piogge avvenute nei 6 giorni precedenti l'evento di piena, con il 6° giorno coincidente con il giorno della massima portata media giornaliera. Spesso la piena è stata causata, come visto, da piogge di durata inferiore a 6 giorni, ma considerare sempre come "determinanti" le piogge nell'intero periodo di 6 giorni precedenti la piena permette di confrontare le piogge in tutti gli eventi di piena esaminati in maniera uniforme.

Giorno Q _{med} max	Q _{med} S.I. (m ³ /s)	Ora e giorno del colmo	Hc a Roma (m)	Qc a Roma (m ³ /s)	Q _{4,5} Roma (m ³ /s)	P _{6gg} (mm) Paglia + Basso Tev. (Bac. I) 5.343 (km ²)	P _{6gg} (mm) Tev. a Corbara (Bac. II) 6.077 (km ²)	P _{6gg} (mm) Nera (Bac. III) 4.290 (km ²)	P _{6gg} (mm) Aniene (Bac. IV) 1.446 (km ²)	P _{6gg} (mm) Bacino intero 17.156 (km ²)	Tipo curva Frosini 1977
20 ott-22	1042	07,00 - 20/10/1922	12,64	1500	124	110	71	59	141	86	B
27 ott-22	1099	08,00 - 27/10/1922	12,50	1450	284	94	65	87	90	82	B
09 dic-23	1440	03,00 - 09/12/1923	14,75	2350	652	108	101	101	124	105	C
02 mar-25	1621	06,00 - 03/03/1925	13,10	1650	365	57	65	53	34	57	A
31 ott-28	1540	06,00 - 01/11/1928	13,83	1650	133	117	125	58	72	101	A
04 gen-29	1966	22,00 - 04/01/1929	14,90	2050	192	117	89	100	146	105	B
19 nov-29	1525	14,00 - 19/11/1929	13,52	1500	211	137	110	124	156	126	B
17 dic-33	1229	09,00 - 17/12/1933	12,04	1400	457	89	70	82	90	80	B
30 dic-33	1508	09,00 - 30/12/1933	13,06	1550	314	88	58	50	91	68	B
16 dic-34	1876	23,00 - 16/12/1934	14,40	1950	219	140	119	63	101	110	A
10 feb-35	1413	17,00 - 10/02/1935	12,82	1450	262	50	57	41	45	50	A
03mar-35	1696	02,00 - 04/03/1935	13,73	1750	562	84	55	109	76	80	B
19 nov-35	1407	16,00 - 19/11/1935	12,73	1450	221	97	65	53	84	74	C
02 mar-36	1690	06,00 - 02/03/1936	13,87	1700	415	109	88	129	122	108	B
09 ott-37	1370	08,00 - 09/10/1937	12,70	1500	192	46	100	45	48	65	A
17 dic-37	2730	23,00 - 17/12/1937	16,90	2750	1470	129	118	135	160	129	B
24 dic-38	1440	14,00 - 24/12/1938	12,77	1550	204	113	61	85	136	90	B
26 ott-40	1346	00,00 - 27/10/1940	12,45	1450	171	111	91	75	116	95	B
05 feb-41	1553	13,00 - 06/02/1941	13,32	1800	491	133	95	84	151	109	B
23 feb-41	1540	17,00 - 23/02/1941	13,18	1750	758	101	78	91	123	92	B
10 mar-41	1260	19,00 - 10/03/1941	11,84	1400	722	45	61	52	46	52	A
06 feb-47	2190	10,00 - 06/02/1947	14,53	2300	249	129	68	100	133	101	B
27 feb-51	1460	20,00 - 27/02/1951	12,07	1550	500	59	86	92	84	79	A
03 gen-53	1230	09,00 - 03/01/1953	11,54	1400	772	95	89	115	64	95	C
13 feb-54	1270	08,00 - 13/02/1954	11,45	1400	261	64	52	54	72	58	B
02 mag-56	1355	10,00 - 02/05/1956	11,75	1450	265	101	72	107	96	92	B
03 dic-59	1180	09,00 - 03/12/1959	11,75	1450	163	130	66	107	138	102	B
26 dic-59	1307	06,00 - 26/12/1959	11,88	1500	434	61	69	96	83	75	B
23 dic-60	1380	23,00 - 23/12/1960	12,10	1550	888	100	76	99	137	94	B
06 gen-61	1390	19,00 - 06/01/1961	12,10	1550	539	71	72	63	91	71	C
13 gen-61	1160	13,00 - 13/01/1961	11,26	1400	684	50	41	33	57	43	C
14 nov-61	1125	19,00 - 14/11/1961	11,53	1450	235	74	69	91	97	78	B
20 nov-62	1160	04,00 - 21/11/1962	11,16	1400	896	137	128	154	138	138	B
20 dic-64	1132	04,00 - 20/12/1964	11,16	1400	345	113	59	58	108	79	B

Giorno Q _{med} max	Q _{med} S.I. (m ³ /s)	Ora e giorno del colmo	Hc a Roma (m)	Qc a Roma (m ³ /s)	Q _{4,5} Roma (m ³ /s)	P _{6gg} (mm) Paglia + Basso Tev. (Bac. I) 5.343 (km ²)	P _{6gg} (mm) Tev. a Corbara (Bac. II) 6.077 (km ²)	P _{6gg} (mm) Nera (Bac. III) 4.290 (km ²)	P _{6gg} (mm) Aniene (Bac. IV) 1.446 (km ²)	P _{6gg} (mm) Bacino intero 17.156 (km ²)	Tipo curva Frosini 1977
30 dic-64	1520	06,00 - 30/12/1964	12,46	1700	357	90	78	106	109	106	B
03 set-65	1562	18,00 - 03/09/1965	12,65	1800	125	231	189	149	204	194	C
06 feb-69	1507	06,00 - 06/02/1969	11,30	1500	246	53	81	69	60	67	A
17 feb-69	1544	11,00 - 17/02/1969	11,43	1550	415	65	70	104	147	83	B
19 nov-75	1425	11,00 - 19/11/1975	11,46	1500	139	147	114	174	191	146	B
17 feb-76	2004	02,00 - 17/02/1976	12,72	2050	169	123	86	107	145	108	B
16 apr-78	1341	07,00 - 16/04/1978	10,74	1400	311	65	66	73	89	69	B
18 feb-79	1601	12,00 - 18/02/1979	11,90	1650	373	96	70	82	90	83	C
17 gen-80	1402	19,00 - 16/01/1980	10,76	1400	402	74	42	73	104	64	B
08 nov-80	1500	21,00 - 07/11/1980	11,10	1500	165	125	132	112	119	124	A
15 nov-80	1380	11,00 - 15/11/1980	10,83	1400	508	81	70	100	100	83	B
23 dic-82	1450	06,00 - 24/12/1982	11,55	1500	665	89	91	146	147	109	A
27 feb-84	1650	06,00 - 27/02/1984	11,81	1650	192	123	110	136	210	129	A
02 feb-86	1850	02,00 - 03/02/1986	12,40	1900	186	139	88	109	161	115	B
27 nov-87	1350	16,00 - 27/11/1987	10,70	1400	139	131	95	149	140	124	B
10 dic-87	1400	22,00 - 10/12/1987	11,08	1450	372	88	77	64	76	77	C
11 dic-90	1236	21,00 - 10/12/1990	10,63	1400	117	82	72	109	156	92	B
22 nov-91	1563	21,00 - 22/11/1991	11,77	1600	938	107	107	133	124	115	C
09 dic-92	1533	02,00 - 09/12/1992	11,39	1550	251	115	118	143	162	127	A
17 dic-99	1360	20,00 - 17/12/1999	10,95	1450	282	50	54	121	110	74	B
28 dic-04	1073	22,30 - 27/12/2004	10,89	1400	651	78	39	60	106	62	B
29 nov-05	1253	00,15 - 28/11/2005	11,17	1500	161	92	98	113	94	100	B
07 dic-05	1333	17,30 - 07/12/2005	11,41	1600	651	73	70	78	85	74	C
13 dic-08	1621	01,30 - 13/12/2008	12,65	1800	248	113	93	75	117	97	B
08 gen-10	1185	---- 8/01/2010	11,10	1450	392	60	93	65	47	72	B
02 dic-10	1351	---- 02/12/2010	11,56	1500	309	121	128	133	130	127	C
14 nov-12	1775	01,00 - 15/11/2012	13,49	1950	139	96	157	33	20	96	A
01 feb-14	1700	14,00 - 1/02/2014	12,79	1750	282	136	66	66	95	89	B
12 feb-14	1163	---- 12/02/2014	10,71	1400	620	60	66	51	45	58	A
06 feb-15	1133	---- 6/02/2015	11,20	1450	301	91	61	77	92	77	B
					Medie	98	84	91	108	92	

Tab. 7 - Afflussi nell'intero bacino e nei 4 principali sottobacini nei 64 eventi di piena del Tevere a Roma con portata al colmo ≥ 1.400 m³/s avvenuti nel periodo 1921 - 2020.

Piena: giorno Q _{med} Q _{med} max	Q _{med} S.I. (m ³ /s)	Ora e giorno del colmo	Hc Roma (m)	Q _c Roma (m ³ /s)	Q _{4,5} Roma (m ³ /s)	Tevere a Corbara 6.077 km ² Pogg (mm)	Paglia + Basso Tev 5.343 km ² Pogg (mm)	Nera 4.290 km ² Pogg (mm)	Aniene 1.446 km ² Pogg (mm)	Bacino intero 17.156 km ² Pogg (mm)	Tipo curva Frosini 1977
20 ott-85	300	----- 20/10/1985	5,45	500	133	63	98	156	159	118	B

Tab. 7bis - Afflussi nell'intero bacino e nei 4 principali sottobacini nei 6 giorni precedenti il 20 novembre 1985

Per la determinazione delle piogge nei 64 eventi riportati nella Tab.7 sono stati inseriti in fogli excel circa 25.000 dati di pioggia giornaliera (compreso il valore zero) espressi in mm.

Frosini (1977) ha elaborato infatti un diagramma per le piogge determinanti le piene del Tevere (Fig.5), considerando le piogge ragguagliate nelle varie sezioni lungo l'asta

principale del Tevere, prima e dopo la confluenza con i maggiori affluenti (Chiascio, Paglia, Nera e Aniene). Frosini divide le piene in 2 categorie:

- Tipo A con piogge determinanti decrescenti da monte verso valle;
- Tipo B con piogge determinanti crescenti da monte verso valle.

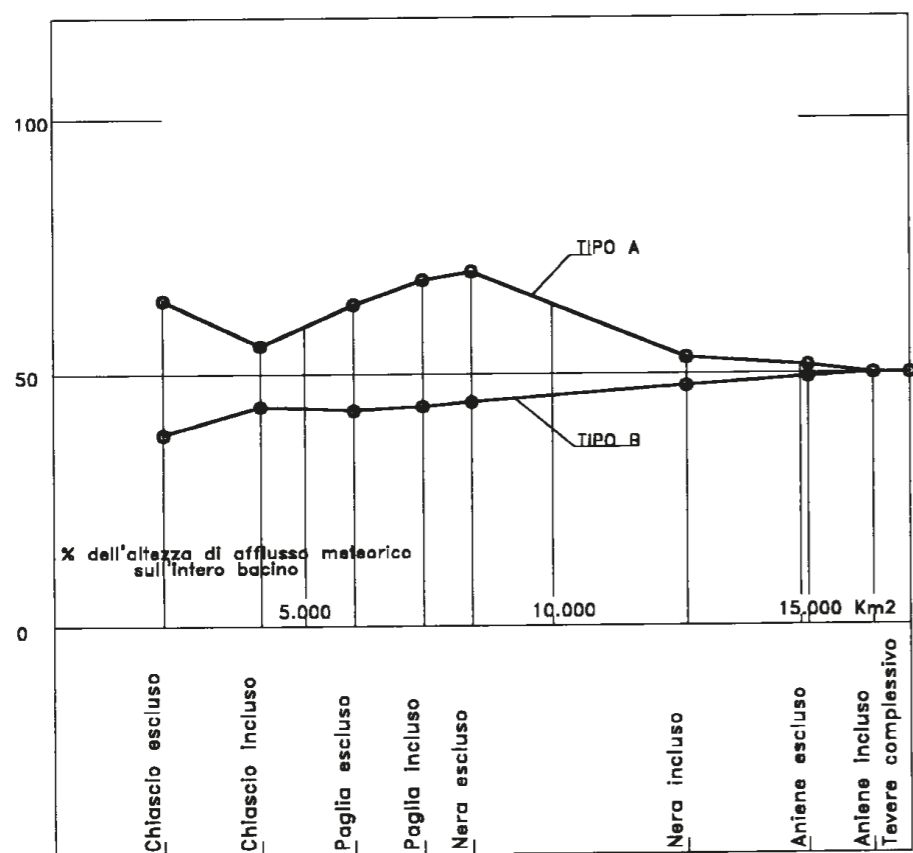


Fig.5 – Diagramma delle piogge determinanti le piene del Tevere, secondo Frosini, 1977

Bersani et alii (1999) hanno poi aggiunto anche le piogge determinanti di Tipo C, corrispondenti alla situazione particolare di piogge pressoché uniformi su tutto il bacino. Le piogge determinanti di Tipo C corrispondono agli eventi di piena generati da perturbazioni meteorologiche molto estese, che stazionano nell'Italia centrale per più giorni consecutivi.

Nella Tab.8 che segue è riportata la divisione del bacino idrografico con la relativa superficie, utilizzata per il diagramma di Frosini, 1977.

Bacino	km ²
Tevere a Chiascio escluso	2.184
Tevere a Chiascio incluso	4.138
Tevere a Paglia escluso	6.077
Tevere a Paglia incluso	7.415
Tevere a Nera escluso	8.412
Tevere a Nera incluso	12.702
Tevere a Aniene escluso	15.089
Tevere complessivo	17.156

Tab.8 – Superfici progressive del Tevere nel diagramma di Frosini,1977

Risultano così per i 64 eventi di piena del periodo 1921 - 2020 dalla Tab.7:

- n. 14 piene con piogge determinanti di Tipo A,
- n. 39 piene con piogge determinanti di Tipo B,
- n. 11 piene con piogge determinanti di Tipo C.

Le piene che hanno fatto registrare le maggiori altezze al colmo sono correlate a piogge determinanti di Tipo B o di Tipo C. Le

piogge di Tipo B infatti fanno sì che l'onda di piena proveniente dall'alto corso del Tevere si sommi con l'onda di piena che si forma nel basso corso e negli affluenti nel basso corso (Aniene in particolare). Le piogge determinanti di Tipo C sono invece correlate a perturbazioni meteorologiche persistenti e estese contemporaneamente su gran parte dell'intero bacino idrografico.

Nella Fig.6 che segue sono riportati 3 casi reali, riportati nella Tab.7, rappresentativi delle diverse tipologie delle piogge determinanti di 6 giorni: Tipo A (piena del 9 ottobre 1937), Tipo B (piena del 17 febbraio 1976) e Tipo C (piena del 3 settembre 1965).

Dalla Tab.7 nei 64 eventi di piena del Tevere con $Q_c \geq 1.400$ m³/s a Roma, la pioggia media nell'intero bacino precedente il colmo di piena è stata di 92 mm. Il bacino dell'Aniene risulta essere il più piovoso con 108 mm, mentre il bacino meno piovoso è risultato il bacino dell'alto Tevere con 84 mm. In 24 eventi su 64 (poco più di un terzo degli eventi totali) il valore della pioggia ragguagliata nell'intero bacino ha raggiunto o superato i 100 mm. Nella Tab.7 sono però presenti eventi di piena causati anche da piogge ragguagliate di 6 giorni nell'intero bacino pari soltanto a 50 mm, ciò dipende sia dalla distribuzione areale delle piogge, sia dallo stato di saturazione del terreno nel bacino e sia dalla portata del fiume nei giorni antecedenti la piena, su cui insistono poi le piogge determinanti. Lo stato del fiume (corrispondente alle piogge descritte della fase preparatoria e della fase antecedente di Remedea et alii, 1998) su cui avvengono le

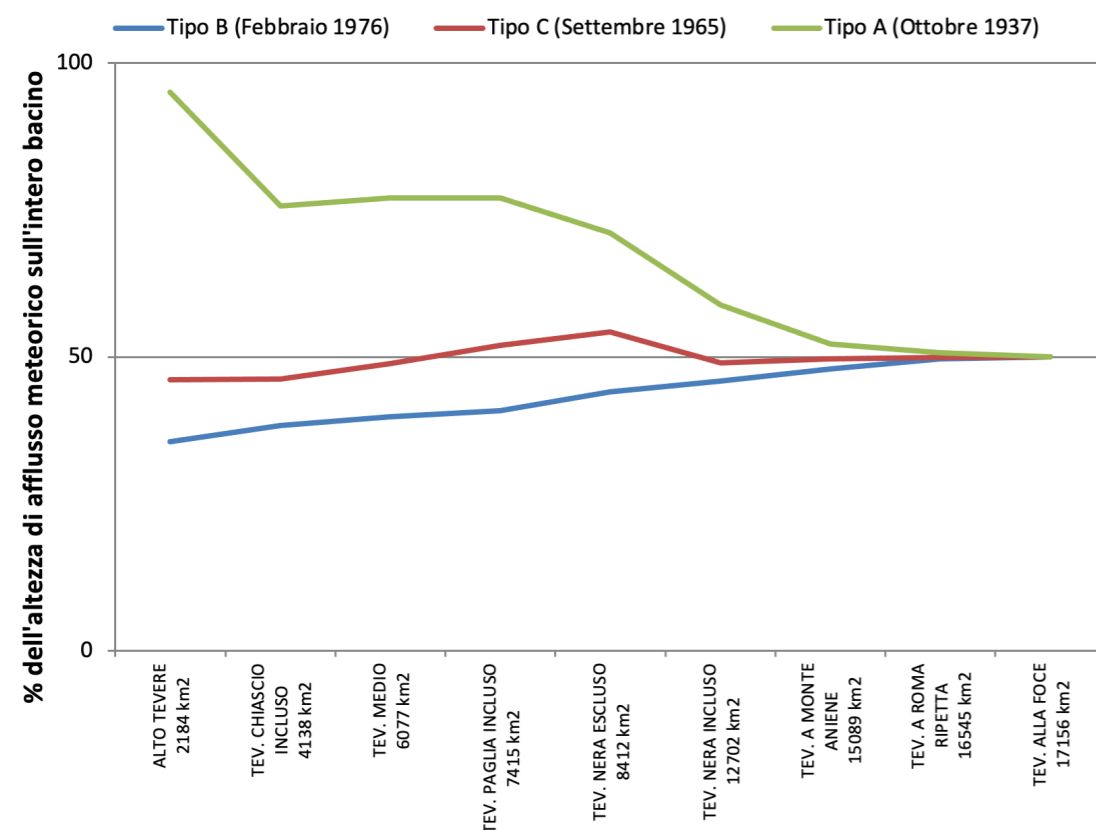


Fig.6 – Diagramma delle piogge determinanti di 6 giorni per 3 casi reali (Tipo A, Tipo B e Tipo C) di eventi di piena del Tevere

piogge determinanti è espresso nella Tab.7 dal parametro $Q_{4,5}$.

Al contrario, in casi del tutto eccezionali, piogge ragguagliate nell'intero bacino di oltre 100 mm possono generare portate al colmo a Ripetta anche molto modeste, come nel caso dell'evento del 20 novembre 1985 (Bersani

P. e Bersani A., 2008), riportato in Tab.7bis dove ad una pioggia ragguagliata nell'intero bacino di 118 mm nei sei giorni precedenti il giorno 20 novembre, ha corrisposto un'altezza idrometrica (Distante, 1990) soltanto di circa 7 m a Ripetta, a cui corrisponde una portata inferiore a 500 m³/s.

Nella Tab.9 che segue sono riportati gli eventi di piena della Tab.7 che hanno superato i 13 m all'idrometro di Ripetta dopo la piena eccezionale del dicembre 1937.

Evento di piena	Altezza al colmo Hc a Ripetta (m)	Portata al colmo Qc (m ³ /s)	Q _{4,5} (m ³ /s)	P7gg nel bacino a Roma Ripetta (mm)	Diagramma Frosini, 1977
17 dicembre 1937	16,90	2.750	1470	139	B
5 febbraio 1941	13,32	1.800	491	113	B
23 febbraio 1941	13,18	1.750	758	105	B
6 febbraio 1947	14,53	2.300	249	101	B
14 novembre 2012	13,49	1.950	139	99	A

Tab.9 – Maggiori eventi di piena del Tevere a Roma dal 1937 al 2020 (Hc > 13 m a Ripetta)

Nella Tab.9 sono riportati 7 giorni di pioggia, considerando anche il giorno di pioggia successivo al giorno della portata massima giornaliera della piena.

Dalla Tab.9 si evince che, dopo la piena eccezionale del dicembre 1937 (Hc = 16,90 m), una sola volta è stato superato il valore di 14 m a Ripetta (Hc = 14,53 nella piena del 6 febbraio 1947) e soltanto tre volte il valore di 13 m. In particolare da quando sono operanti le dighe con serbatoio di Corbara (1963) e di Alviano (1964) il livello di 13 m a Ripetta è stato superato in un unico evento, nel novembre 2012.

Si riportano di seguito alcuni cenni sulle piene, ritenute per vari motivi più significative, della Tab.7: anni 1937, 1947, 1965 e 2012.

La piena del **17 dicembre 1937** ha raggiunto l'altezza idrometrica eccezionale di 16,90 m, l'altezza più alta della Tab.7, a cui corrisponde una portata al colmo di circa 2.750 m³/s. Secondo la classificazione di Frosini, 1977 le piogge determinanti (Fig.6) sono state di Tipo B. Il livello al colmo particolarmente alto è stato causato oltre che da piogge determinanti molto elevate (circa 130 mm in 6 giorni dalla Tab.7 e vedi anche Fig.7) anche da piogge molto elevate nelle fasi preparatoria e antecedente, come dimostra l'elevatissimo valore del parametro $Q_{4,5}$ pari a 1.470 m³/s (Tab.7). Inoltre l'arginatura in terra a valle della città (realizzata nel periodo 1916-1930) aveva, come visto, fatto rialzare i livelli del fiume nel tratto urbano durante le piene. Dopo l'evento del 1937 i livelli di piena a Roma si sono notevolmente abbassati, soprattutto per la realizzazione

nel 1940 del citato drizzagno di Spinaceto e poi per il progressivo abbassamento del fondo nell'alveo del fiume nel tratto urbano e a valle della città.

L'evento di piena del **6 febbraio 1947** ha raggiunto alla stazione di Ripetta un'altezza al colmo notevole (Hc = 14,53 m), a cui corrisponde una portata al colmo (circa 2.300 m³/s) molto elevata rispetto alle piogge registrate (pioggia media nell'intero bacino in 6 giorni pari a 101 mm), questo perché contemporaneamente alle piogge dirette vi è stato, a causa di un innalzamento di temperatura, anche lo scioglimento della neve, la cui permanenza al suolo era stata favorita dalle basse temperature verificatesi in quel periodo (Annale idrologico, 1947). Risulta così decisamente sottostimato il valore reale di 101 mm degli afflussi in 6 giorni della Tab.7. Sebbene in proporzioni molto minori anche nell'evento di piena del 29 novembre 2005 lo scioglimento della neve in Umbria ha innalzato i livelli idrometrici che si sarebbero avuti in base alle sole piogge dirette, procurando un'onda di piena importante nel serbatoio di Corbara (Bersani e Vitale, 2006; Viterbo et alii, 2006).

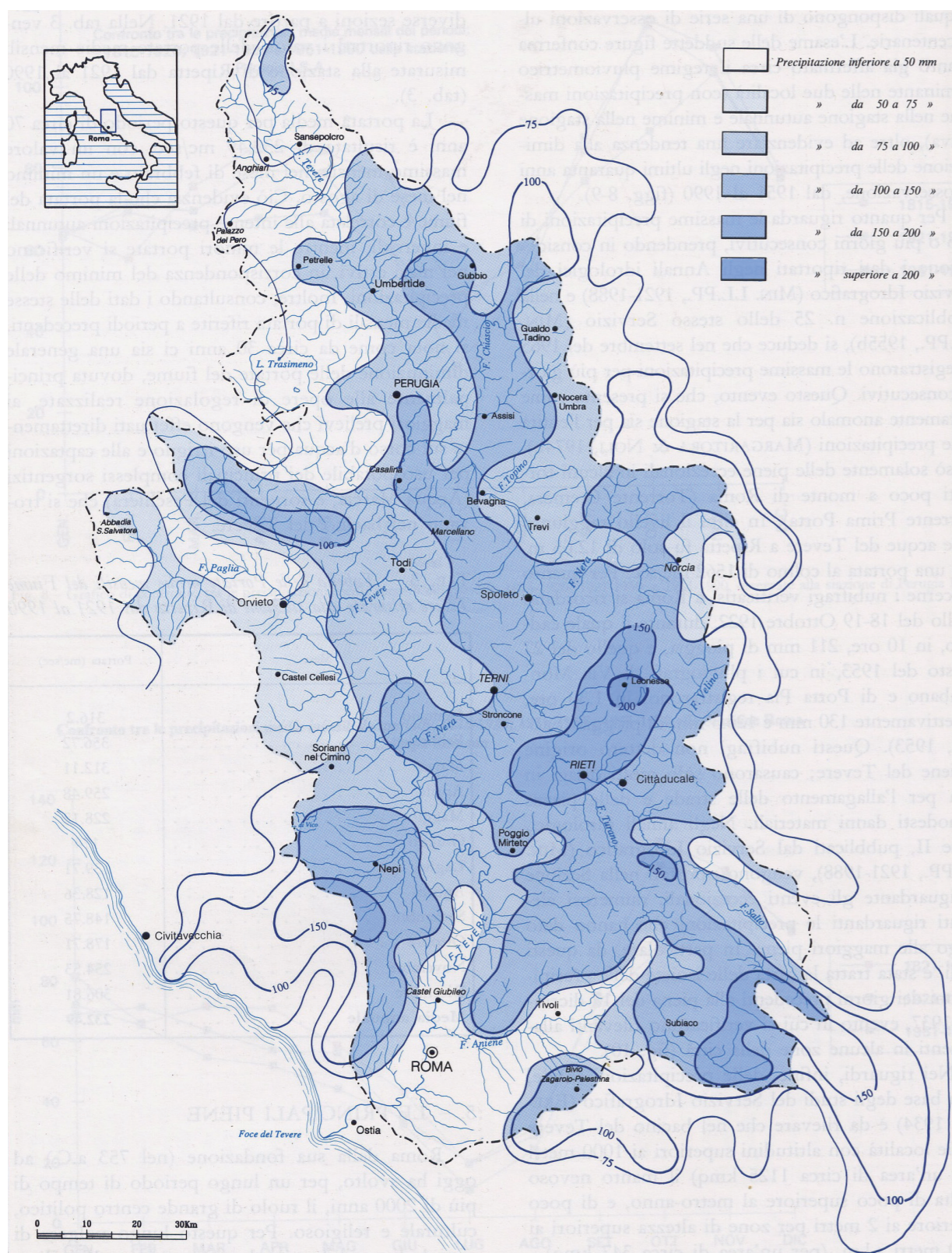


Fig.7 - Isoiete del 14, 15 e 16 dicembre nell'evento di piena del Tevere a Roma del 17 dicembre 1937 (da Frosini, 1937 e Bencivenga et, alii, 1995)

L'evento di piena del **3 settembre 1965** ha fatto registrare il valore decisamente più elevato della pioggia ragguagliata nell'intero bacino pari a ben 194 mm in 6 giorni. L'altezza idrometrica al colmo a Roma Ripetta invece è stata soltanto di 12,65 m. Questo principalmente perché all'arrivo dell'onda di piena il serbatoio di Corbara si trovava ad un livello molto basso ed ha potuto invasare circa 90 milioni di m³ d'acqua (Calenda et alii, 1997), laminando così quasi per intero l'onda di piena proveniente dall'alto Tevere ed evitando quindi la sovrapposizione con l'onda di piena proveniente dal fiume Paglia. Inoltre le piogge essendo avvenute in estate hanno trovato un suolo per nulla saturo e ricco di vegetazione, quindi capace di trattenere molta acqua. Infine le pianie alluvionali lungo il corso principale del Tevere e dei suoi affluenti principali (Paglia, Nera e Velino in particolare) si sono comportate come serbatoi naturali (Bersani et alii, 1995) ed hanno avuto la capacità di immagazzinare la prima piena al termine del periodo estivo, svolgendo così anche loro una importante azione di laminazione della piena stessa.

La piena del 3 settembre 1965 è stata una piena causata da piogge determinanti di Tipo C (Tab.7 e Fig.8) secondo la classificazione delle piogge determinanti di Frosini, 1977.

Questa piena del Tevere a Roma del 3 settembre 1965 risulta inoltre molto significativa per la valutazione del pericolo che le piene possono costituire a causa di un improvviso innalzamento del livello del fiume, anche quando l'acqua non fuoriesce dagli argini. Il giorno 1 settembre 1965 infatti il

livello del Tevere all'idrometro di Ripetta è salito, in sole 4 ore, dalle ore 17,00 alle ore 21,00 di circa 4 metri da 6,30 m a 10,30 m. Considerando che la banchina all'idrometro di Ripetta (situato al Ponte Cavour) è a quota 6,75 m, si evince che la banchina è stata sommersa di circa 3,5 m.

Calenda et alii, 1997 stimano che senza la citata laminazione del serbatoio di Corbara vi sarebbe stata alla stazione di Roma Ripetta una portata al colmo "naturale" di 2.700 m³/s, dello stesso ordine cioè della portata della piena eccezionale del dicembre 1937. L'ipotesi di Calenda et alii probabilmente però non tiene nel dovuto conto l'azione che avrebbero avuto le casse di espansione naturali del Tevere da Orte fino a Monterotondo (tra la stazione di Alviano e ponte del Grillo). In Calenda et alii, 1997 inoltre non è stata stimata l'altezza idrometrica al colmo che si sarebbe avuta senza la laminazione di Corbara, che sarebbe stata comunque molto inferiore a quella del 1937 anche ipotizzando la stessa portata.

Natale e Savi, 2004 affermano invece che se le piogge che hanno determinato la piena del settembre 1965 avessero trovato un'umidità del suolo tipicamente invernale, l'onda di piena avrebbe raggiunto una portata al colmo "naturale" di circa 3.300 m³/s. Anche in Natale e Savi, 2004 però non sembra essere stata tenuta nel dovuto conto l'azione che avrebbero avuto le casse di espansione naturali del Tevere da Orte fino a Monterotondo.

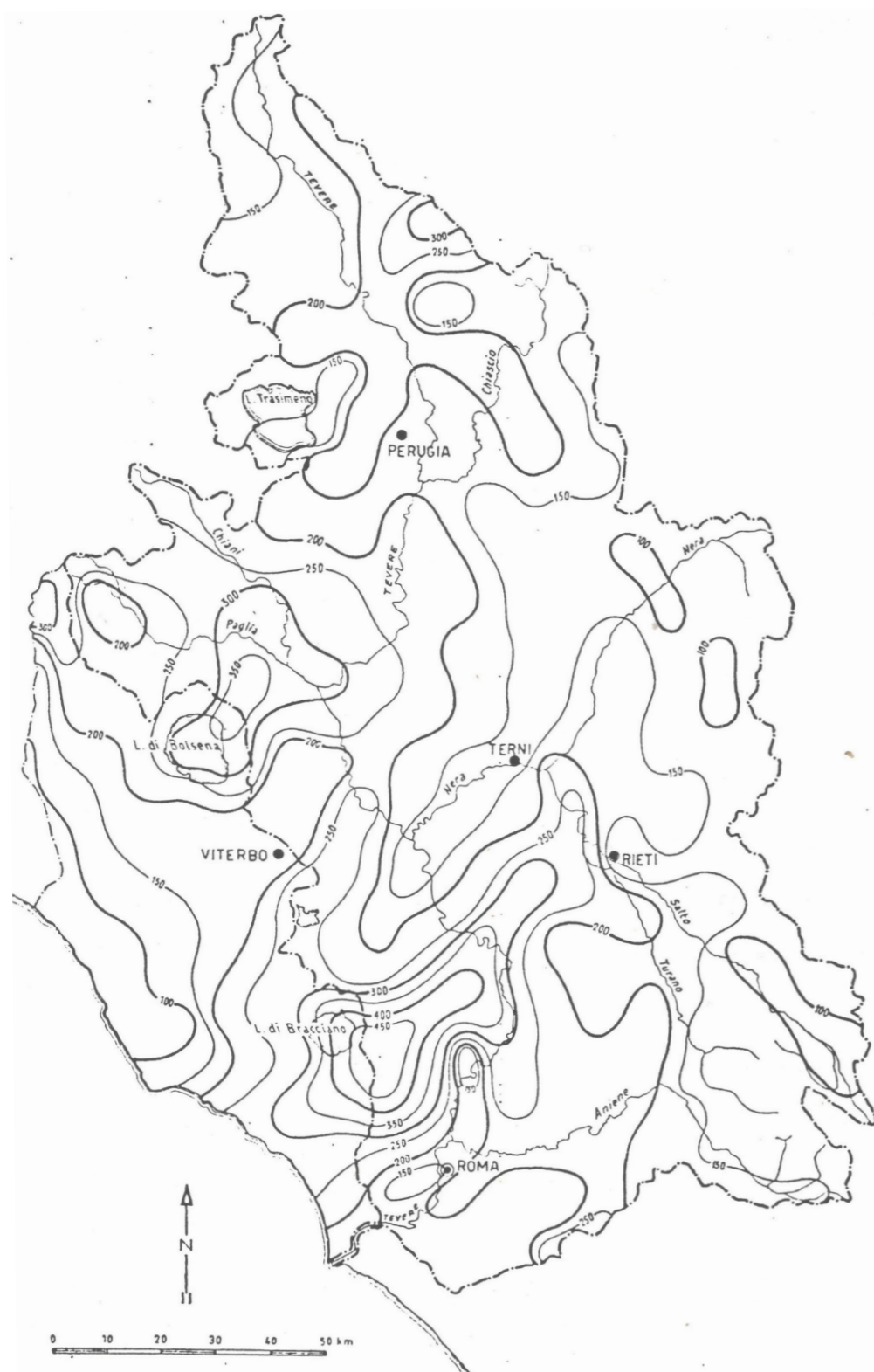


Fig.8 – Isoiete del periodo 1 - 3 settembre nel bacino del Tevere (da Annale Idrologico dell'anno 1965)

Nella Fig.8 sono riportate le isoiete nel bacino del Tevere per il periodo 1-3 settembre 1965. Le piogge determinanti del tutto eccezionali di circa 200 mm avvenute nei giorni di fine agosto - inizio settembre 1965 possono avvenire soltanto nella stagione estiva per la maggiore quantità di evaporazione dell'acqua del mare dovuta alle alte temperature. Non sembra quindi verosimile l'ipotesi Di Natale e Savi (2004) che si possano verificare contemporaneamente entrambe le situazioni: saturazione del suolo di tipo invernale e piogge elevatissime dovute alle temperature estive.

Nell'evento di piena del **14 novembre 2012** risulta nella Tab.7 un'altezza idrometrica alla stazione di Ripetta pari a circa 13,5 m ($Q_c = 1933 \text{ m}^3/\text{s}$), che è difficile spiegare in relazione alla piogge determinanti e al parametro $Q_{4,5}$, anche se è vero che si è avuta una piovosità eccezionale nel bacino del Paglia.

Dal "Rapporto di evento del 11 - 16 novembre 2012" (Regione Lazio - Centro Funzionale Regionale, 2012) a cura dell'Ing. Francesco Mele si evince infatti la portata massima in uscita dal serbatoio di Alviano, sul medio corso del Tevere, subito a valle della confluenza con il fiume Paglia, è stata - dalle ore 12,00 circa del 12 novembre alle ore 12,00 circa del 13 novembre - pari a circa $2.200 - 2.400 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente ad un tempo di ritorno duecentennale. Ciò significa che il colmo della piena del Paglia è stato dell'ordine di circa $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Invece la portata al colmo a Roma Ripetta è stata di soli $1933 \text{ m}^3/\text{s}$ alle ore 1,00 del 15 novembre. La portata di $2.200 - 2.400 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente

dallo scarico di Alviano non si è conservata come tale fino a Roma perché le aree di laminazione tra Orte e Monterotondo hanno attenuato il colmo di piena, specialmente con esondazioni nella zona di Orte.

Il motivo dell'altezza idrometrica superiore a 13 m a Roma Ripetta nella piena del novembre 2012 deve essere ricercato anche nel comportamento del serbatoio di Corbara. Infatti il serbatoio di Corbara non ha laminato la piena (se non in piccola quantità) perché aveva già invasato circa 70 milioni di metri cubi d'acqua provenienti dall'alto Tevere prima che arrivasse l'onda di massima piena, che è così arrivata quando il serbatoio era già pieno. Il serbatoio di Corbara infatti ha dovuto scaricare circa $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ dalle ore 6,00 del 13 novembre (quando il passaggio dell'onda di piena proveniente dal Paglia era in parte ancora in corso) per circa 12 ore consecutive.

La pioggia ragguagliata nel bacino del Paglia (Regione Lazio, 2012) è stata di oltre 250 mm in 3 giorni, dall'11 al 13 novembre 2012, con punte nella stazione di Abbazia S. Salvatore con piogge pari a 306 mm in 48 ore, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 250 anni. Per le piogge di 36 ore (93 mm) di tale stazione il tempo di ritorno è addirittura di 350 anni.

Le piogge del novembre 2012 nel bacino del Paglia, con circa 90 mm il giorno 11 novembre e con circa 165 mm il giorno 12 novembre, sono state superiori sia alle piogge della piena del Paglia dell'ottobre 1937, dove si era avuta una pioggia ragguagliata nel bacino di 150 mm (Frosini, 1977) in 24 ore,

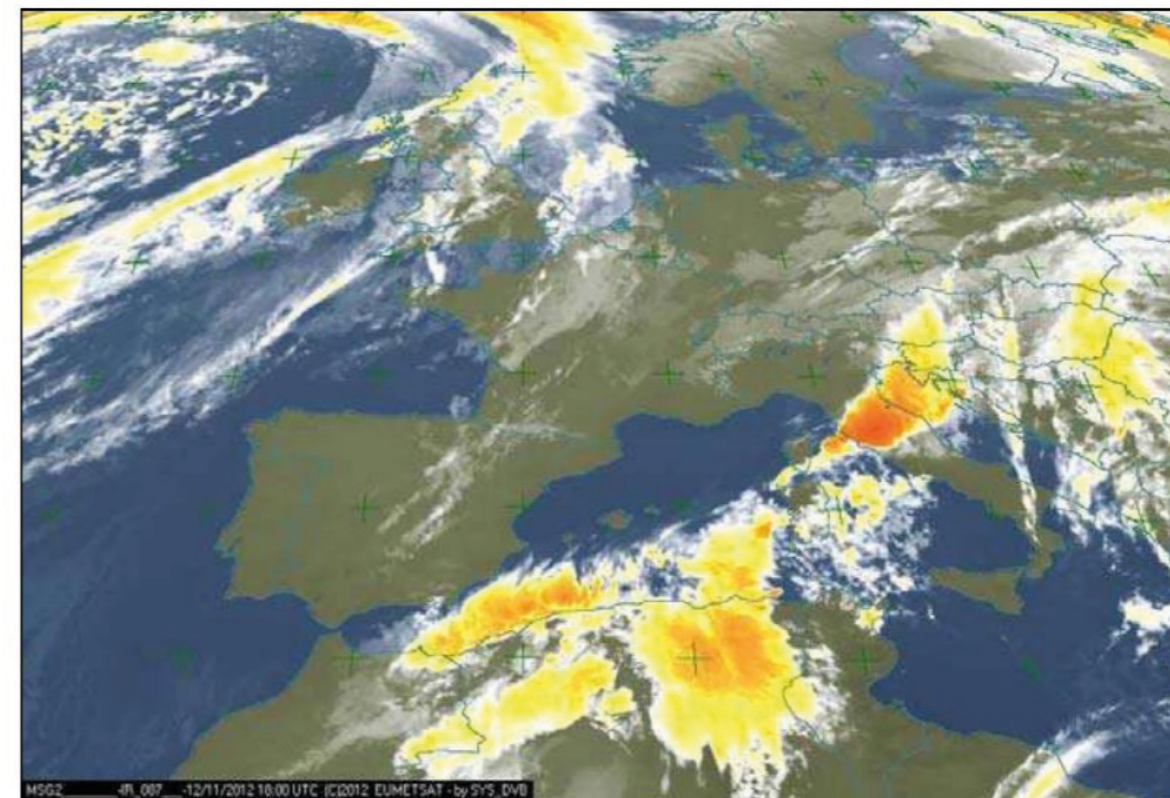
sia alle piogge della piena del 19 settembre 1960 del Paglia, dove le isoiete nel bacino del Paglia mostrano ancora circa 150 mm di pioggia ragguagliata in 24 ore (vedi Annali idrologici, 1960 e Bersani, 2004).

Il cambio degli idrometri di riferimento sul Paglia ad Orvieto tra il Servizio Idrografico Nazionale e il Servizio regionale del Lazio e la conformazione dell'alveo mutata per il grande prelievo di inerti non hanno purtroppo permesso un confronto tra le altezze al colmo della piena del novembre 2012 con quelle delle piene precedenti.

In questo evento di piena del novembre 2012 nella zona di Orte scalo, a valle del lago di Alviano, si sono registrati livelli idrometrici superiori ad ogni dato storico disponibile (Altezza al colmo $H_c = 9,51$ m all'idrometro di Orte scalo) e si è verificata l'esondazione di volumi d'acqua talmente ingenti da creare una sorta di bacino naturale di laminazione (Regione Lazio, 2012).

La piena del 14 novembre 2012 è stata decisamente una piena causata da piogge determinanti di Tipo A (Tab.7) secondo la classificazione di Frosini, 1977. Infatti ad una pioggia molto elevata nel bacino nord del Tevere e nel bacino del Paglia, ha corrisposto nella parte finale del bacino e nei bacini ad est (Nera e Aniene) una pioggia modestissima, tanto che quando la piena è arrivata a Roma, nella città c'era il sole e quindi la piena stessa è transitata senza che i comuni cittadini se ne accorgessero. È interessante notare che le piogge in questo evento di piena oltre che nel bacino del Paglia sono state elevatissime anche in alcuni bacini tirrenici (Fig.9),

in particolare nel bacino del fiume Fiora (Regione Lazio-Centro Funzionale, 2012). Piogge molto elevate si sono registrate anche nel territorio della Chiana di 1.100 km² in Toscana, che, come visto in precedenza, fino al 1780 confluiva nel bacino del fiume Chiani e quindi del fiume Paglia. È facile ipotizzare che una piena, con questo tipo di piogge se fosse avvenuta prima del 1780 - senza i muraglioni urbani e quando ovviamente non era presente nemmeno la diga di Corbara - sarebbe stata sicuramente a Roma una piena eccezionale con esondazione importante delle acque in città. Quanto avvenuto testimonia il buon grado di sicurezza raggiunto oggi dalla città di Roma per la difesa delle piene, però se la perturbazione fosse stata più estesa e avesse piovuto in maniera consistente anche nella parte bassa del bacino del Tevere e nel bacino dell'Aniene, la portata al colmo a Roma sarebbe potuta essere ben superiore. Comunque il fatto che nella piena del novembre 2012 una portata di circa 2.000 m³/s (forse anche sottostimata in confronto alle altre piene considerate di 2.000 m³/s avvenute negli anni '70 e '80 del secolo precedente, con altezze idrometriche decisamente inferiori) abbia raggiunto a Roma un'altezza di 13,5 m significa che i muraglioni urbani avevano ancora un franco di circa 4 metri per far transitare un colmo di piena, quindi con portata ben superiore, senza produrre danni in città. Infatti alla stazione di Ripetta (oggi ubicata a Ponte Cavour) la scala idrometrica fino a 18 m risulta compresa all'interno dei muraglioni.



12/11/2012 ore 18.00 UTC- Satellite Meteosat 9, canale I.R. 8.7

Fig.9 – Immagine da satellite della perturbazione del 12 novembre 2012 sull'Italia centrale (da Regione Lazio - Centro Funzionale, 2012)

Poiché per gli anni del periodo bellico e post-bellico 1942-48 i dati termo pluviometrici del Servizio idrografico, pur essendo stati in buona parte raccolti, non sono stati pubblicati per esteso sugli annali idrologici, per la piena del 6 dicembre 1947 l'analisi delle piogge, riportata in Tab.7, è stata ripresa da Remedina et alii, 1998 mentre per gli altri 7 eventi di piena (Tab.10) avvenuti con portata al colmo maggiore o uguale a 1.400 m³/s (con corrispondente altezza al colmo H_c a Ripetta da 11,88 m a 12,46 m) non è stato possibile analizzare le piogge.

Piena	H_c (m)	$Q_{med\ max}$ S.I. (m ³ /s)	Q_c (m ³ /s)	$Q_{4,5}$ (m ³ /s)	P6gg a Perugia (mm)	P6gg a Orvieto (mm)	P6gg a Roma (mm)
11 feb 1942	12,23	1370	1600	335	37	108	54
26 feb 1942	12,50	1320	1500	627	19	48	34
29 nov 1944	12,46	1340	1600	221	51	55	35
19 nov 1946	12,43	1600	1650	803	103	73	201
13 feb 1947	12,42	1470	1500	890	41	62	77
20 feb 1947	11,88	1500	1500	686	41	64	22
29 gen 1948	12,25	1600	1650	350	59	77	50

Tab.10 –Altri eventi di piena nel periodo 1942-1948 con $H_c \geq 1.400$ m³/s

Nella Tab.10 sono riportate le piogge di 6 giorni antecedenti l'evento di piena, in tre stazioni, rappresentative della varie parti del bacino. Nella piena del 29 novembre 1944 la pioggia di 6 giorni si riferisce alla stazione di Parrano e non di Orvieto, comunque ugualmente nel bacino del Paglia.

Nelle Tab. 7, 9 e 10 le portate al colmo Q_c sono state approssimate a $50 \text{ m}^3/\text{s}$, infatti ciò comporta una approssimazione al massimo di $25 \text{ m}^3/\text{s}$, che percentualmente corrisponde, per portate uguali o superiori a $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$, ad un'approssimazione dell'1-2 % mentre è noto (Castany, 1970) che l'errore nella determinazione dei parametri idrologici non è mai inferiore al 5%.

Le portate al colmo sono state ricavate dai rapporti sugli eventi di piena redatti dal Servizio idrografico nazionale prima e regionale poi, oppure sono state stimate a partire dalla portata media giornaliera del giorno della piena, riportata sugli Annali idrologici o fornita dal Servizio Idrografico regionale del Lazio, e infine dalla ricostruzione delle scale di deflusso storiche (Bencivenga et alii, 2001). Le portate al colmo delle Tab. 7, 9 e 10 comunque non sono state utilizzate per successivi calcoli, ma soltanto per selezionare le piene da considerare.

Bisogna notare però che non mancano incongruenze nelle portate liquide negli Annali idrologici, dove per anni anche molto vicini nel tempo, sono stati talvolta riportati valori di portata molto differenti anche per altezze idrometriche quasi uguali.

Con i 7 eventi di piena della Tab.10, gli eventi totali nei 100 anni dal 1921 al 2020

con portata al colmo maggiore di $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ diventano 71:

- 40 eventi nel periodo 1921-1963 prima dell'entrata in funzione del serbatoio di Corbara con una media di un evento ogni circa un anno;
- 31 eventi nel periodo 1964-2020 dopo l'entrata in funzione del serbatoio di Corbara con una media molto più bassa di un evento ogni circa 22 mesi.

Se però si fossero considerati indipendenti 2 eventi di piena a distanza di tempo non di 7 giorni ma di 15 giorni, il numero degli eventi si sarebbe ridotto da 71 a 60 (35 eventi nel periodo 1921-1963 e 25 eventi nel periodo 1964-2020).

Infine è interessante notare che le piogge intense di più giorni consecutivi, oltre a generare importanti piene del Tevere a Roma, in alcuni casi hanno anche causato importanti cambiamenti idrografici (Ruisi et alii, 2020) nel bacino del Tevere. In particolare nel 1836, dove a Roma si è avuta una piena del Tevere il giorno 5 febbraio con altezza al colmo di 14,20 m, si è avuta la grande frana (la frana di Borrone superiore) sul fiume Velino nella Piana di sa Vittorino in provincia di Rieti, che ne ha sbarrato il corso. Dopo tale evento il corso del Velino fu spostato al centro della Piana, dove scorre tuttora con un alveo pensile. Nel 1855 inoltre, dove a Roma si è avuta una piena del Tevere il giorno 17 febbraio con altezza al colmo di 14,79 m, si è avuta nell'alto bacino del Tevere una grande frana (la frana di Belmonte) che ha sbarrato il corso del Tevere subito a valle di Pieve S.Stefano (AR). L'intero centro abitato di

Pieve S.Stefano fu sommerso per parecchi metri dal lago formato dalla frana e ci vollero diversi mesi di lavoro per far defluire le acque del lago a valle e riportare Pieve S.Stefano in condizioni di essere nuovamente abitata.

Infine, anche tra gli eventi riportati nella Tab.7, bisogna segnalare che durante la piena del Tevere dell'ottobre 1937 (con altezza al colmo del Tevere a Roma di 12,70 m) con piogge particolarmente intense nel bacino del Paglia, vi fu un taglio di un meandro del Paglia all'altezza di Allerona in provincia di Terni (Frosini, 1937).

4.3 Stima del coefficiente di deflusso di piena

Nella Tab.11 che segue, per i 64 eventi di piena della Tab.7, sono riportati i valori della pioggia alla stazione di Ripetta a Roma (16.545 km^2) nei 7 giorni considerati con il 6° giorno coincidente con il giorno della massima portata giornaliera. Parallelamente per ogni evento è riportata la somma delle portate medie giornaliera a Roma in 13 giorni, con il 7° giorno coincidente con il giorno della portata massima giornaliera. Il rapporto tra il volume d'acqua defluito a Roma in 13 giorni e il volume dell'acqua piovuta nell'intero bacino in 7 giorni costituisce il coefficiente di deflusso di piena (Bersani P. & Bersani A. 2008). Si è scelto di prendere in considerazione 7 giorni di pioggia per considerare anche il giorno piovoso successivo al passaggio del colmo di piena a Roma, in cui spesso - si è visto - la perturbazione produce ancora effetti piovosi. Per tenere conto del deflusso di base del Tevere a Roma, inteso

come un valore medio di portata del fiume prima dell'inizio delle piogge determinanti la piena, è stata operata una correzione togliendo $100 \text{ m}^3/\text{s}$ per ognuno dei 13 giorni considerati per il volume defluito, ottenendo così una stima di un volume complessivo di circa $112,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Si tratta ovviamente di una schematizzazione che permette di confrontare per i 64 eventi di piena esaminati l'altezza (e la portata) al colmo in relazione alle piogge avvenute nel bacino, nell'ipotesi esemplificativa che, per il periodo dal 1963 ad oggi in cui ha funzionato il serbatoio della Diga di Corbara, l'acqua immagazzinata nel detto serbatoio venga rilasciata nei 13 giorni di deflusso considerati e il livello del serbatoio di Corbara sia quindi circa il medesimo prima e dopo il passaggio della piena. Analogo comportamento è stato ipotizzato per i serbatoi sui fiumi Salto e Turano, mentre gli altri sbarramenti presenti nel bacino o sono traverse senza serbatoio (come Ponte Felice e Castel Giubileo sull'asta principale) o, come nel caso della diga di Alviano nel medio corso del Tevere, il serbatoio essendo ormai interrato, non ha più nessuna capacità di immagazzinare acqua. Infine anche il serbatoio della diga di Montedoglio, essendo ubicato nell'alto bacino del Tevere, è ininfluenza ai fini delle piene del Tevere a Roma.

Piena	P7gg a Roma (mm)	P7gg a Roma 10 ⁶ m ³	Qmed 1 - 13 gg (m ³ /s)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³) corretto	Qdefl. 13gg a Roma (mm) corretto	Coef. defl. di piena (%)	Stagione	Qmed giorno 1 (m ³ /s)	Qmed giorno 13 (m ³ /s)	Altre Piogge
20-ott-22	82	1357	373	419	306	19	23	AUT	123	477	D
27-ott-22	87	1439	532	598	485	29	34	AUT	663	376	P
09-dic-23	106	1754	805	904	792	48	45	AUT	510	469	P
02-mar-25	65	1075	627	705	592	36	55	INV	560	386	P
31-ott-28	122	2018	748	840	727	44	36	AUT	143	892	D
04-gen-29	108	1787	784	881	768	46	43	INV	179	384	A
19-nov-29	127	2101	511	573	461	28	22	AUT	139	221	P
17-dic-33	84	1390	742	833	721	44	52	AUT	538	368	P
30-dic-33	72	1191	664	746	634	38	53	INV	368	412	A
16-dic-34	121	2002	844	948	836	51	42	AUT	180	391	A
10-feb-35	60	993	494	555	443	27	45	INV	260	311	A
03-mar-35	80	1324	833	935	823	50	62	INV	729	438	P
19-nov-35	73	1208	548	616	504	30	42	AUT	242	701	P + D
02-mar-36	110	1820	1013	1138	1026	62	56	INV	551	899	D
09-ott-37	67	1109	430	483	371	22	33	AUT	232	219	A
17-dic-37	139	2300	1528	1716	1604	97	70	AUT	1010	674	P
24-dic-38	94	1555	586	658	546	33	35	INV	207	307	A
26-ott-40	107	1770	537	603	490	30	28	AUT	178	458	D
05-feb-41	113	1870	906	1018	906	55	48	INV	419	511	P
23-feb-41	105	1737	1070	1202	1089	66	63	INV	740	755	P
10-mar-41	67	1109	752	845	732	44	66	INV	593	530	P
06-feb-47	101	1671	1074	1206	1094	66	65	INV	250	1440	D
27-feb-51	89	1473	689	774	662	40	45	INV	363	400	P
03-gen-53	98	1621	719	807	695	42	43	INV	238	472	A
13-feb-54	61	1009	480	539	427	26	42	INV	207	287	A
2-mag-56	93	1539	541	608	496	30	32	PRI	230	270	A
03-dic-59	109	1803	652	733	620	37	34	AUT	165	699	D
26-dic-59	77	1274	720	808	696	42	55	INV	393	430	A
23-dic-60	95	1572	816	916	804	49	51	INV	522	511	P
06-gen-61	75	1241	823	925	813	49	66	INV	435	975	P + D
13-gen-61	43	711	684	768	656	40	92	INV	1080	407	P
14-nov-61	87	1439	429	481	369	22	26	AUT	259	238	A
20-nov-62	142	2349	699	785	673	41	29	AUT	323	460	A
20-dic-64	78	1291	512	575	462	28	36	AUT	172	373	A
30-dic-64	92	1522	722	811	698	42	46	INV	366	509	P + D
03-set-65	208	3441	638	717	605	37	18	EST	128	318	A
06-feb-69	69	1142	523	587	475	29	42	INV	227	379	A

Piena	P7gg a Roma (mm)	P7gg a Roma 10 ⁶ m ³	Qmed 1 - 13 gg (m ³ /s)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³) corretto	Qdefl. 13gg a Roma (mm) corretto	Coef. defl. di piena (%)	Stagione	Qmed giorno 1 (m ³ /s)	Qmed giorno 13 (m ³ /s)	Altre Piogge
17-feb-69	88	1456	804	903	791	48	54	INV	344	593	D
19-nov-75	147	2432	419	471	359	22	15	AUT	137	179	A
17-feb-76	108	1787	613	689	577	35	32	INV	211	271	A
16-apr-78	72	1191	572	642	530	32	44	PRI	287	407	A
18-feb-79	83	1373	803	902	790	48	58	INV	346	706	P + D
17-gen-80	63	1042	573	644	532	32	51	INV	410	451	P
08-nov-80	129	2134	597	670	558	34	26	AUT	184	771	D
15-nov-80	83	1373	556	625	512	31	37	AUT	605	403	P
23-dic-82	111	1836	660	741	629	38	34	INV	358	270	A
27-feb-84	133	2200	717	805	693	42	32	INV	208	570	D
02-feb-86	119	1969	185	774	662	40	34	INV	150	418	A
27-nov-87	133	2200	689	546	434	26	20	AUT	141	275	A
10-dic-87	79	1307	486	767	655	40	50	AUT	273	425	D
11-dic-90	100	1655	683	557	444	27	27	AUT	121	332	A
22-nov-91	120	1985	496	1060	948	57	48	AUT	551	529	P + D
09-dic-92	130	2151	944	693	581	35	27	AUT	196	255	A
17-dic-99	76	1257	617	566	454	27	36	AUT	352	306	P
27-dic-04	74	1224	504	479	367	22	30	INV	270	283	A
29-nov-05	106	1754	427	750	638	39	36	AUT	165	922	D
07-dic-05	87	1439	668	854	742	45	52	AUT	672	402	P
13-dic-08	98	1621	761	871	759	46	47	AUT	382	408	D
08-gen-10	89	1473	775	743	631	38	43	INV	537	356	P
03-dic-10	130	2151	662	793	681	41	32	AUT	281	374	A
15-nov-12	99	1638	706	594	482	29	29	AUT	141	229	A
01-feb-14	104	1721	529	855	743	45	43	INV	310	651	D
12-feb-14	59	976	761	805	693	42	71	INV	623	368	P
06-feb-15	78	1291	716	504	392	24	30	INV	288	281	P

Tab.11 – Piogge di 7 giorni nel bacino fino a Roma e portata defluita alla stazione di Roma-Ripetta (16.545 km²) in 13 giorni. Stima del coefficiente di deflusso di piena (Presenza di piogge al di fuori dei 7 giorni considerati: P = Prima, D = Dopo, A = Assenza di altre piogge)

Se sono intervenute altre piogge immediatamente prima o dopo i 7 giorni considerati, il coefficiente di deflusso ne risulta influenzato; nell'ultima colonna della Tab.11 è riportato se sono state presenti o meno queste piogge ulteriori. Così il coefficiente di deflusso risulta calcolato correttamente soltanto su 26 dei 64 eventi di piena esaminati.

Nella Tab.11bis è riportata la stima del coefficiente di deflusso di piena per l'evento particolare del 20 ottobre 1985, descritto nella Tab.7bis. Il coefficiente di deflusso è risultato bassissimo e pari soltanto al 5%.

Piena	P7gg a Roma (mm)	P7gg a Roma 106 m ³	Qmed 1 - 13 gg (m ³ /s)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³)	Vol.defl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³) corretto	Qdefl. 13gg a Roma (mm) corretto	Coef. deflusso di piena (%)	Stagione	Qmed giorno 1 (m ³ /s)	Qmed giorno 13 (m ³ /s)	Altre Piogge
20-ott-85	118	1952	2403	185	95	6	5	AUT	112	199	A

Tab.11bis – Piogge di 7 giorni nel bacino fino a Roma e portata defluita alla stazione di Roma-Ripetta (16.545 km²) in 13 giorni. Stima del coefficiente di deflusso di piena nell'evento del 20 novembre 1985

Nella Tab.12 che segue è stato calcolato il numero di eventi per mese dell'anno, aggiungendo nella prima riga anche gli eventi del periodo più antico 1871-1920 di cui si dirà più avanti.

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
1871-1920	17	9	11	5	3	0	0	0	0	4	16	20	85
1921-1963	5	10	4	0	1	0	0	0	0	5	6	9	40
1964-2020	2	9	0	1	0	0	0	0	1	0	7	11	31
Totale	24	28	15	6	4	0	0	0	1	9	29	40	156

Tab.12 – Numero di eventi di piena del Tevere a Roma con $Q \geq 1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ divisi per mesi dell'anno e per diversi intervalli di tempo.

Nella Tab.13 i 26 casi, in cui è stato possibile calcolare correttamente il coefficiente di deflusso di piena, sono stati suddivisi in 2 periodi: 1921-1963 e 1964-2020 corrispondenti a prima e dopo l'entrata in funzione del serbatoio di Corbara. Sono stati inoltre suddivisi per la stagione in cui sono avvenuti.

Stagione	N. eventi di piena 1921-1963	Coeff. Deflusso piena (%)	N. eventi di piena 1964-2020	Coeff. Deflusso piena (%)
Inverno	7	45	5	33
Autunno	4	34	7	27
Primavera	1	32	1	44
Estate	0	--	1	18
Annuale	12	40	14	30

Tab.13 – Valori medi stagionali del coefficiente di deflusso di piena per i 26 eventi non influenzati da altre piogge nei periodi 1921-1963 e 1964-2020.

Nel grafico di Fig.10 è riportato, per i 26 casi della Tab.13, non influenzati da altre piogge, l'andamento nel tempo del coefficiente di deflusso di piena.

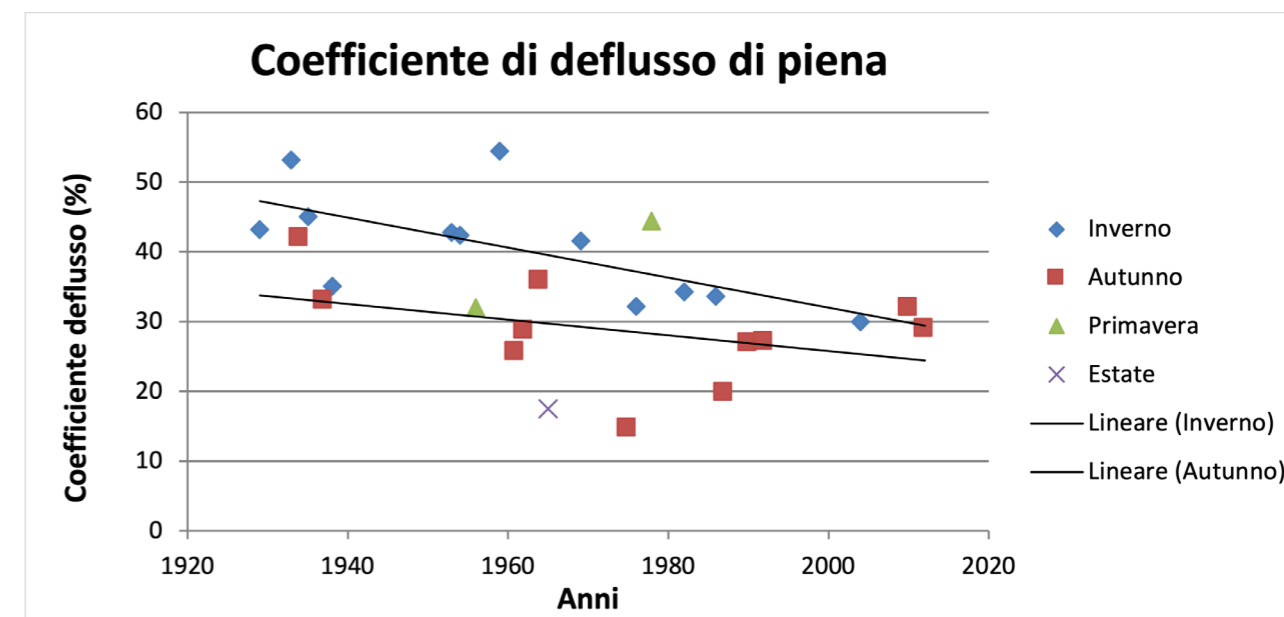


Fig.10 – Coefficiente di deflusso di piena nei 26 eventi di piena del Tevere a Roma dal 1921 al 2020, non influenzati da altre piogge.

Dall'esame del grafico di Fig.10 si evince una tendenza costante alla diminuzione del coefficiente di deflusso di piena dal 1921 ad oggi.

Si è infine tentato di ricostruire (Bersani P. & Bersani A., 2008) il coefficiente di deflusso di piena anche per alcune piene più antiche (dal 1871 al 1915), nonostante i pochi dati pluviometrici a disposizione. Nella Tab.14 (tratta da Bersani P. & Bersani A., 2008) sono riportati i tre eventi di piena (1873, 1879 e 1915), in cui è stato possibile calcolare correttamente il coefficiente di deflusso di piena, per l'assenza di altre piogge significative al di fuori del periodo di 7 giorni piovosi considerato.

Piena	Altezza al colmo Hc a Roma (m)	Portata al colmo Qc (m ³ /s) stimata	P7gg a Roma (mm)	P7gg a Roma (10 ⁶ m ³)	Qmed 1 - 13 gg (m ³ /s)	Qdefl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³)	Qdefl. 13gg a Roma (10 ⁶ m ³) corretto	Qdefl. 13gg a Roma (mm) corretto	Coef. defl.di piena (%)
1 nov 1873	13,98	1950	142	2349	823	924	811	49	35
1 dic 1879	13,75	1900	117	1936	742	834	721	44	37
15 feb 1915	16,08	2900	120	1985	946	1063	950	57	48

Tab.14 – Stima del coefficiente di deflusso di piena del Tevere a Roma per eventi di piena dal 1871 al 1915, da Bersani P. & Bersani A., 2008.

Nella Tab.14 i dati pluviometrici sono stati ripresi da varie fonti (Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, 1873; Min. LL. PP., 1882; Frosini, 1977); ma risultano necessariamente approssimativi per la scarsità delle stazioni di misura esistenti all'epoca, mentre i dati di portata liquida giornaliera sono stati ricavati leggendo le altezze idrometriche giornaliere a Ripetta sui registri originali manoscritti, una volta conservati nella sede del Servizio Idrografico di Roma di Via Monzambano (Bersani e Bencivenga, 2001) e trasformando poi questi dati idrometrici nelle portate corrispondenti con le scale di deflusso contenute in Bencivenga et alii, 2001. L'attendibilità dei dati pluviometrici e di portata riportati nella Tab.14 è comunque inferiore all'attendibilità dei dati relativi alle piene del periodo 1921-2020, per cui i risultati finali devono essere interpretati con maggiore prudenza. Come già fatto nella Tab.11 relativa agli eventi di piena dal 1921 al 2007, anche nella Tab.14, per tenere conto del deflusso di base del Tevere a Roma, è stata operata una correzione giornaliera togliendo 100 m³/s, pari ad un volume complessivo in 13 giorni di circa 112,3 x 10⁶ m³.

I valori del coefficiente di piena nei tre eventi di piena considerati nella Tab.14 (1873, 1879 e 1915) risultano molto simili (appena leggermente superiori) a quelli del periodo 1921-1963 della Tab.13. Infatti, nei due eventi autunnali (1 nov 1873 e 1 dic 1879) la media del coefficiente di piena risulta pari al 36% contro la media del 34% del periodo 1921-1963; infine nell'evento di piena invernale (15 feb 1915) il coefficiente di piena risulta pari al 48% contro la media

del 45% del periodo 1921-1963. Sembrerebbe quindi potersi affermare che vi è stata dal 1871 ad oggi una diminuzione continua del coefficiente di deflusso di piena.

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso del Tevere a Roma su base annuale la Pubblicazione 17 del Servizio Idrografico del 1980 riporta un valore del 43% per il quarantennio 1921-60, molto simile al valore del 40% trovato per il coefficiente di deflusso di piena della Tab.13 per il periodo 1921-1963. Analogamente poi al coefficiente di deflusso di piena anche il coefficiente di deflusso su base annuale diminuisce per il periodo successivo al 1960.

4.4. Influenza del serbatoio di Corbara nella laminazione delle piene a Roma

Nella Fig.11 è riportato il comportamento del serbatoio di Corbara (da Annale idrologico anno 1965) con i livelli nell'invaso e le portate affluite e defluite durante la piena del 3 settembre 1965 con altezza idrometrica al colmo pari a 12,65 m a Ripetta (vedi Tab.7).

La Fig.12 riporta l'idrogramma della piena del 3 settembre 1965 (da Annale idrologico anno 1965). L'idrogramma mostra bene il doppio colmo di piena che si è avuto nelle stazioni idrometriche a valle del serbatoio di Corbara: Orte, Passo San Francesco e Ponte Felice, dovuto alla laminazione del serbatoio di Corbara.

Il primo colmo è stato causato dal fiume Paglia e il secondo colmo dal rilascio del serbatoio di Corbara, che ha trattenuto e quindi ritardato l'onda di piena proveniente dall'alto Tevere, impedendo la sovrapposizione tra le due onde di piena.

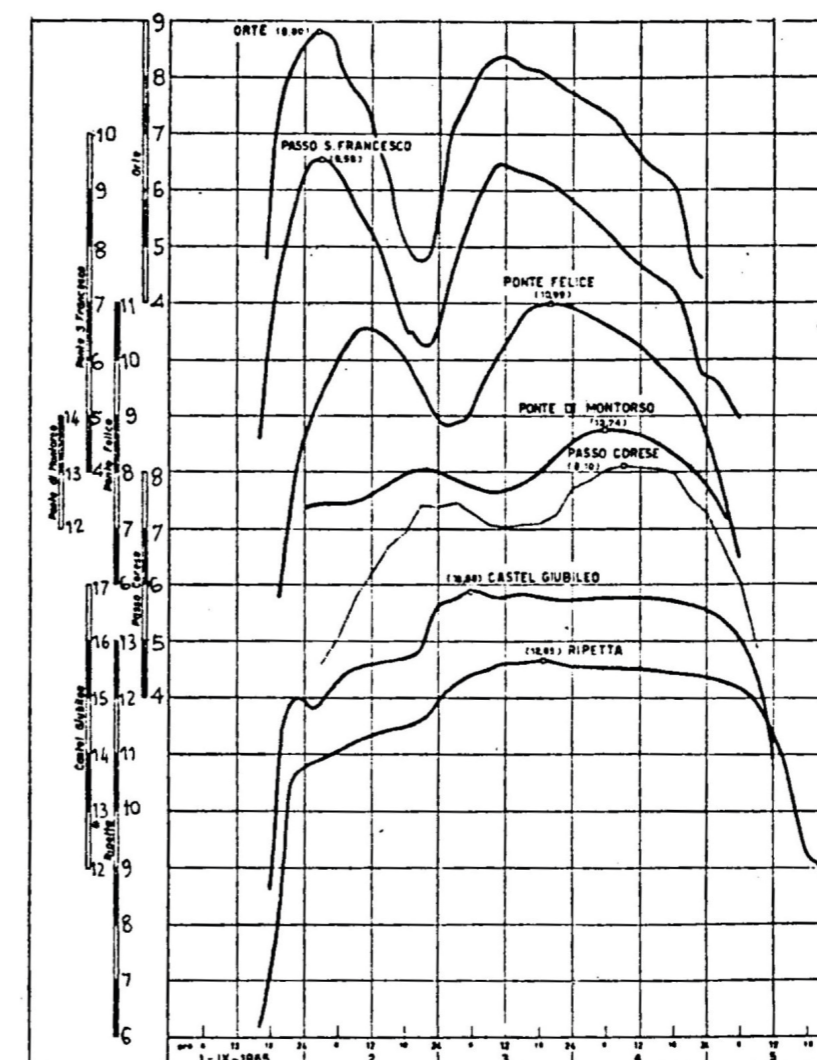
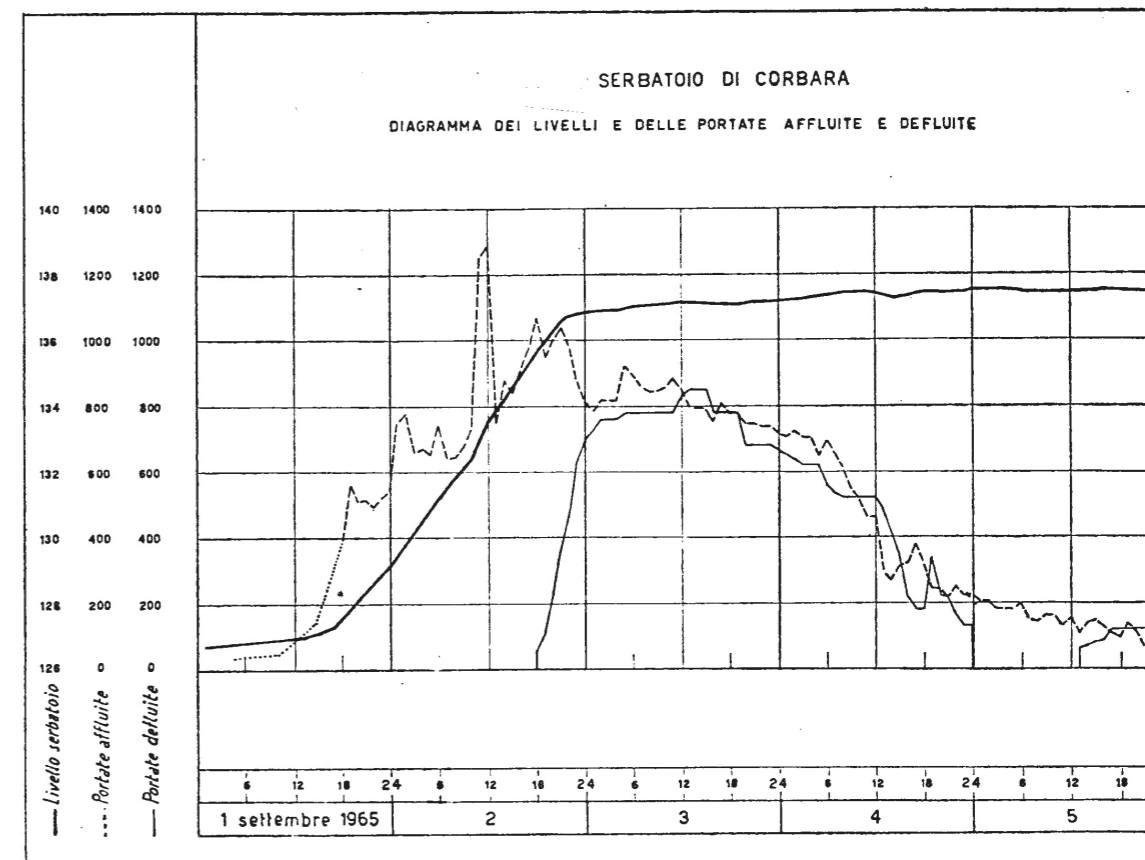


Fig.11 - Serbatoio di Corbara - Diagramma dei livelli e delle portate affluite e defluite nella piena del settembre 1965 (da Annale idrologico anno 1965)

Fig.12 - Idrogramma della piena del 3 settembre 1965 (da Annale idrologico anno 1965)

L'onda di piena del primo colmo (da Anale idrologico anno 1965) proveniente dal Paglia si è trasferita nel Tevere e si è andata poi attenuando a valle di Orte per effetto delle esondazioni nel tratto Orte – Ponte Felice. La seconda onda di piena del Tevere ha raggiunto colmi inferiori a quelli della prima fino all'idrometro di Passo San Francesco (vedi Fig.12). A valle di questo idrometro fino a quello di Passo Corese i livelli raggiunti dal secondo colmo sono stati superiori a quelli del primo colmo, mentre ancora più a valle (stazioni di Castel Giubileo e Roma Ripetta) le due onde si sono fuse in una unica con una permanenza a livelli prossimi al colmo per circa quaranta ore. Il secondo colmo ha raggiunto valori superiori al primo colmo da Ponte Felice a Passo Corese perché la seconda onda di piena non ha potuto subire la notevole regolazione della prima avendo trovato le aree tra Orte e Ponte Felice già allagate dall'esondazione provocata dalla prima onda di piena.

Nella Fig. 13 che segue è invece riportato l'idrogramma della piena del Tevere a Roma del 17 febbraio 1976 (da Sapro spa 1991) con altezza idrometrica al colmo pari a 12,72 m a Ripetta (vedi Tab.7).

L'idrogramma mostra il passaggio del colmo di piena da Ponte Felice, a valle della confluenza con il fiume Nera, fino alla foce. In questo tratto finale del Tevere non vi sono più serbatoi capaci di immagazzinare grandi quantitativi d'acqua e quindi si ha una propagazione naturale dell'onda di piena.

Nella piena del febbraio 1976 il serbatoio di Corbara ha immagazzinato una quantità d'acqua proveniente dall'alto Tevere molto minore rispetto all'evento del settembre 1965, così che già a Ponte Felice (a valle di Orte) nell'evento più recente dei due si è avuto un unico colmo di piena.

Nella Fig.14 invece è riportata da Frosini, 1977 la propagazione dell'onda di piena nella piena eccezionale del dicembre 1937, quando non esisteva il serbatoio di Corbara. Dall'idrogramma si può vedere che il Tevere a Ponte Nuovo di Perugia nell'alto bacino presenta un unico colmo di piena, mentre già in Umbria alla stazione di Baschi sul Tevere i colmi presenti sono 2 circa della stessa entità, il primo proveniente dal Paglia e il secondo dall'Alto Tevere a sole 16 ore di distanza temporale. Alla stazione di Orte si distinguono ancora i 2 colmi ma l'idrogramma è già quasi piatto. Dalla stazione di Fara Sabina in poi si riscontra un'unica onda di piena.

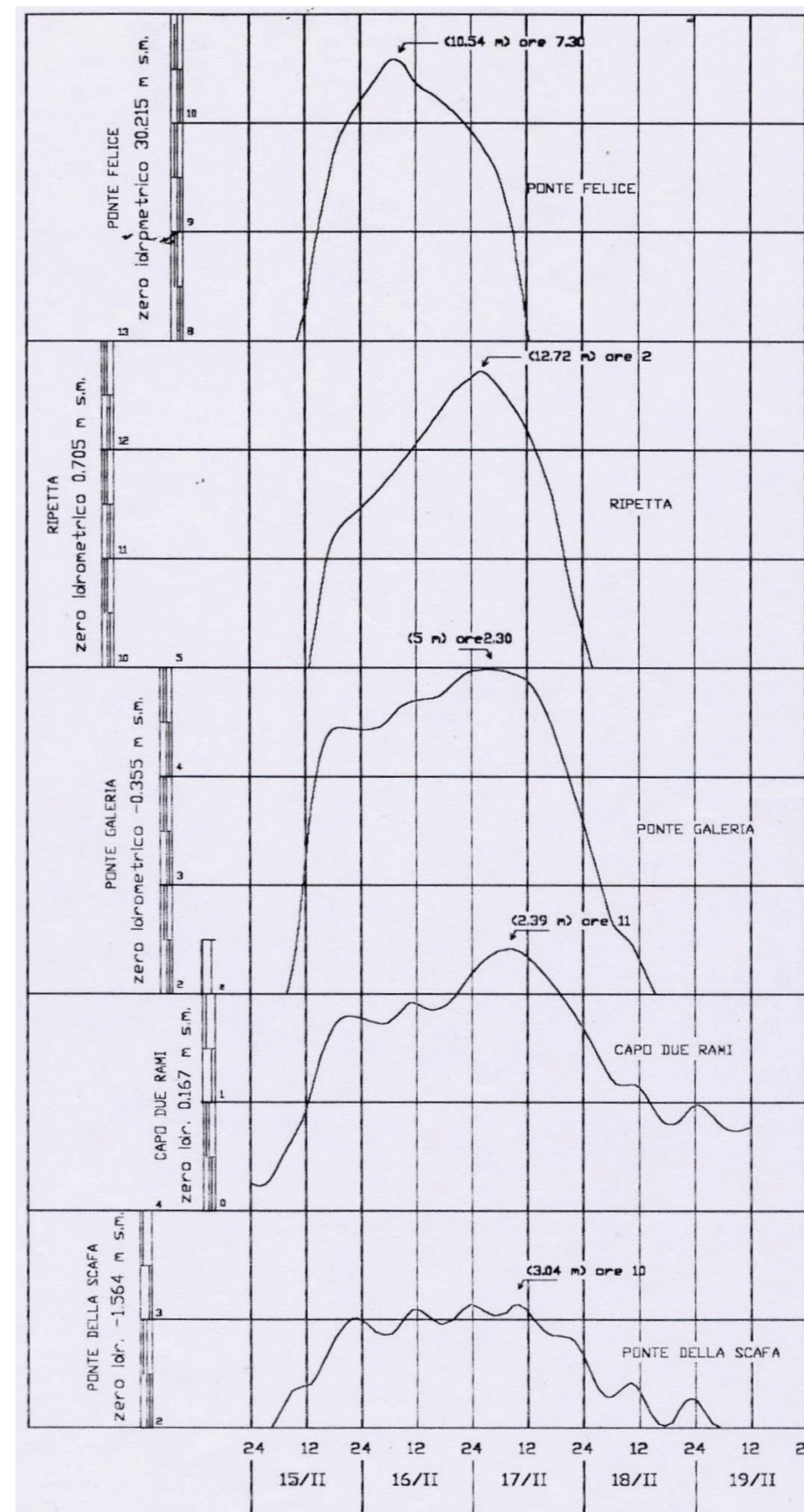


Fig.13 – Idrogramma della piena del Tevere del 17 febbraio 1976 (da Piano di bacino del Tevere, S.a.p.p.i.o. spa, 1991)

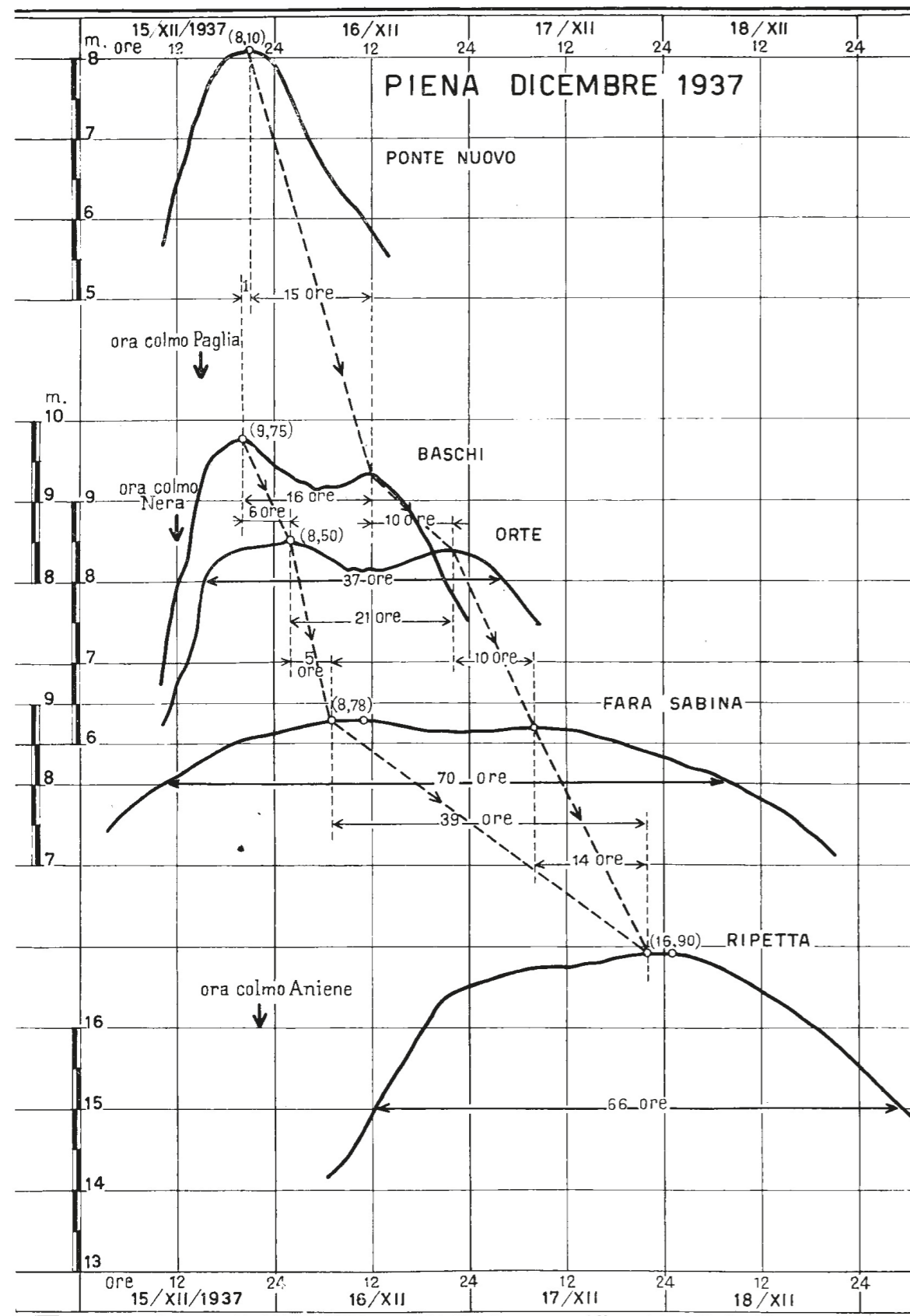


Fig.14 - Idrogramma della piena del 17 dicembre 1937 (da Frosini, 1977)

5. Colmi idrometrici di piena del Tevere a Roma per anno e per decennio in relazione alla piovosità

Nel grafico di Fig.15 sono riportate le altezze idrometriche dei massimi colmi idrometrici di piena annuali del Tevere alla stazione idrometrica di Roma Ripetta dal 1871 al 2020.

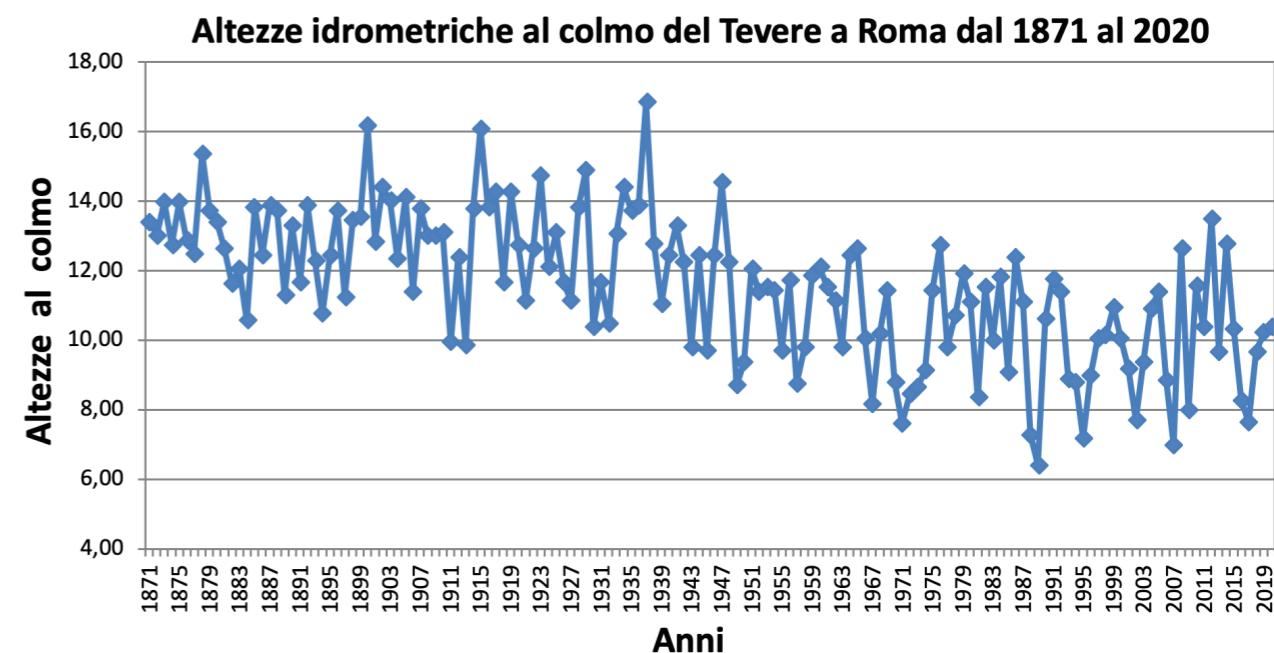


Fig.15 - Massimi colmi idrometrici di piena annuali del Tevere a Roma dal 1871 al 2020

Le altezze idrometriche al colmo della Fig.15 per il periodo 1871-1921 sono state riprese o ricavate dalla Pubblicazione n.6 del Servizio Idrografico Sezione di Roma del 1924 e da Bersani e Bencivenga, 2001, per il periodo 1922-2002 dagli Annali del Servizio Idrografico Nazionale Sezione di Roma e infine per il periodo 2003-2020 sono stati forniti dal Servizio Idrografico della Regione Lazio.

Per il periodo più antico, come detto, le altezze idrometriche sono riportate nella Pub-

blicazione del 1924, ma si riferiscono all'altezza alle ore 12,00. Nel grafico di Fig.15 sono riportate invece le altezze al colmo riportate in Bersani e Bencivenga, 2001. Tali altezze sono state riprese dai libri originali manoscritti del Servizio Idrografico nazionale - Compartimento di Roma, quando si trovavano nella sede di Via Mozambano a Roma, mentre ora sono archiviati in un magazzino della Regione Lazio, in provincia di Roma.

Nella Tab.15 che segue è riportato, per il periodo 1871-1920, il confronto tra le altezze della pubblicazione del Ministero dei Lavori Pubblici, 1924 e le altezze al colmo ricavate dai libri originali manoscritti del Servizio Idrografico Nazionale – Compartimento di Roma (Bersani e Bencivenga, 2001).

ANNO	Mese e giorno	Altezza al colmo Hc (m) Libri manoscritti S. I.	Altezza H (m) ore 12,00 Pubblicazione 1924
1871	25 gennaio	13,41	13,38
1872	13 dicembre	13,04	12,95
1873	1 novembre	13,98	13,75
1874	6 dicembre	12,75	12,66
1875	5 dicembre	13,96	13,95
1876	12 febbraio	12,88	12,88
1877	28 marzo	12,51	12,37
1878	16 novembre	15,37	15,35
1879	1 dicembre	13,75	13,50
1880	23 novembre	13,40	13,39
1881	31 gennaio	12,62	12,54
1882	18 novembre	11,64	11,61
1883	29 marzo	12,06	11,60
1884	7 ottobre	10,56	10,56
1885	13 gennaio	13,85	13,41
1886	23 gennaio	12,45	12,45
1887	24 dicembre	13,90	13,55
1888	20 marzo	13,72	13,72
1889	9 aprile	11,29	11,20
1890	20 marzo	13,30	13,28
1891	9 gennaio	11,69	11,65
1892	16 marzo	13,86	13,86
1893	24 novembre	12,28	12,37
1894	3 maggio	10,75	10,60
1895	28 dicembre	12,43	12,24
1896	22 ottobre	13,75	13,72
1897	5 dicembre	11,27	11,26
1898	2 aprile	13,44	12,91
1899	17 dicembre	13,54	13,46
1900	2 dicembre	16,17	16,15
1901	27 dicembre	12,85	12,65
1902	5 febbraio	14,39	14,17
1903	8 dicembre	14,02	13,92

ANNO	Mese e giorno	Altezza al colmo Hc (m) Libri manoscritti S. I.	Altezza H (m) ore 12,00 Pubblicazione 1924
1904	1 gennaio	12,35	12,15
1905	25 novembre	14,12	14,12
1906	30 dicembre	11,40	11,10
1907	11 novembre	13,80	13,55
1908	31 gennaio	13,00	12,55
1909	13 febbraio	13,00	12,50
1910	11 aprile	13,10	13,00
1911	9 aprile	9,95	9,95
1912	11 febbraio	12,40	12,35
1913	8 febbraio	< 10,00	9,85
1914	25 dicembre	13,78	13,66
1915	15 febbraio	16,08	15,98
1916	20 dicembre	13,82	13,80
1917	8 marzo	14,25	14,06
1918	20 Ottobre	11,70	11,56
1919	9 gennaio	14,28	14,11
1920	3 gennaio	12,72	---

Tab.15 – Massime altezze idrometriche giornaliere alla stazione di Roma Ripetta dal 1871 al 1920 alle ore 12,00 da pubblicazione del Min. LL.PP.,1924 e altezze al colmo da manoscritti del Servizio Idrografico Nazionale

Come si vede in alcuni eventi (1883, 1885 e 1908) la differenza tra l'altezza alle ore 12,00 e l'altezza al colmo è elevata, pari a circa 50 cm. In un solo caso (24 novembre 1893) l'altezza alle ore 12 (Ministero Lavori Pubblici, 1924) è più elevata dell'altezza al colmo (Bersani e Bencivenga, 2001), evidenziando un errore, comunque di pochi cm (e quindi trascurabile) in una delle due fonti bibliografiche.

Nella Tab.16 che segue sono invece riportate tutte le 59 piene del periodo 1871-1920 che hanno superato l'altezza al colmo di 13 m a Ripetta, altezza che coincideva con l'inizio degli allagamenti per rigurgito delle fogne in città, prima della costruzione dei muraglioni urbani e dei nuovi collettori fognari.

Data	Ora del colmo	Livello a Roma-Ripetta (m)
25-01-1871	14,00	13,40
10-11-1871	06,00	13,41
13-12-1872	03,00	13,04
01-11-1873	06,00	13,98
05-12-1875	15,00	13,96
16-11-1878	15,00	15,37

Data	Ora del colmo	Livello a Roma-Ripetta (m)
04-05-1879	05,00	13,12
01-12-1879	23,00	13,75
23-11-1880	05,00	13,40
13-01-1885	18,00	13,85
10-04-1885	09,00	13,48
24-12-1887	15,00	13,90
22-02-1888	01,00	13,06
20-03-1888	11,00	13,72
16-03-1892	15,00	13,86
22-10-1896	09,00	13,75
02-04-1898	20,00	13,44
17-12-1899	07,00	13,54
08-04-1900	06,00	13,38
22-11-1900	08,00	13,12
02-12-1900	14,00	16,17
05-02-1902	2,00	14,39
08-12-1903	22,00	14,02
16-05-1905	21,00	13,45
25-11-1905	11,00	14,12
11-11-1907	02,00	13,80
31-01-1908	20,00	13,00
13-02-1909	02,00	13,00
11-04-1910	03,00	13,10
16-12-1914	01,00	13,05
25-12-1914	18,00	13,78
03-01-1915	20,00	13,29
15-02-1915	05,00	16,08
24-02-1915	08,00	13,70
03-04-1915	24,00	13,20
04-11-1915	17,00	13,65
20-11-1916	24,00	13,38
20-12-1916	05,00	13,82
19-01-1917	14,00	13,90
29-01-1917	08,00	13,48
08-03-1917	18,00	14,25
09-01-1919	20,00	14,28

Tab. 16 – Eventi di piena dal 1871 al 1920 che hanno superato l'altezza di 13 m a Roma Ripetta

È interessante notare che da quando sono stati costruiti i muraglioni ottocenteschi le lapidi ricordo delle piene del Tevere nella città di Roma (Di Martino & Belati, 1980 e 2017; Ben-

civenga et alii, 1995; Bersani e Bencivenga, 2001; Di Loreto & Bersani, 2020) si trovano soltanto all'interno dei muraglioni stessi e sono ubicate all'isola Tiberina (piene del 1900, 1915 e 1937) e al Porto di Ripa Grande (piene del 1915 e 1937), solo la piena del 1900 è ricordata anche in altre zone della città con delle lapidi nella chiesa di S.Maria in Cosmedin (Bocca della verità) e a Palazzo Corsini a Via della Lungara. L'area intorno alla chiesa di S.Maria in Cosmedin si allagava perché i muraglioni dall'altezza dell'Aventino verso valle furono terminati solo nel 1926; mentre

gli allagamenti causati dalle piene del 1900 e del 1915 a Via della Lungara, come quelli registrati al Pantheon, a Piazza Navona, a Via dell'Orso e a Borgo (allagamenti di cui non vi è ricordo con lapidi in pietra) si sono verificati a causa delle fognature non ancora allacciate ai Collettori principali.

Le massime altezze idrometriche al colmo della Fig.15 sono state messe a confronto con la piovosità annuale nelle stazioni di Perugia dal 1874 al 2020 (Fig.16) e con la stazione di Roma Collegio Romano dal 1862 al 2020 (Fig.17).

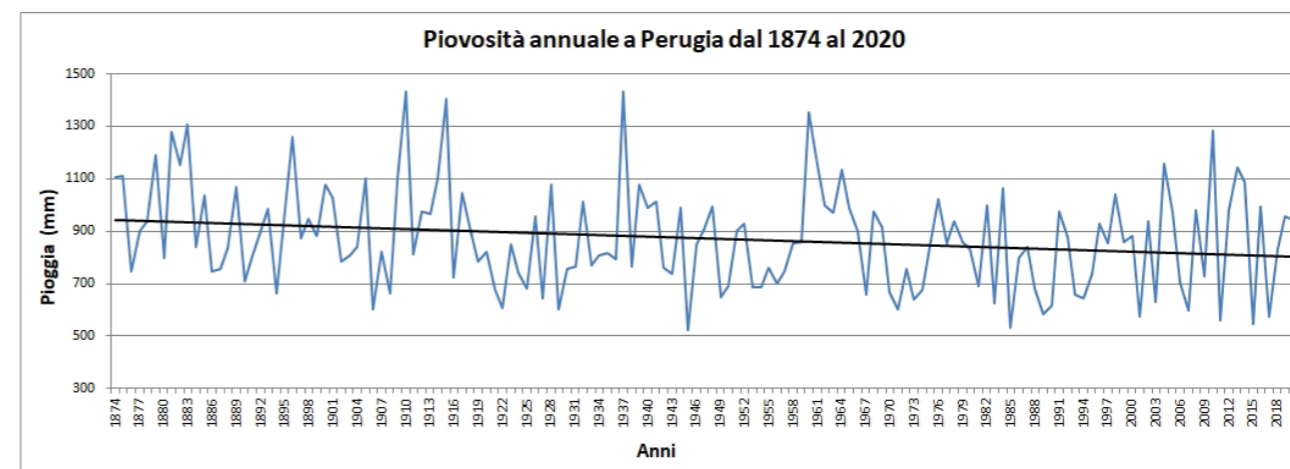


Fig.16 – Piovosità annuale alla stazione di Perugia dal 1874 al 2020

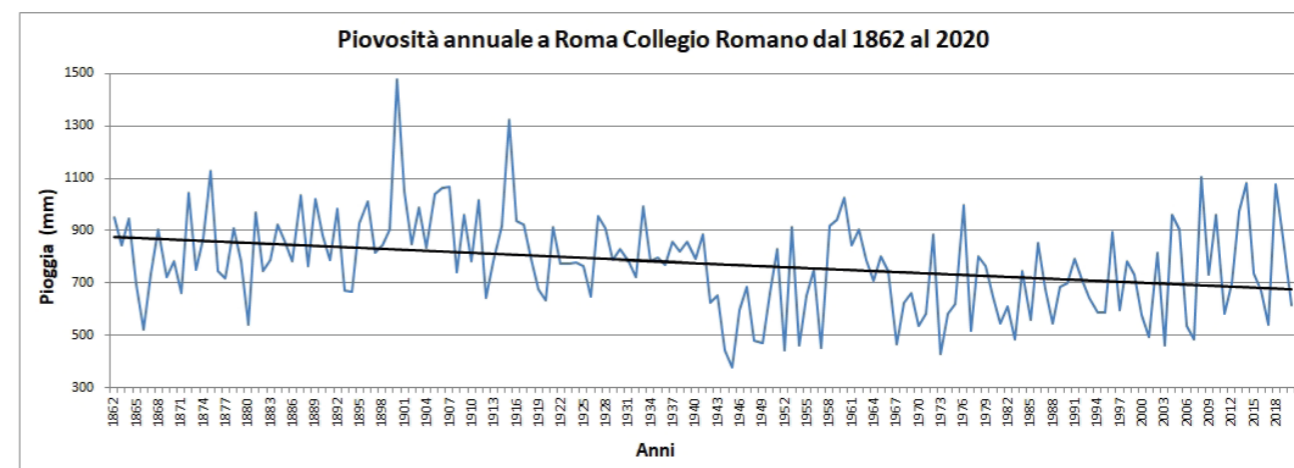


Fig.17 – Piovosità annuale alla stazione di Roma Collegio Romano dal 1862 al 2020

Dal grafico di Fig.15 si evince che intorno al 1940 vi è stato un deciso calo delle altezze al colmo a Ripetta. Il calo delle altezze al colmo si può spiegare sia con la realizzazione del drizzagno di Spinaceto, costruito appunto nell'anno 1940, sia in parte anche con un calo della piovosità nel basso bacino del Tevere che sembra presente dal grafico di Fig.17. Il grafico di Fig.16 rappresentativo delle piogge nell'alto bacino del Tevere (stazione di Perugia) non mostra invece bruschi cali di piovosità intorno al 1940.

La media delle altezze al colmo annuali del periodo 1871-1940 (70 anni), antecedente al

drizzagno di Spinaceto, è di 12,94 m, mentre la media del periodo successivo 1941-2020 (80 anni) è di 10,34 m, con una diminuzione quindi di oltre 2 metri e mezzo. Ciò è dovuto, oltre al drizzagno di Spinaceto, soprattutto alle sistemazioni dell'alveo urbano dopo la piena del dicembre 1870 ed anche al cambiamento del clima con una minore piovosità.

Nella Tab.17 sono riportate le massime altezze idrometriche annuali del Tevere a Roma dal 1921 al 2020, riportate nel grafico di Fig.15.

Anno	Mese e giorno	Altezza al colmo Hc (m)
1921	8 febbraio	11,15
1922	20 ottobre	12,64
1923	9 dicembre	14,75
1924	23 marzo	12,10
1925	2 marzo	13,10
1926	24 aprile	11,67
1927	18 gennaio	11,13
1928	31 ottobre	13,83
1929	4 gennaio	14,90
1930	7 febbraio	10,38
1931	20 febbraio	11,69
1932	4 marzo	10,50
1933	30 dicembre	13,06
1934	16 dicembre	14,40
1935	4 marzo	13,73
1936	2 marzo	13,87
1937	17 dicembre	16,90
1938	24 dicembre	12,77
1939	3 novembre	11,06
1940	27 ottobre	12,45
1941	6 febbraio	13,32
1942	11 febbraio	12,23
1943	23 dicembre	9,80
1944	29 novembre	12,46

Anno	Mese e giorno	Altezza al colmo Hc (m)
1945	29 gennaio	9,70
1946	19 novembre	12,43
1947	6 febbraio	14,53
1948	23 febbraio	12,25
1949	28 novembre	8,70
1950	25 dicembre	9,36
1951	27 febbraio	12,07
1952	31 dicembre	11,37
1953	3 gennaio	11,54
1954	13 febbraio	11,45
1955	1 marzo	9,72
1956	2 maggio	11,75
1957	13 aprile	8,75
1958	17 aprile	9,82
1959	26 dicembre	11,88
1960	23 dicembre	12,10
1961	6 gennaio	11,53
1962	20 novembre	11,16
1963	9 gennaio	9,80
1964	30 dicembre	12,46
1965	3 settembre	12,65
1966	6 dicembre	10,04
1967	27 dicembre	8,18
1968	17 febbraio	10,20
1969	17 febbraio	11,43
1970	17 gennaio	8,80
1971	3 gennaio	7,62
1972	13 febbraio	8,48
1973	23 gennaio	8,64
1974	1 maggio	9,14
1975	19 novembre	11,46
1976	17 febbraio	12,72
1977	1 febbraio	9,82
1978	31 gennaio	10,74
1979	18 febbraio	11,90
1980	8 novembre	11,10
1981	14 gennaio	8,35
1982	23 dicembre	11,55
1983	15 febbraio	9,99
1984	27 febbraio	11,81
1985	17 gennaio	9,08

Anno	Mese e giorno	Altezza al colmo Hc (m)
1986	2 febbraio	12,40
1987	10 dicembre	11,08
1988	31 gennaio	7,29
1989	2 marzo	6,43
1990	10 dicembre	10,63
1991	22 novembre	11,77
1992	9 dicembre	11,39
1993	27 dicembre	8,91
1994	6 gennaio	8,82
1995	26 febbraio	7,19
1996	21 novembre	9,00
1997	6 gennaio	10,07
1998	7 ottobre	10,14
1999	17 dicembre	10,95
2000	28 dicembre	10,04
2001	31 gennaio	9,19
2002	11 agosto	7,71
2003	9 gennaio	9,37
2004	27 dicembre	10,89
2005	7 dicembre	11,41
2006	3 gennaio	8,85
2007	14 febbraio	6,99
2008	13 dicembre	12,65
2009	8 febbraio	7,98
2010	2 dicembre	11,56
2011	17 marzo	10,40
2012	14 novembre	13,49
2013	22 gennaio	9,69
2014	1 febbraio	12,79
2015	6 febbraio	10,32
2016	1 marzo	8,30
2017	28 dicembre	7,64
2018	21 marzo	9,69
2019	3 febbraio	10,22
2020	9 dicembre	10,38

Tab.17 – Altezze idrometriche al colmo annuali alla stazione di Roma Ripetta dal 1921 al 2020

Nella Tab.18 sono mostrati i valori della piovosità annuale e a Perugia dal 1874 al 2020 riportati in Fig.16, mentre nella successiva Tab.19 sono mostrati i valori della piovosità annuale dal 1862 al 2020 a Roma della stazione del Collegio Romano, nel centro della città, riportati nella Fig.17.

Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)
1874	1104,6	1911	813	1948	995,6	1985	531,4
1875	1108,8	1912	976,7	1949	650,7	1986	797,9
1876	747	1913	968	1950	691,7	1988	839
1877	901,2	1914	1100,5	1951	903,1	1989	680
1878	936,4	1915	1404	1952	928,3	1990	584,8
1879	1191,9	1916	723,9	1953	687,6	1991	616
1880	800,0	1917	1046,4	1954	684,5	1992	976,6
1881	1280,8	1918	898,7	1955	761,4	1993	877,2
1882	1153,8	1919	784,8	1956	700,5	1994	660,5
1883	1307,4	1920	820,7	1957	745,3	1995	643,8
1884	838,3	1921	676,6	1958	853	1996	739,2
1885	1036,4	1922	604,7	1959	858,7	1997	929,2
1886	746,2	1923	848,2	1960	1350,9	1998	853,6
1887	755,5	1924	740,1	1961	1152,4	1999	1042,1
1888	834	1925	682,2	1962	998,6	2000	857,3
1889	1070,3	1926	956,5	1963	968,8	2001	883,3
1890	707,4	1927	644,5	1964	1133,1	2002	576,4
1891	802,5	1928	1075,9	1965	991,7	2003	940,1
1892	900,5	1929	602,8	1966	902,3	2004	630,2
1893	984,2	1930	757,2	1967	658,6	2005	1155,7
1894	663	1931	767,3	1968	973,9	2006	971,4
1895	984,2	1932	1011,8	1969	915,3	2007	705,4
1896	1262,1	1933	770,9	1970	666	2008	599,2
1897	873,3	1934	807,6	1971	602,4	2009	978,6
1898	946,3	1935	815,6	1972	758,5	2010	730,2
1899	884	1936	791,7	1973	640,8	2011	1283,2
1900	1077,1	1937	1432	1974	676,6	2012	560
1901	1025,5	1938	765,3	1975	842,4	2013	982
1902	784,3	1939	1080,2	1976	1020,5	2014	1144,6
1903	807,2	1940	989,3	1977	853,7	2015	1085,2
1904	841,4	1941	1010,6	1978	940	2016	547,6
1905	1099,6	1942	759,8	1979	859,6	2017	995,6
1906	601,9	1943	737,5	1980	831,2	2018	573
1907	822,4	1944	990,6	1981	692,2	2019	831,8
1908	661	1945	524,9	1982	999,6	2020	956
1909	1095,3	1946	849,4	1983	627,8		
1910	1431,5	1947	907	1984	1065,2		

Tab. 18 – Piovosità annuale alla stazione di Perugia dal 1874 al 2020 (dato ricostruito per l'anno 1880)

Per la stazione di Perugia i valori pluviometrici provengono dalla stazione di Perugia I.S.A. (520 m s.l.m.) dal 1874 al 2003, mentre dal 2004 al 2020 provengono dalla vicina stazione di Perugia S.Giuliana (445 m s.l.m.) a causa dell'interruzione del funzionamento della stazione di Perugia I.S.A.

Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)
1862	948,9	1902	846,8	1942	622,8	1982	610,4
1863	842,1	1903	990	1943	650,6	1983	487,1
1864	947,3	1904	835,4	1944	441,3	1984	748,1
1865	694,9	1905	1038,7	1945	377,2	1985	560
1866	523,8	1906	1065	1946	596,7	1986	855,2
1867	737,7	1907	1068,5	1947	685,8	1987	678
1868	906,1	1908	740,5	1948	481,6	1988	545,4
1869	721,4	1909	961,3	1949	469,9	1989	683,2
1870	781,6	1910	783,4	1950	663,2	1990	698,2
1871	660,7	1911	1015,6	1951	829,5	1991	792,4
1872	1042,5	1912	641,4	1952	445,1	1992	712
1873	752,1	1913	782	1953	913,1	1993	642,4
1874	873,2	1914	920,5	1954	462,9	1994	588,4
1875	1130,4	1915	1325,9	1955	654,9	1995	586
1876	746,2	1916	939,2	1956	750,8	1996	893,6
1877	720,1	1917	924,8	1957	452,3	1997	597,6
1878	910,8	1918	794,4	1958	917,5	1998	782,4
1879	782,8	1919	674,8	1959	943,3	1999	732,8
1880	539,6	1920	632,8	1960	1025,8	2000	576,4
1881	969,3	1921	913,4	1961	844,6	2001	494,6
1882	746	1922	772,6	1962	903,2	2002	817,2
1883	788,3	1923	775,3	1963	787,9	2003	462,2
1884	924,2	1924	776,8	1964	708	2004	962,6
1885	857	1925	763,4	1965	804,1	2005	906,8
1886	783	1926	649,2	1966	744,6	2006	534,2
1887	1036	1927	956,5	1967	468,1	2007	485
1888	766,5	1928	911,1	1968	624,4	2008	1106,2
1889	1019,3	1929	787,8	1969	662,2	2009	731,4
1890	881,9	1930	831,1	1970	534,7	2010	962,2
1891	790,1	1931	781,6	1971	581,2	2011	584
1892	984,5	1932	724,7	1972	883,6	2012	701,6
1893	669,2	1933	993,8	1973	427,3	2013	973,3
1894	667,4	1934	783,1	1974	582,8	2014	1079,5

Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)	Anno	P (mm)
1895	927,1	1935	798,9	1975	620,8	2015	735,4
1896	1013,6	1936	767,9	1976	996,8	2016	671,2
1897	816,0	1937	856,2	1977	516,3	2017	542
1898	846,2	1938	821,7	1978	800,7	2018	1078,6
1899	904,8	1939	859,1	1979	766,2	2019	871,5
1900	1477,8	1940	793,8	1980	647,3	2020	614,4
1901	1050,1	1941	887,1	1981	545,5		

Tab. 19 – Piovosità annuale alla stazione di Roma Collegio Romano dal 1862 al 2020

Inoltre nella Tab.20, divisi per decennio, sono riportati gli eventi di piena per diverse portate al colmo: 2.000, 1.400, 1.000 e 800 m³/s.

Eventi di piena con diverse portate al colmo nel periodo 1871-2020				
Decennio	Q _{med} ≥800	Q _{med} ≥1000	Q _c ≥1400	Q _c ≥2000
1871-1880	56	41	24	3
1881-1890	28	20	8	2
1891-1900	34	23	16	2
1901-1910	45	25	18	3
1911-1920	42	32	19	4
1921-1930	28	12	7	2
1931-1940	44	28	11	2
1941-1950	27	20	11	1
1951-1960	22	11	7	0
1961-1970	24	16	9	1
1971-1980	20	12	7	1
1981-1990	12	8	6	1
1991-2000	8	6	3	0
2001-2010	7	6	6	1
2011-2020	11	7	4	2
Totali	408	267	156	25

Tab.20 – Numero di piene per decennio dal 1871 al 2020 per diverse portate al colmo

La trasformazione delle altezze idrometriche in portate è stata effettuata in base alla ricostruzione delle scale di deflusso storiche del Tevere a Roma Ripetta (Bencivenga et alii, 2001). Così per l'intero periodo 1871-1920, semplificando, sono state attribuite le

seguinti portate alle altezze idrometriche misurate:

- 2.000 m³/s = 13,85 m
- 1.400 m³/s = 12,30 m
- 1.000 m³/s = 11,10 m
- 800 m³/s = 10,20 m

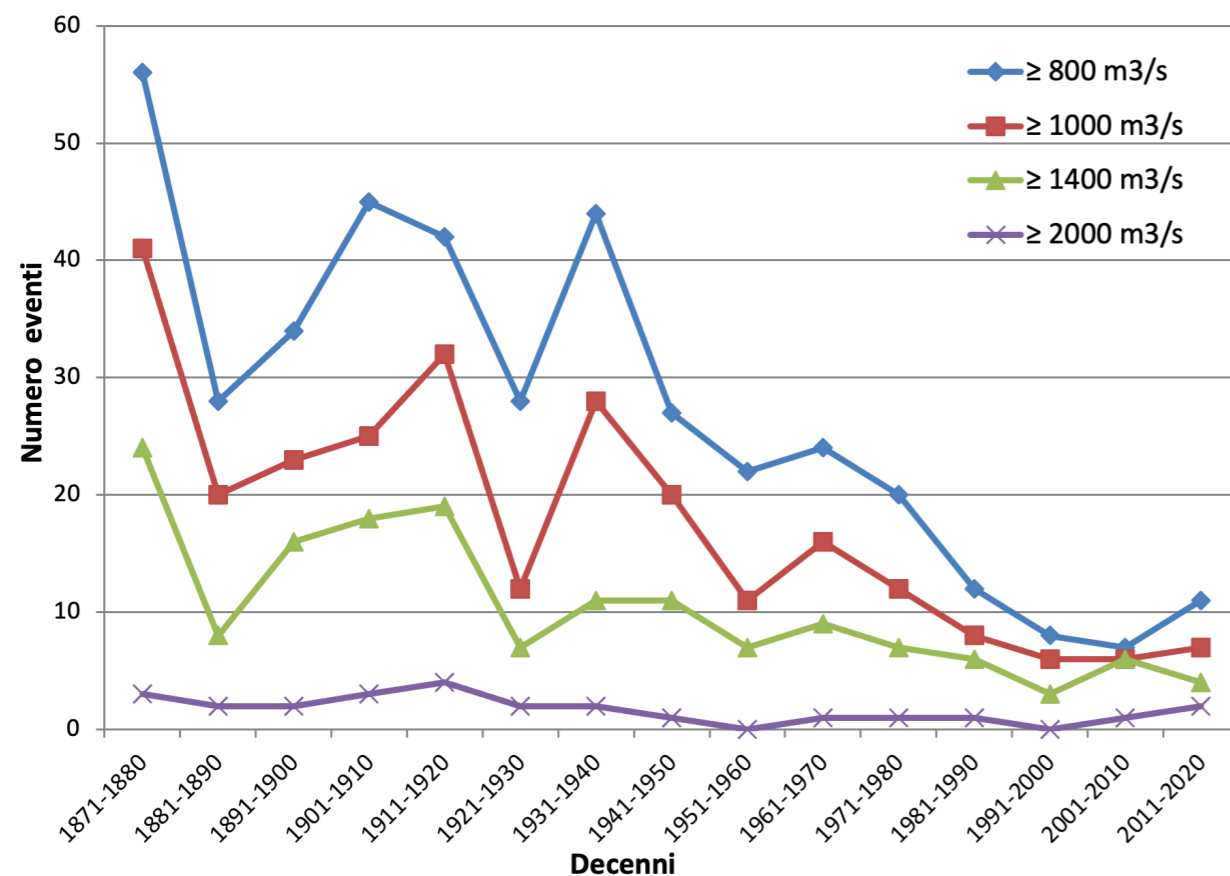


Fig. 18 – Eventi di piena del Tevere a Roma Ripetta divisi per decenni dal 1871 al 2000 per diversi valori di portata al colmo (da Bencivenga e Bersani, 2015, modificato e ampliato).

Nel grafico di Fig.18 sono stati considerati indipendenti due eventi di piena quando il colmo è avvenuto ad almeno 7 giorni di distanza.

Non bisogna confondere gli eventi di piena di una certa portata al colmo che sono riportati nella Fig.18 con i giorni in cui la stessa portata è stata superata. Infatti nel grafico in questione nel decennio 2001-2010, ad esem-

pio, vi sono stati 7 eventi di piena indipendenti che hanno superato la portata di 800 m³/s, mentre i giorni che hanno superato la stessa portata sono stati 30; analogamente per il decennio 2011-2020 vi sono stati 11 eventi di piena indipendenti che hanno superato la portata di 800 m³/s, mentre i giorni che hanno superato la stessa portata sono stati 26.

Dal grafico di Fig.18 nei 150 anni esaminati si evince una tendenza generale alla diminuzione del numero degli eventi di piena per tutte le portate considerate dal decennio più antico fino ai nostri giorni, ma con alcuni decenni in controtendenza. In particolare il decennio 1931-1940 ha fatto registrare un maggiore numero di eventi per tutte le classi di portata rispetto al decennio precedente. Ciò è dovuto, come già visto, non tanto a cause naturali, ma all'innalzamento del fondo dell'alveo nel tratto urbano dovuto all'arginatura del fiume realizzata a valle di Roma nel periodo 1916-30.

Nell'ultimo decennio 2011-2020, rispetto al decennio precedente, il numero degli eventi di piena per le classi di portata di 1.400 e 1.000 m³/s risulta circa stabile e su valori molto bassi, mentre aumentano gli eventi di piena con portata di 2.000 m³/s (considerando la loro "portata naturale") e di 800 m³/s. In realtà l'aumento del numero delle portate di piena è concentrato quasi tutto nel quinquennio 2011-2015.

Per il periodo 1871-1921 le portate di Fig.18 sono state ricavate dalla Pubblicazione n.6 del Ministero dei Lavori Pubblici - Servizio Idrografico Sezione di Roma del 1924.

Le piene del 1965 e del 1986, così come anche le piene del 2008, del 2012 e del 2014, sono state considerate "eccezionali", cioè con portata maggiore di 2.000 m³/s in base

alla loro "portata naturale" (Calenda et alii, 1997), stimando che se non vi fosse stata la laminazione del serbatoio di Corbara avrebbero raggiunto i 2.000 m³/s.

Ciò sembra più che ragionevole anche in considerazione del fatto che le scale di deflusso per le stesse altezze idrometriche riportano portate spesso differenti. Ad esempio per la piena del 17 febbraio 1976 con altezza al colmo 12,72 a Ripetta l'Annale idrologico del Servizio Idrografico riporta una portata media giornaliera di 2.004 m³/s e la portata al colmo è stata stimata (vedi Tab.7) in 2.050 m³/s. Le piene del 1965 (Hc = 12,65 m), del 1986 (Hc = 12,40 m), del 2008 (Hc = 12,65 m) e del 2014 (Hc = 12,79 m) hanno tutte circa la stessa altezza idrometrica al colmo della piena citata del febbraio 1976 ed essendo l'alveo del Tevere nel tratto urbano di Roma circa stabile (a causa della costruzione delle soglie di fondo principali nel periodo 1961-1983) appare lecito riferirsi anche per queste piene alla scala di deflusso della piena del febbraio 1976, considerando appunto anche l'azione di laminazione svolta dal serbatoio di Corbara in tali eventi.

Anche la piena del novembre 2012 avendo fatto registrare un'altezza idrometrica al colmo di 13,48 m, maggiore cioè di circa un metro dell'altezza colmo delle piene ora descritte va sicuramente classificata come piena eccezionale con $Q_c \geq 2.000$ m³/s.

6. Massime altezze idrometriche per mese in diversi periodi di tempo

MESE Periodo	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1822 – 1870	14,92	15,34	14,90	12,65	12,61	11,88	8,52	11,92	11,85	13,85	14,45	17,22
	20-1-1863	7-2-1843	28-3-1855	15-4-1849	10-5-1856	4-6-1844	6-7-1868	7-8-1868	19-9-1859	25-10-1846	10-11-1845	29-12-1870
1871 – 1920	14,28	16,08	14,25	13,48	13,45	10,80	10,70	8,70	10,78	13,75	15,37	16,17
	9-1-1919	15-2-1915	8-3-1917	10-4-1885	16-5-1905	7-6-1914	26-7-1874	8-8-1880	25-9-1878	22-10-1896	16-11-1878	2-12-1900
1921 – 1963	14,90	14,53	13,87	11,67	11,75	10,35	8,00	7,50	10,86	13,83	13,52	16,84
	4-1-1929	6-2-1947	2-3-1936	24-4-1926	2-5-1956	15-6-1939	19-7-1932	28-8-1953	20-9-1960	31-10-1928	19-11-1929	17-12-1937
1964 – 2000	10,76	12,72	9,44	10,74	9,74	8,98	6,72	7,15	12,65	10,82	11,77	12,46
	16-1-1980	17-2-1976	2-3-1978	16-4-1978	1-5-1974	3-6-1997	15-7-1986	30-8-1983	3-9-1965	26-10-1964	22-11-1991	30-12-1964
2001 – 2020	11,10	12,79	10,32	8,91	9,69	7,43	7,00	7,71	6,31	7,92	13,49	12,65
	8-1-2010	1-2-2014	26-3-2015	3-4-2013	7-5-2004	4-6-2013	30-7-2014	11-8-2002	16-9-2013	20-10-2011	15-11-2012	13-12-2008

Tab. 21 – Altezze idrometriche al colmo in metri alla stazione di Roma Ripetta nei vari mesi dell'anno divise per diversi intervalli di tempo (da Bersani, 2004 modificato e esteso).

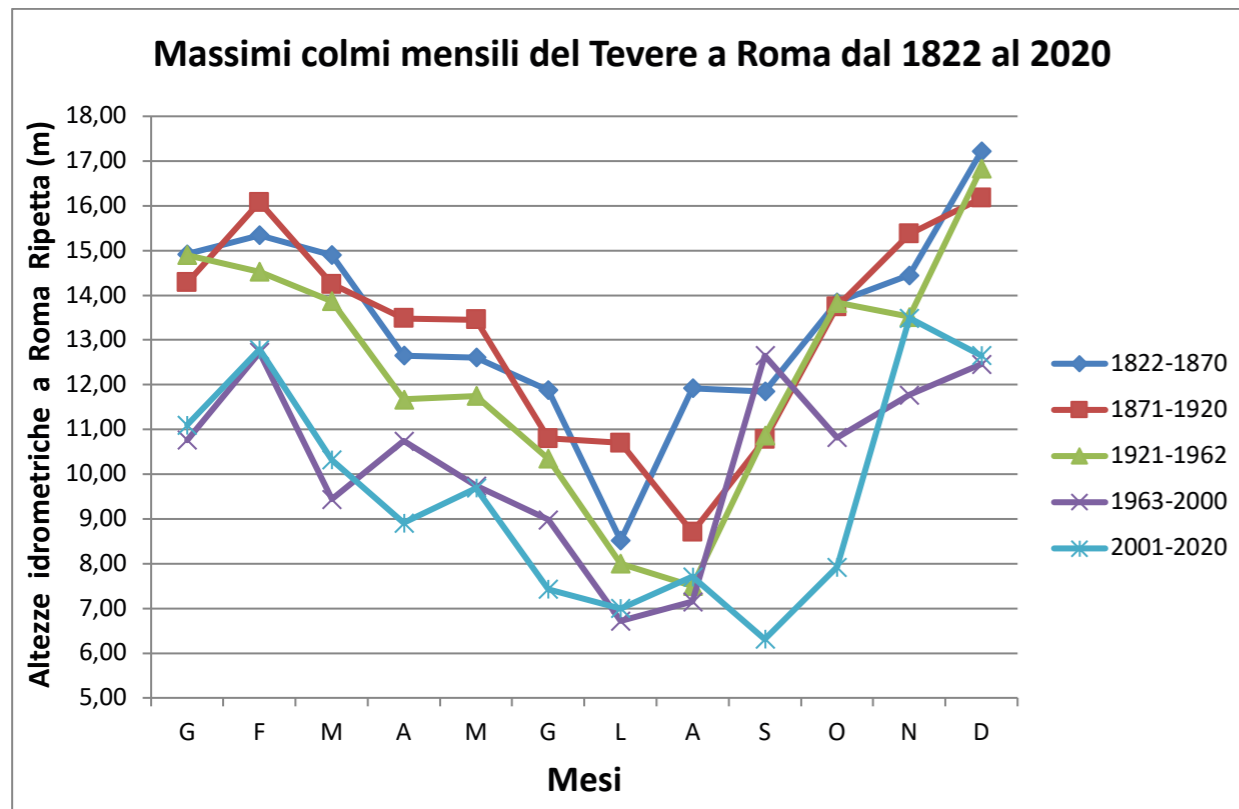


Fig.19 - Altezze idrometriche al colmo alla stazione di Roma Ripetta nei vari mesi dell'anno divise per diversi intervalli di tempo nel periodo 1822-2020

Nella Tab.21 e nel grafico di Fig.19 sono riportati le altezze al colmo alla stazione di Roma Ripetta divise per intervalli di tempo compresi tra il 1822 e il 2020.

Nella Tab.21 sono state inserite per maggiore informazione anche i colmi mensili del periodo 1822 – 1870, precedente al periodo oggetto della presente memoria. In tale periodo di tempo le misure sono state effettuate giornalmente alle ore 12 dall'Ufficio dell'Ingegnere Governativo preposto ai lavori del Tevere e poi proseguite dall'Ufficio del Genio Civile (Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio - Commissione Idrografica, 1872).

Nella Tab. 22 che segue sono riportate, per confronto con le altezze al colmo della Tab.21, le maggiori altezze idrometriche registrate alla stazione di Roma Ripetta dall'anno 1000 a ad oggi.

La Tab.21 mostra che nel periodo più recente 2001-2020 in 7 mesi su 12 vi sono stati altezze idrometriche al colmo più alte del precedente periodo di 37 anni 1964-2000. In particolare le altezze al colmo più elevate in 5 mesi (gennaio, febbraio, marzo, novembre e dicembre) sono avvenute nel quinquennio 2010-2015.

In generale però la Tab.21 mostra un consistente abbassamento dei livelli al colmo tra il periodo 1921-1963 e i periodi successivi fino al 2020, in particolare nei mesi di gennaio, marzo, ottobre e dicembre i colmi di piena si sono abbassati di oltre 3 metri (e di oltre 4 m nel mese di dicembre). In solo un mese invece, settembre, il livello del colmo di piena è il più alto dell'intero periodo 1822-2020, dimostrando l'assoluta eccezionalità dell'evento di piena già ricordato del 3 settembre 1965.

Data	Livello idrometrico a Ripetta (m)
1598 dicembre 24	19,56
1530 ottobre 8	18,95
1557 settembre 15	18,90
1606 gennaio 23	18,27
1637 febbraio 22	17,55
1442 novembre 30	17,22
1870 dicembre 29	17,22
1660 novembre 5	17,11
1379 novembre 9	17,00
1495 dicembre 5	16,88
1937 dicembre 17	16,84
1805 febbraio 2	16,42
1647 dicembre 7	16,41
1846 dicembre 10	16,25
1900 dicembre 2	16,17
1915 febbraio 15	16,08
1686 novembre 6	16,00
1180 gennaio 26	>16,00
1230 febbraio 2	>16,00
1277 novembre 6	>16,00
1310 gennaio	>16,00
1515 novembre 13	>16,00
1589 novembre 10	>16,00

Tab. 22 - Le massime altezze idrometriche delle piene del Tevere a Roma dall'anno 1000 ad oggi (da Bersani et alii, 2020 modificato)

La Tab.21 e la Fig.19 mostrano che le piene del Tevere possono raggiungere altezze idrometriche considerevoli a Roma anche nel periodo estivo, con altezze uguali o superiori a 12 m a Ripetta.

Infatti oltre alla già citata piena del 3 settembre 1965 che ha raggiunto 12,65 m a Ripetta (vedi Tab.7), la piena del 7 agosto 1868

ha raggiunto 11,92 m a Ripetta (Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, 1872; Min. LL.PP., 1924; Bersani, 2004; Bersani e Palmieri, 2004). L'Osservatore Romano, che usciva la sera, il giorno 7 agosto 1868 così riportava: *“Verso le 10 antimeridiane fortissimo acquazzone di breve durata con tuoni e lampi. Questa mattina si vede il Tevere molto gonfio”*.

Grandi piene nel periodo estivo sono note anche in passato (Bersani, 2004), infatti l'8 ottobre 1530 e il 15 settembre 1557 si sono registrate le due massime altezze idrometriche del Tevere a Roma (vedi Tab.22), dopo la massima altezza di piena di sempre del dicembre 1598, con altezze al colmo a Ripetta rispettivamente di 18,95 m (anno 1530) e di 18,90 m (anno 1557). È stata considerata “piena estiva” anche la piena dell'ottobre 1530 perché secondo recenti vedute (Trigo, 1999 e 2002) il periodo estivo, dal punto di

vita della cornice climatica del Mediterraneo, si può considerare esteso da giugno fino ad ottobre. Anche nel passato più remoto il Tevere ha dimostrato di poter avere piene importanti nel periodo estivo. Infatti Le Gall, 1958 riporta che in epoca romana si è avuta una piena intorno al 4 luglio nel 13 a.C. e una piena intorno al 23 agosto nel 217 d.C.

7. Il Trasporto solido del fiume Tevere a Roma

Le misure di trasporto solido del Tevere a Roma eseguite in passato si riferiscono quasi esclusivamente al trasporto solido in sospensione (o trasporto torbido) e solo in pochissimi casi al trasporto solido di fondo.

Nella Tab.23 che segue (Bersani e Amici, 1993) sono riportate le misure esistenti di trasporto torbido effettuate su scala annuale a Roma.

Periodo di misura	Ente di misura	Deflusso torbido (10 ³ t)	Deflusso torbido unitario (t/km ²)
1873- 1879	Stazione agraria di Roma	10.600	640
1932-1946	Ufficio Idrografico Sezione di Roma	7.460	451
1949-1963	Ufficio Idrografico Sezione di Roma	4.219	255
1964-1973	Ufficio Idrografico Sezione di Roma	1.419	86
1990 marzo-1991 marzo	S.AP.P.R.O. spa	672	41

Tab.23 - Misure annuali pregresse del deflusso torbido a Roma (bacino 16.545 km²)

Le ultime misure di trasporto solido a Roma sono state eseguite dalla Hydroservice srl nel periodo aprile 1995 – giugno 1996, ma essendo soltanto 7 misure in un anno non permettono una stima del trasporto solido a livello annuale.

Come si evince dalla Tab.23 vi è stata una continua diminuzione del trasporto solido del Tevere dalla fine dell'800 ad oggi, le cui ragioni vanno ricercate principalmente nelle variazioni dell'alveo descritte nel Cap.3, tra queste la più importante sembra essere stata

la costruzione delle varie dighe con serbatoio sul corso principale del fiume e sui suoi affluenti.

È interessante notare che il trasporto solido del Tevere a Roma, come si evince dalla Tab.23, è iniziato a diminuire già nei primi anni del '900, quando si è anche arrestato l'avanzamento della linea di costa in prossimità della foce del Tevere (Bellotti et alii, 1989; Bersani e Moretti, 2008), prima quindi della costruzione delle dighe con serbatoio sul corso principale del fiume e sui suoi affluenti.

ti. Nell'anno 1900 infatti furono fatti lavori a protezione del Faro di Fiumicino perché le onde del mare ne minavano la sua stabilità. L'inizio della diminuzione del trasporto solido del Tevere a Roma alla fine dell'800

sembra così ascrivibile a cause del tutto naturali (Bellotti et alii, 1987). Nella Fig.20, tratta da Bersani e Moretti, 2008, è riportata l'evoluzione della linea di costa alla foce del Tevere dal VI secolo a.C. ad oggi.

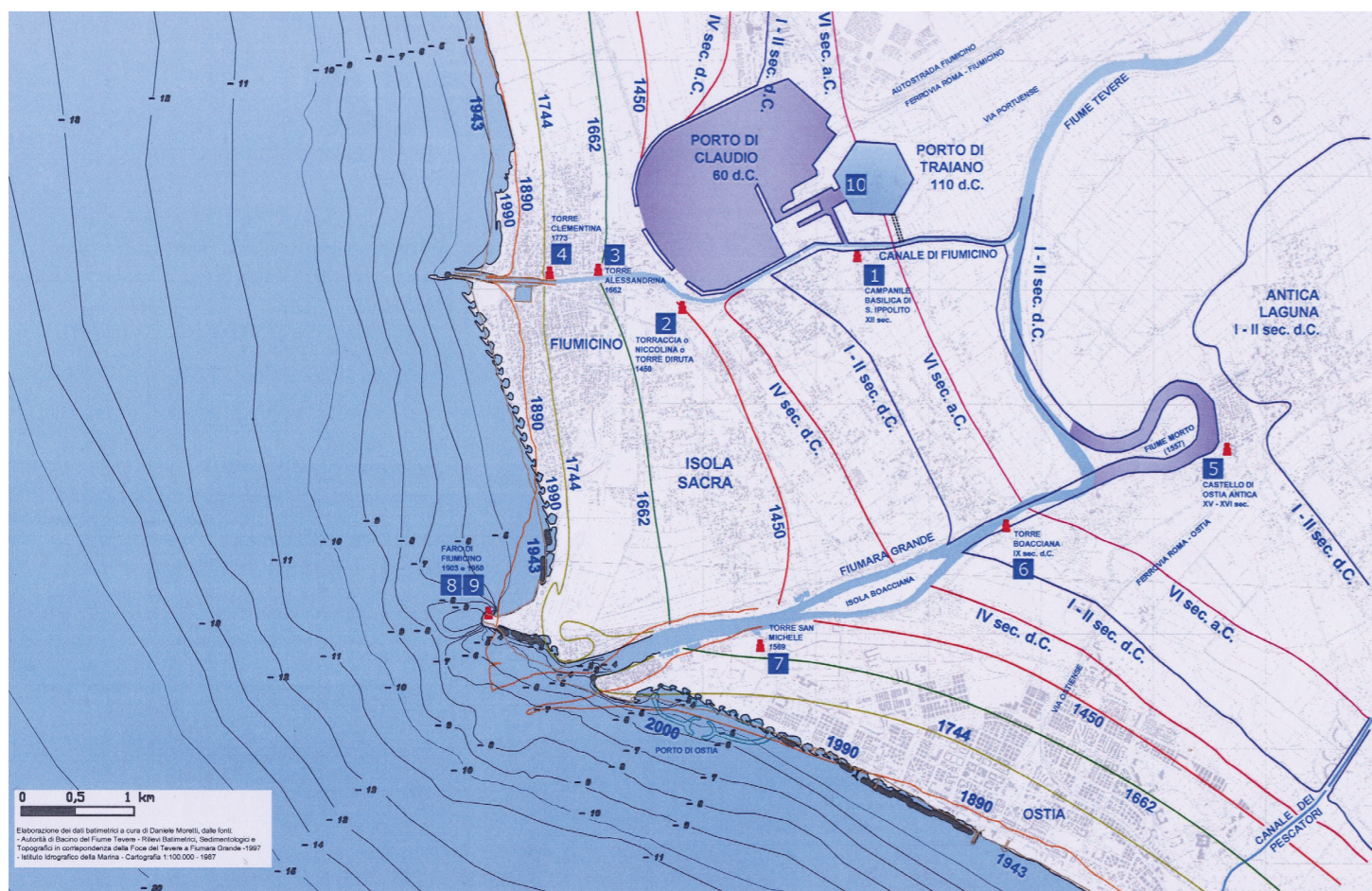


Fig.20 – Evoluzione delle linea di costa alla foce del Tevere (da Bersani e Moretti, 2008)

Nella Fig.21 è riportata una foto del Ponte Fabricio all'isola Tiberina dopo il passaggio della piena del 1900 (da Raccolta Becchetti, in Brizi, 1989). Si evince chiaramente la grande quantità di materiale sabbioso trasportata dal fiume in quel periodo durante gli eventi di piena.

Inoltre in passato l'Ufficio Idrografico – Sezione di Roma ha eseguito misure di traspor-

to solido in sospensione anche alla stazione di Corbara sul fiume Tevere in Umbria dal 1951 al 1962, in previsione della costruzione dell'omonima diga con serbatoio. Il valore del trasporto torbido annuale misurato alla stazione di Corbara, nei 12 anni di misure contemporanee, è risultato pari a circa il 35% del valore del trasporto torbido misurato a Roma (Dall'Oglio e Remedìa, 1984).



Fig.21 – Il Ponte Fabricio all'isola Tiberina dopo il passaggio della piena del 1900 (Raccolta Becchetti, da Brizzi 1989).

Bersani e Piotti (1994) hanno trovato una correlazione lineare per estendere le stime annuali del trasporto solido in sospensione a Roma anche per gli anni successivi al 1973, basandosi sul fatto che le condizioni dell'alveo del Tevere, dopo la costruzione delle dighe con serbatoio sul corso principale del Tevere, (in particolare la Diga di Corbara funzionante dal 1963) sono rimaste sostanzialmente le stesse fino ad oggi. Così estendendo le misure del periodo 1964-1973

agli anni successivi si può ricostruire il valore del trasporto solido annuale a Roma fino ad oggi. La correlazione trovata da Bersani e Piotti, 1994 si basa sul cosiddetto "Q_{somma}", cioè calcolando per ogni anno successivo al 1973 "la somma delle portate liquide con portata media giornaliera Q_{med} superiore a 350 m³/s". Infatti il valore di 340-350 m³/s è considerato (Remedìa e Dall'Oglio, 1984) come il valore di soglia per l'inizio del trasporto solido del Tevere a Roma.

L'equazione trovata da Bersani e Piotti, 1994 è la seguente:

$$Y = 0,0575 X + 0,1606 \quad (1)$$

dove Y è il trasporto solido in sospensione espresso in 10^6 ton e X è il Q_{somma} espresso in m^3/s .

Nella Tab.24 che segue sono riportati per il periodo 1932-2020 i valori del trasporto torbido annuale e del numero di giorni per ogni anno con portata media giornaliera $Q_{\text{med}} > 350 m^3/s$ a Roma.

Anno	Deflusso torbido (10^6 t)	N. di giorni con $Q_{\text{med}} >$ $350 m^3/s$ a Roma
1932	6,45	32
1933	5,07	51
1934	9,12	63
1935	9,85	64
1936	6,14	76
1937	11,60	121
1938	4,81	46
1939	8,73	73
1940	6,64	72
1941	9,08	153
1942	5,74	46
1943	3,77	36
1944	10,87	50
1945	1,15	11
1946	12,90	28
1947	10,00	59
1948	7,00	27
1949	3,25	6
1950	4,25	20
1951	8,37	87
1952	7,01	28
1953	4,30	27
1954	3,49	19
1955	2,42	17
1956	3,90	25
1957	1,12	10
1958	3,28	35

Anno	Deflusso torbido (10^6 t)	N. di giorni con $Q_{\text{med}} >$ $350 m^3/s$ a Roma
1959	3,04	41
1960	8,03	142
1961	3,40	42
1962	3,50	53
1963	3,89	80
1964	1,93	48
1965	3,20	104
1966	1,86	82
1967	0,58	8
1968	1,85	42
1969	2,59	68
1970	0,66	66
1971	0,28	9
1972	0,85	31
1973	0,38	16
1974	0,65	15
1975	0,45	8
1976	2,13	56
1977	1,23	37
1978	3,05	89
1979	3,43	96
1980	3,09	86
1981	1,30	46
1982	1,25	31
1983	1,45	46
1984	1,21	28
1985	0,67	29
1986	1,96	62
1987	1,09	22
1988	0,45	9
1989	0,16	0
1990	0,49	8
1991	1,45	31
1992	1,00	24
1993	0,31	5
1994	0,55	16
1995	0,24	4

Anno	Deflusso torbido (10 ⁶ t)	N. di giorni con Q _{med} > 350 m ³ /s a Roma
1996	0,84	24
1997	0,83	21
1998	0,59	16
1999	0,64	15
2000	0,64	15
2001	0,43	11
2002	0,16	0
2003	0,29	4
2004	1,00	25
2005	1,15	23
2006	0,54	14
2007	0,16	0
2008	0,77	13
2009	0,32	7
2010	1,44	62
2011	0,42	8
2012	0,71	12
2013	2,06	72
2014	1,41	33
2015	0,61	13
2016	0,24	3
2017	0,18	1
2018	0,82	23
2019	0,59	15
2020	0,47	9

Tab.24 – Valori annuali del trasporto torbido e numero annuale di giorni con portata media giornaliera Q_{med} a Roma superiore a 350 m³/s a Roma dal 1932 al 2020.

Nella Tab.24 i valori dal 1932 al 1946 e dal 1949 al 1973 sono stati misurati dall'Ufficio Idrografico di Roma. I valori del 1947 e 1948 sono stati ricostruiti da Bencivenga e Remedea, 1999, infine i valori dal 1974 al 2020 sono stati ricostruiti in base al descritto metodo di Bersani e Piotti, 1994.

I valori della Tab.24 sono stati riportati nei grafici delle Figg. 22 e 23, che riportano, per il periodo 1932-2020, rispettivamente il valore annuo stimato del trasporto torbido e il numero di giorni annuale in cui è stato superato il valore di soglia di 350 m³/s.

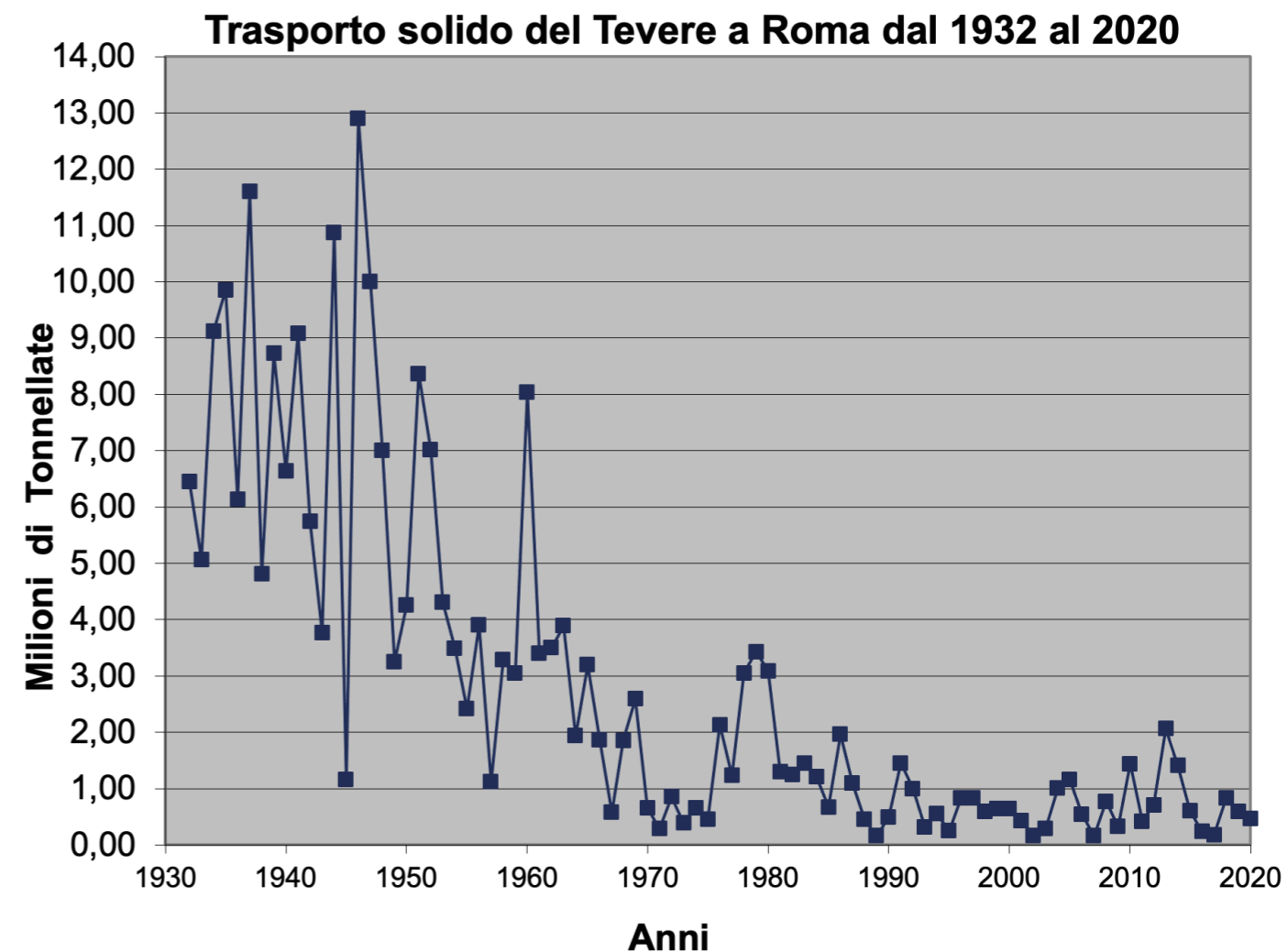


Fig. 22 – Trasporto solido in sospensione del Tevere a Roma dal 1932 al 2020

Il grafico di Fig.22 mostra una diminuzione iniziata nel secolo scorso nella seconda metà degli anni '40, si è poi accentuata negli anni '60 e si è infine ulteriormente accentuata dagli anni '90. Sono in leggera controtendenza invece gli anni 2010-2015, dove, come visto, si sono registrati importanti eventi di piena.

L'Università La Sapienza di Roma - Facoltà di Scienze Geologiche ha eseguito misure di trasporto torbido nel 1984-85 misurando

contemporaneamente le altezze idrometriche a Ripetta (Distante, 1990), anche per i giorni del mese di novembre 1985 in cui non ha funzionato l'idrometro di Ripetta del Servizio Idrografico Nazionale – Compartimento di Roma e le cui altezze non sono quindi riportate nell'Annale idrologico del 1985. La misura del trasporto torbido annuale per il 1985 trovata da Distante, 1990 è del tutto congruente con quella ricostruita Bersani e Piotti, 1994.

Numero di giorni del Tevere a Roma con $Q_{med} > 350 \text{ m}^3/\text{s}$

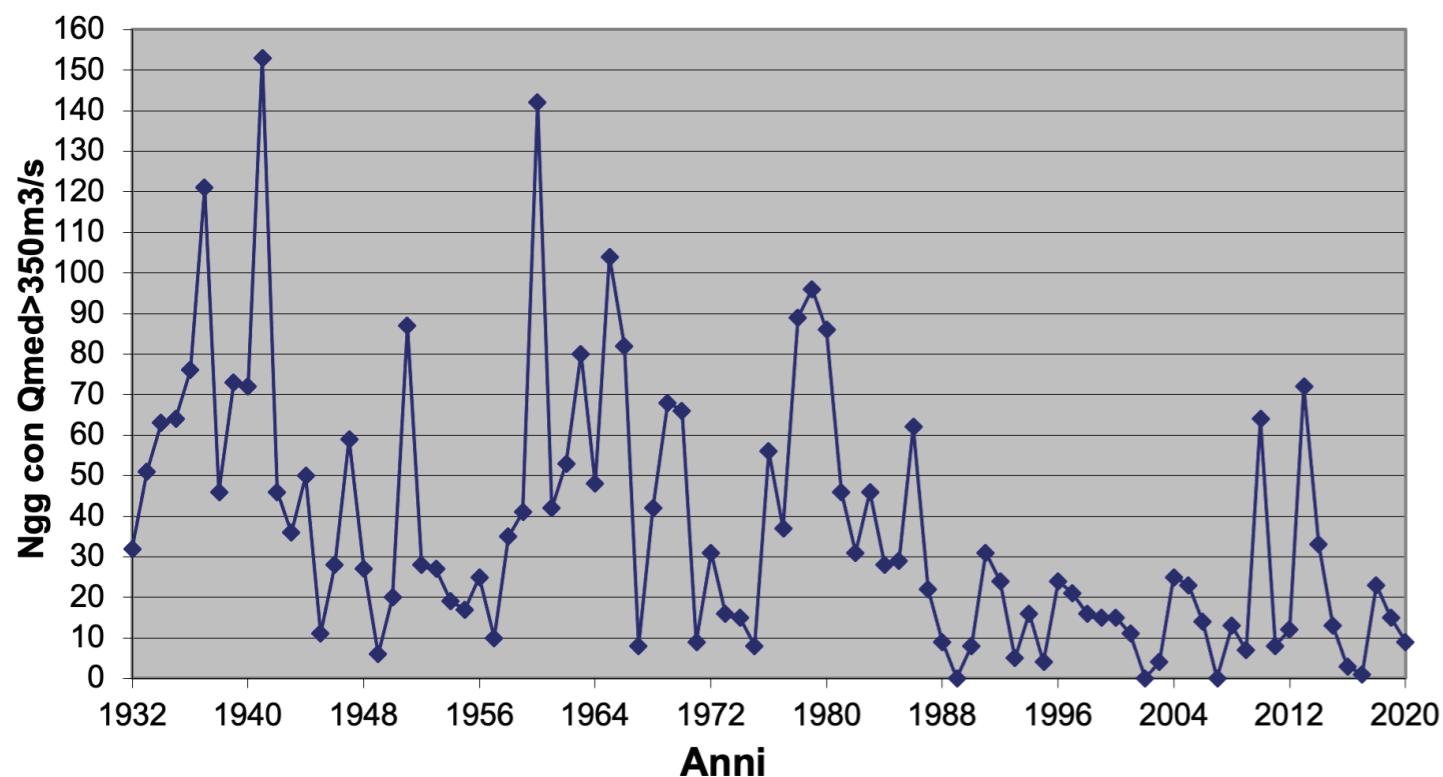


Fig. 23 – Numero di giorni annuale con portata liquida giornaliera del Tevere a Roma superiore a $350 \text{ m}^3/\text{s}$ dal 1932 al 2020

Inoltre Bencivenga e Remedìa, 1999 hanno effettuato una ricostruzione del trasporto solido a Roma dal 1921, anno di prima pubblicazione degli Annali idrologici dell'Ufficio idrografico di Roma fino al 1988, basandosi sulla portata media mensile o annua del Tevere, sulla frequenza annuale o mensile delle portate con $Q_{med} > 350 \text{ m}^3/\text{s}$ e sulla portata giornaliera di durata 10 giorni (Q_{10}), hanno individuato leggi di correlazione tra le grandezze menzionate e il trasporto torbido considerato variabile dipendente.

Per il periodo contemporaneo di misurazione 1964-1988 Bersani e Piotti, 1994 (Tab.24) stimano un valore medio annuale di $1,48 \times 10^3$ ton, mentre Bencivenga e Re-

media, 1999 stimano un valore medio annuo di $1,52 \times 10^3$ ton utilizzando i dati annuali e stimano un valore medio annuo di $1,46 \times 10^3$ ton utilizzando i dati mensili. I due metodi di stima utilizzati nel 1994 e nel 1999 dai vari autori hanno portato a risultati coincidenti a riprova della correttezza dei metodi utilizzati nelle due ricostruzioni.

Remedia & Alessandrini, 2002 hanno poi esteso la ricostruzione del trasporto solido annuale a Roma fino all'anno 2000, considerando due intervalli di tempo: 1921-1963 non in presenza di impianti idroelettrici e 1964-2000 in presenza di impianti idroelettrici (Corbara e Alviano in particolare).

I risultati di questo studio sono riportati nel diagramma di Fig.24, che riporta la serie della variabile T_a (Trasporto solido annuale) associata alla media mobile a passo 11, rappresentata con linea a tratto. La stessa figura

riporta anche il valore medio e la retta di regressione relativi ai due periodi 1921-1963 e 1964-2000. La Fig.24 evidenzia il trend negativo per tutto il periodo esaminato.

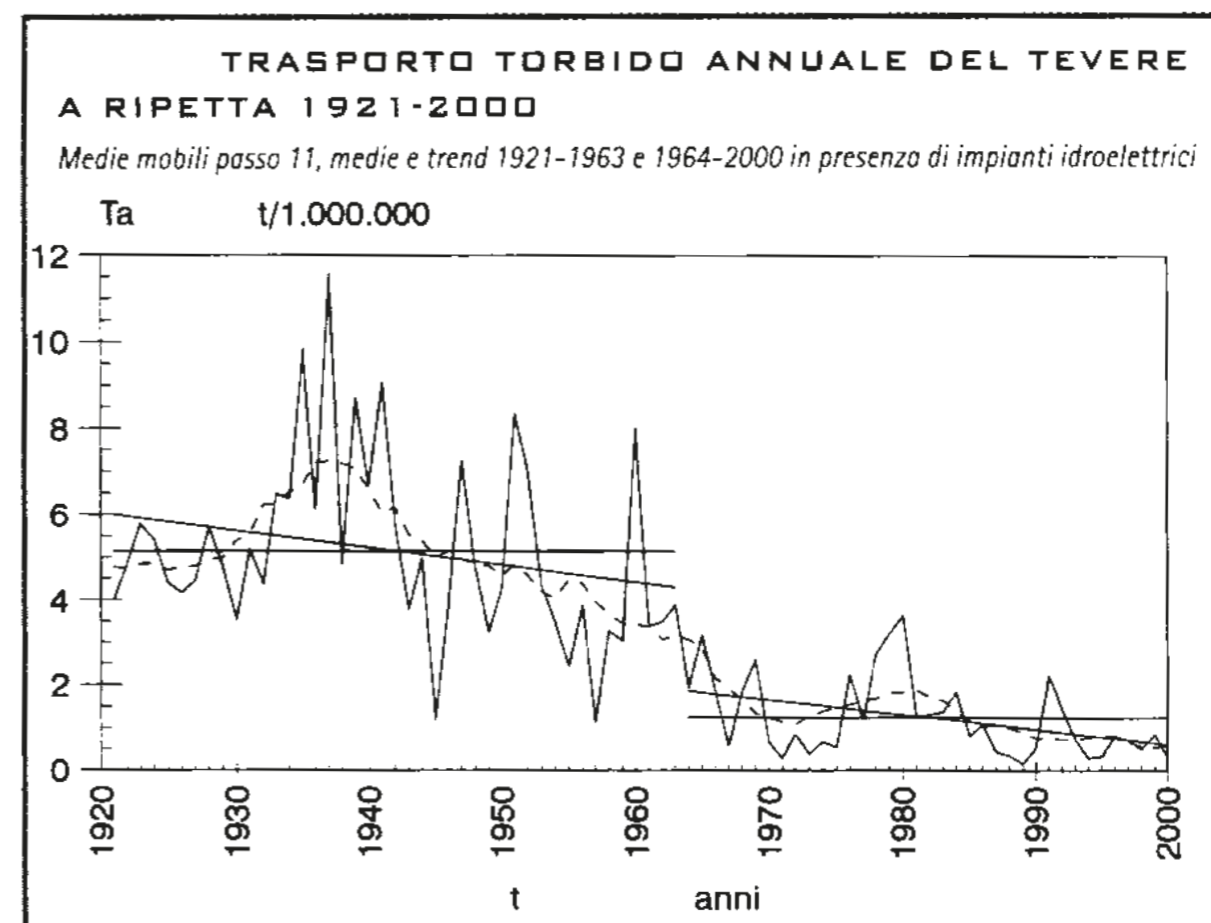


Fig.24 – Trasporto solido annuale a Roma dal 1921 al 2000 (da Remedìa e Alessandrini, 2002)

L'esistenza del serbatoio di Corbara, in funzione come detto dal 1963, contribuiva per circa il 35% del valore del trasporto solido a Roma (Dall'Oglio e Remedìa, 1984), per spiegare quindi il continuo calo nel tempo del trasporto solido a Roma bisogna considerare anche altre cause (Dall'Oglio e Remedìa,

1984; Bencivenga e Remedìa, 1998) tra cui, come cause naturali, la diminuzione della piovosità e l'aumento della temperatura che hanno comportato una diminuzione sensibile nelle portate liquide del fiume (in particolare quelle superiori a $350 \text{ m}^3/\text{s}$) e come cause antropiche – oltre la costruzione delle dighe

con serbatoio di Corbara e Alviano in particolare – bisogna considerare principalmente:

- il grande prelievo di materiale inerte in alveo per la costruzione del tratto di autostrada e di ferrovia paralleli al corso del Tevere che collegano Roma a Firenze negli anni '60 del secolo scorso:

- il prelievo di materiale inerte in alveo per le intense attività edilizie degli anni '60-'80 del secolo scorso;

- l'abbandono dei suoli agricoli collinari sostituiti da boschi e prati stabili;

- gli interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua montani realizzati con briglie di trattenuta del materiale solido:

- infine, in misura molto minore, praticamente trascurabile, il moltiplicarsi di laghetti collinari.

Non mancano però dubbi sulla precisione dei rilievi batimetrici eseguiti nel serbatoio di Corbara, infatti il volume d'interrimento riscontrato dopo 26 anni di funzionamento dalla S.A.P.P.R.O. nel 1991 è circa uguale al volume d'interrimento misurato solo 5 anni dopo nel 1996 dalla Geoproget srl (Hydro-service srl, 1996).

La diga di Alviano, costruita nel 1964, sul corso principale del Tevere aveva un serbatoio con un volume di soli circa 4 milioni di metri cubi, che è risultato completamente interrato già nel rilievo batimetrico effettuato dalla S.A.P.P.R.O. nel 1985.

Il trasporto solido di fondo a Roma è stato misurato abbastanza recentemente soltanto in campagne di misure nel 1990-91 dalla S.A.P.P.R.O. spa per conto del Provvt. alle OO PP del Lazio e nel 1995-96 dalla

Hydro-service srl per conto dell'Autorità di bacino del Tevere e del Servizio Idrografico di Roma. In entrambe le campagne si è visto che il trasporto di fondo sembra essere di entità marginale rispetto al trasporto in sospensione (o trasporto torbido). La misura di trasporto solido al fondo eseguita con la maggior portata liquida del Tevere, pari a circa 726 m³/s, è avvenuta il 12 dicembre 1990 da parte della S.A.P.P.R.O. spa (Bersani e Amici, 1993). In tale misura, in una trappola appositamente costruita, sono stati prelevati circa 680 g di materiale trascinato al fondo in un tempo di circa 2 ore. La trappola (Bersani e Amici, 1993), lunga un metro, era costituita da una bocca rettangolare d'ingresso di larghezza 0,50 m e altezza 0,10 m adagiata sul fondo dell'alveo e da una bocca d'uscita per l'acqua delle stesse dimensioni di quella d'entrata situata però ad un'altezza di 13,5 cm dal fondo (Fig.25).

Di seguito (Tab. 25) si riporta la classifica ASTM dei materiali granulari

Classifica ASTM	Dimensione granuli (mm)
Ciottoli	> 75,0
Ghiaia	Tra 75,0 e 2,0
Sabbia	Tra 2,0 e 0,075
Limo	Tra 0,075 e 0,05
Argilla	< 0,05

Tab.25 – Classifica ASTM per i materiali granulari

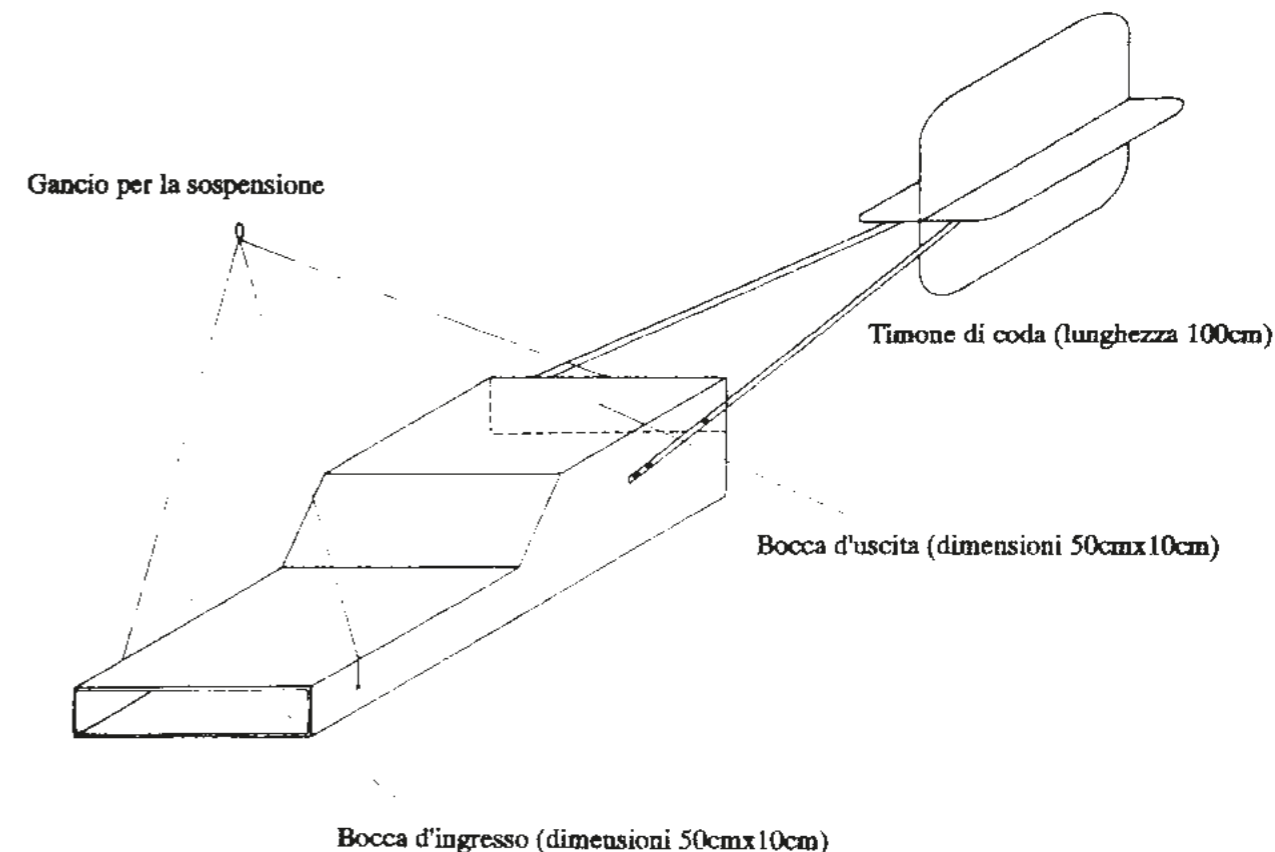


Fig.25 – La trappola per il trasporto solido al fondo utilizzata dalla SAPPRO spa nella campagna di misure 1990-91 (Disegno di R. Amici).

Dal 1990 ad oggi sono state eseguite diverse analisi granulometriche e litomineralogiche sul materiale solido prelevato sia al fondo che in sospensione. I risultati delle analisi granulometriche eseguite sono riportati nella Tab.26.

Numero campione e Certificato	Piena o periodo prelievo	Altezza al colmo a Ripetta (m)	Punto di prelievo	Tipo di trasporto solido	Prelevatore	Peso specifico (kN/m ³)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	D ₅₀ (mm)
1 TECGEA 15 mar 1991	Piena: 11 dic 1990 Prelievo: 21 gen 1990	10,63	Banchina Ponte Principe Amedeo Savoia Aosta	In sospensione	S.A.P.P.R.O. spa		0	100	0	0	0,51
2 TECGEA 16 mag 1991	Piena: 11 dic 1990 Prelievo: 12 dic 1991	10,63	Teleferica di Porta Portese	In sospensione	S.A.P.P.R.O. spa		9	91	0	0	0,33
3 TECGEA 16 mag 1991	Campione cumulativo 1990-1991	---	Teleferica di Porta Portese	Al fondo	S.A.P.P.R.O. spa		7	93	0	0	0,58
4 HYDROSERVICE 1996	Campione cumulativo 1995-1996	---	Teleferica di Porta Portese	In sospensione	Hydroservice srl		0	0	63	37	0,01
5 TECGEA n.1589	Campione 1995-1996	---	Campione prelevato in alveo all'altezza della Teleferica di Porta Portese	Al fondo	Hydroservice srl		0	98	2	0	0,41
6 8 apr 2004 SOGEA n.14719	10 gen 2003	9,36	Ponte Vittorio E. II Sx idrografica Scale a monte, 16° gradino	In sospensione	BERSANI	25,3	0	17	78	5	0,05
7 4 gen 2006 SOGEA n.17431	27 dic 2004	10,89	Ponte Vittorio E. II Sx idrografica Scale a monte, 20° gradino	In sospensione	BERSANI	24,9	0	31	52	17	0,04
8 4 gen 2006 SOGEA n.17432	28 nov 2005	11,41	Ponte Vittorio E. II Sx idrografica Scale a monte, 22° gradino	In sospensione	BERSANI	25,9	0	55	35	10	0,09

Tab.26 – Analisi granulometriche su campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione prelevati a Roma dal 1990 al 2005

Campioni di fondo alveo prelevati a inizio campagna misurazioni periodiche 1990-91.

Certificato	Data	Altezza al colmo a Ripetta (m)	Punto di prelievo	Tipo di campione	Prelevatore	Peso specifico (kN/m ³)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	D ₅₀ (mm)
TECGEA 24 apr 1990	Prelievo 26-3-1990	---	Teleferica Porta Portese 10 m da sponda destra (vicino riva destra)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	0	44	24	32	0,03
TECGEA 24 apr 1990	Prelievo 26-3-1990	---	Teleferica Porta Portese 20 m da sponda destra (centro alveo)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	41	58	1	0	1,2
TECGEA 24 apr 1990	Prelievo 26-3-1990	---	Teleferica Porta Portese 40 m da sponda destra (vicino riva sinistra)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	36	38	16	10	0,24

Campioni di fondo alveo prelevati a fine campagna misurazioni periodiche 1990-91.

Certificato	Data	Altezza al colmo a Ripetta (m)	Punto di prelievo	Tipo di campione	Prelevatore	Peso specifico (kN/m ³)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	D ₅₀ (mm)
TECGEA 16 mag 1991	Prelievo 28-3-1991	---	Teleferica Porta Portese 10 m da sponda destra (vicino riva destra)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	1	97	2	0	0,33
TECGEA 16 mag 1991	Prelievo 28-3-1991	---	Teleferica Porta Portese 20 m da sponda destra (centro alveo)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	54	45	1	0	2,7
TECGEA 16 mag 1991	Prelievo 28-3-1991	---	Teleferica Porta Portese 40 m da sponda destra (vicino riva sinistra)	Fondo alveo	S.A.P.P.R.O. spa	---	76	23	1	0	32,0

Tab.27 – Analisi granulometriche su campioni su campioni di fondo alveo prelevati a Roma alla stazione di Porta Portese nel periodo 1990-1991

Il campione n.1 è stato prelevato dalla S.A.P.P.R.O. sulla banchina all'altezza di Ponte Principe Amedeo Savoia Aosta dopo il passaggio della piena del 11 dicembre 1990 (Altezza al colmo Hc a Ripetta 10,63 m) ed è quindi rappresentativo del trasporto solido in sospensione. Tale campione è stato prelevato in un deposito sulla banchina formatosi sicuramente nella piena del dicembre 1990 in quanto la banchina era stata ripulita pochissimo tempo prima.

Il campione n.2 è stato prelevato in sospensione dalla S.A.P.P.R.O. alla teleferica di Porta Portese il giorno 12 dicembre 1990 dopo il passaggio della piena il cui colmo è stato il giorno precedente con Hc a Ripetta di 10,63 m. Il campione è rappresentativo del trasporto solido in sospensione.

Il campione n.3 è stato prelevato al fondo dalla S.A.P.P.R.O. alla teleferica di Porta Portese. È un campione cumulativo di tutto il materiale prelevato nelle 26 misure al fondo del periodo 1990-91.

Il campione n.4 è stato prelevato in sospensione dalla Hydroservice alla teleferica di Porta Portese e poi analizzato nel Laboratorio Tecgea snc. È un campione cumulativo unendo il materiale prelevato nelle 7 misure eseguite nel 1995-96.

Il campione n.5 è stato prelevato dalla Hydroservice in alveo alla teleferica di Porta Portese, perché non si era riusciti a campionare un campione al fondo con la trappola. Si può considerare rappresentativo del trasporto al fondo.

I campioni n.6, 7 e 8 sono stati prelevati, a scopo di studio da chi scrive, sulle scale che portano alla banchina a monte di Ponte Vit-

torio Emanuele II, dopo il passaggio di alcuni eventi di piena avvenuti rispettivamente il 10 gennaio 2003 (Hc a Ripetta 9,36 m); il 27 dicembre 2004 (Hc a Ripetta 10,89 m); il 28 novembre – 7 dicembre 2005 (Hc a Ripetta 11,41 m). Sono quindi rappresentativi del trasporto solido in sospensione.

Il D_{50} per i 2 campioni della Tab.25 rappresentativi del trasporto di fondo, varia da 0,41 a 0,58 mm con percentuali di sabbia variabili dal 93% al 98%,

Mentre il D_{50} per i campioni rappresentativi del trasporto in sospensione varia da 0,01 a 0,51 mm con percentuali di sabbia variabili dallo 0% al 100%. Nei campioni in sospensione le percentuali del limo sono assai variabili, comprese tra lo 0% e il 78%, mentre le percentuali dell'argilla variano tra lo 0% e il 37%.

Inoltre nel monitoraggio della S.A.P.P.R.O. del 1990-91 nella sezione di Porta Portese sono stati inoltre prelevati n.3 campioni nell'alveo con la teleferica, 1 al centro alveo e 2 in prossimità delle rive destra e sinistra nel fiume internamente alla banchina, prima dell'inizio del monitoraggio nel marzo 1990. Questi 3 prelievi sono stati poi ripetuti nel marzo 1991 al termine della campagna di monitoraggio, per vedere se a distanza di tempo di un anno l'alveo mostrasse o meno le stesse caratteristiche granulometriche. I due campioni prelevati con la teleferica al centro dell'alveo possono considerarsi rappresentativi del trasporto al fondo.

Nella Tab.27 orizzontale sono riportati i risultati delle analisi granulometriche eseguite.

Il D_{50} nei campioni della Tab.27 risulta molto variabile (da 0,03 a 32 mm). I campioni più rappresentativi della situazione reale del trasporto al fondo risultano quelli prelevati al centro dell'alveo con la teleferica, perché invece quelli vicini alle due rive potrebbero essere prelevati non esattamente nelle stesse posizioni ed essere inoltre influenzati da materiale immesso in alveo per la pulizia delle banchine.

I due campioni a centro alveo risultano in effetti molto simili tra loro con un D_{50} intorno a 2 mm e con percentuali molto simili di ghiaia (41% e 54%) e di sabbia (58% e 45%), in entrambe i campioni la percentuale del limo è pari all'1% e vi è assenza di argilla.

Non è però sempre cosa semplice comprendere se un campione prelevato in alveo sia rappresentativo del trasporto in sospensione o al fondo.

Per comprendere meglio il trasporto solido di un fiume è assolutamente necessario eseguire l'analisi litomineralogica sui campioni prelevati. Tale analisi infatti fornisce preziose indicazioni sulla provenienza dei vari granuli riscontrati nei campioni prelevati.

L'analisi litomineralogica è stata eseguita sul campione n.1 in Tab.25 prelevato sulla banchina del fiume dopo il passaggio della piena dell'11 dicembre 1990 e rappresentativo quindi del trasporto solido in sospensione.

Elementi trattenuti al setaccio ASTM n.40 (diametro 0,420 mm)	Numero elementi esaminati	%
Piroclastite + lava	278	50,4
Quarzo	187	33,9
Calcite	37	6,7
Anfiboli + Pirosseni	14	2,5
Calcare	12	2,2
Miche	10	1,8
Selce	7	1,2
Quarzite	5	0,9
Frammenti gusci molluschi	2	0,4
Totali	552	100
Elementi trattenuti al setaccio ASTM n.200 (diametro 0,075 mm)	Numero elementi esaminati	%
Quarzo	270	52,7
Anfiboli + Pirosseni	116	22,6
Calcite	96	18,8
Gusci foraminiferi	30	5,9
Totali	512	100

Tab.28 – Analisi litomineralogica eseguita sul campione prelevato sulla banchina a Roma, dopo la piena dell'11 dicembre 1990

È stato esaminato il materiale trattenuto, durante l'analisi granulometrica, ai setacci ASTM n.40 (diametro 0,420 mm) e ASTM n.200 (diametro 0,075 mm).

I risultati di questa analisi litomineralogica, eseguiti dalla Tecgea snc (S.A.P.P.R.O., 1991; Bersani e Amici, 1993), sono riportati nella Tab.28.

Dalla Tab.28 si evince che i granuli di dimensioni maggiori (trattenuti al setaccio ASTM n.40) sono costituiti per circa il 55% da minerali e frammenti litici provenienti da rocce di origine vulcanica e per circa il 45% da minerali provenienti da rocce sedimentarie e in maniera del tutto trascurabile da rocce metamorfiche.

Al setaccio ASTM n.200, che trattiene i granuli di dimensioni minori, la percentuale dei minerali provenienti da rocce di origine vulcanica diminuisce a circa il 23%, mentre cresce notevolmente la percentuale (oltre il 70%) dei minerali provenienti da rocce sedimentarie e in misura assai minore metamorfiche. Infine un 6% è rappresentato da gusci di foraminiferi.

La divisione in elementi provenienti da rocce vulcaniche oppure sedimentarie e metamorfiche (Bersani & Amici, 1993) deriva dal fatto che il quarzo non è presente nelle rocce eruttive presenti nel bacino del Tevere. Infatti essendo i vulcani dei monti Vulsini (Bolsena), dei monti Cimini (Vico), dei monti Sabatini (Bracciano) e dei Colli Albani con un chimismo sottosaturato, non vi è presenza di quarzo e quindi il quarzo presente nei campioni esaminati deriva dall'erosione di rocce sedimentarie. Il solo complesso vulcanico del Monte Amiata, essendo con chimismo acido, contiene il quarzo nei suoi

prodotti, ma tale complesso è presente soltanto su una superficie di pochi km² nella parte superiore del bacino del Paglia. Sono invece presenti minerali di colore chiaro di leucite (anche se in quantità molto esigue), che indicano appunto la provenienza da una roccia vulcanica con chimismo sottosaturato.

Inoltre sono state eseguite (S.A.P.P.R.O., 1991) le analisi litomineralogiche anche sui campioni di fondo alveo della Tab.27 prelevati nel 1990-91 alla teleferica di Porta Portese. Queste analisi sono state effettuate anche sul materiale granulare trattenuto nell'analisi granulometrico da setacci di dimensione maggiore (ASTM n.10 e ASTM 3/8"). I risultati di tali analisi (Tab.29) mostrano ancora la preponderanza di minerali vulcanici, ma anche la presenza importante di elementi di laterizi, dovuta ad un alveo antropizzato da circa due millenni.

Nella Tab.29 bisogna notare che frammenti di laterizio sono stati riscontrati nell'analisi litomineralogica ai setacci di dimensioni maggiore (3/8" e n.10) mentre non sono stati riscontrati nei setacci di dimensione minore (n.40 e n.200). È del tutto verosimile che i frammenti di laterizio siano presenti anche nei setacci di dimensione minore, ma nelle analisi litomineralogiche potrebbero probabilmente essere stati inglobati nella classe "Piroclastite + lava".

Lo studio del trasporto solido del Tevere a Roma effettuato nel 1990-91 (S.A.P.P.R.O., 1991) ha portato a concludere (Bersani & Amici, 1993) che la maggior parte del trasporto solido del Tevere a Roma avviene in sospensione e in misura solo marginale al fondo.

Anche lo studio della Hydroservices del 1995-96 sembra confermare tale situazione.

Elementi trattenuti al setaccio ASTM 3/8" (diametro 9,52 mm)	Campione centro alveo 24 apr 1990 (prelievo marzo 1990)		Campione centro alveo 16 mag 1991 (prelievo marzo 1991)	
	N. elementi esaminati	%	N. elementi esaminati	%
Piroclastite + lava			23	25,6
Gusci molluschi			1	1,1
Calcare			23	25,6
Frammenti laterizi			39	43,3
Selce			2	2,2
Arenaria			1	1,1
Altri			1	1,1
Totali			90	100
Setaccio ASTM n.10 (diametro 2 mm)	N. elementi esaminati	%	N. elementi esaminati	%
Piroclastite + lava	43	63,3	290	54,3
Gusci molluschi	19	27,9	23	4,3
Calcare	6	8,8	64	12,0
Frammenti laterizi	---	---	90	16,9
Selce	---	---	18	3,4
Arenaria	---	---	5	0,9
Leucite	---	---	13	2,4
Calcite	---	---	10	1,9
Quarzite	---	---	8	1,5
Quarzo	---	---	5	0,9
Anfiboli + Pirosseni	---	---	8	1,5
Totali	68	100	534	100
Setaccio ASTM n.40 (diametro 0,420 mm)	N. elementi esaminati	%		
Piroclastite + lava	372	72,2	379	73,0
Quarzo	25	4,9	80	15,4
Calcite	18	3,5	19	3,7
Anfiboli + Pirosseni	81	15,7	41	7,9
Calcare	12	2,3	---	---
Feldspati	5	1,0	---	---
Gusci molluschi	2	0,4	---	---
Totali	515	100	519	100
Setaccio ASTM n.200 (diametro 0,075 mm)	N. elementi esaminati	%		
Quarzo	212	38,8	220	42,1
Anfiboli + Pirosseni	92	16,8	121	23,1
Calcite	162	29,6	128	24,4
Siltite	---	---	19	3,6
Piroclastite + lava	60	11,0	---	---
Feldspati	21	3,8	6	1,1
Miche	---	---	16	3,0
Gusci molluschi	---	---	14	2,7
Totali	547	100	524	100

Tab.29 – Risultati delle analisi litomineralogiche eseguite sui campioni di centro alveo alla stazione di Roma Porta Portese prelevati nel marzo 1990 e nel marzo 1991

8. Massima altezza idrometrica e massima portata storica del Tevere a Roma

L'altezza idrometrica massima del Tevere a Roma Ripetta è stata registrata nell'evento del 24 dicembre 1598 con 19,56 m. Questa altezza è testimoniata, fra l'altro, sulle colonne dell'antico Porto di Ripetta costruito a inizio settecento, dove è stata riportata dal livello segnato a mano su un palazzo presente nell'area del Porto (Min. LL. PP., 1924,

lavoro conosciuto dagli esperti del settore come Di Ricco, 1924), unitamente ai livelli al colmo delle altre maggiori piene antiche.

Nella Tab.30, riprendendo in parte i dati della Tab.22, sono riportate le maggiori altezze idrometriche registrate a Ripetta (Di Martino e Belati, 1981 e 2017).

Piena	Altezza al colmo a Ripetta (m)	Presente sulle colonne del Porto di Ripetta
24 dicembre 1598	19,56	Sì
8 ottobre 1530	18,95	Sì
15 settembre 1557	18,90	No
23 gennaio 1606	18,27	Sì
22 febbraio 1637	17,55	Sì
8 gennaio 1476	17,41	No
30 novembre 1422	17,32	No
28 dicembre 1870	17,22	No
5 novembre 1660	17,11	Sì
17 dicembre 1937	16,90	No
5 dicembre 1495	16,88	Sì

Tab.30 – Massime altezze idrometriche a Roma Ripetta

Come si vede dalla Tab.30 i 4 eventi di piena maggiori, che hanno superato i 18 m a Ripetta, sono avvenuti in poco più di 70 anni (dal 1530 al 1606). La piena del 1557 non è riportata nelle colonne del Porto di Ripetta (Di Martino e Belati, 1981) perché è avvenuta sotto il pontificato di Paolo IV Carafa, in-

viso ai romani e la lapide col suo nome (“segni sul muro delle fabbriche opposte” da Chiesa e Gambarini, 1746) è stata distrutta dopo la sua morte, prima che il livello di piena che indicava potesse essere trasferito sulle colonne settecentesche del Porto di Ripetta. La piena più antica riportata sulle colonne del Porto di

Ripetta è quella del 1495 (16,88 m), per cui l'altezza delle piene più antiche (anni 1422 e 1476) della Tab.30 è stata desunta da lapidi in altre luoghi della città, come la facciata della chiesa di S.Maria sopra Minerva. La piena del 1937 (16,84 m), come quelle del 1900 (16,17 m) e del 1915 (16,08 m) ovviamente non sono riportate sulle colonne perché a fine '800 il Porto di Ripetta è stato demolito per far posto ai muraglioni urbani.

La portata massima del Tevere a Roma, prima della costruzione dei muraglioni urbani, è avvenuta probabilmente nella piena del 28 dicembre 1870 (Altezza al colmo Hc a Ripetta 17,22 m) o nella piena del 24 dicembre 1598 (Altezza al colmo Hc a Ripetta 19,56 m). Vi è poi stata la piena del dicembre 1900 con i muraglioni urbani, come visto già costruiti in buona parte, con portata al colmo stimata simile a quella del 1870.

Per la piena del dicembre 1870 (Frosini, 1977), si dispone sia del diagramma di piena a Ripetta, sia del profilo di piena nel tratto urbano da ponte Milvio fino al ponte della ferrovia; mentre invece per la piena del 1598 si conoscono soltanto le altezze al colmo raggiunte in alcuni punti particolari della città da Porta del Popolo a Ripagrande.

Per la piena del dicembre 1870 con altezza al colmo 17,22 m a Ripetta, l'Ing. Possenti (Atti Commissione Canevari, 1871, Benci-

venga et alii, 2001) ha stimato una portata al colmo dell'ordine di 2.800 m³/s, di cui 2.500 m³/s in alveo, gli Ingg. Canevari e Vescovali stimano invece la portata al colmo in circa 3.100 m³/s. Bencivenga et alii, 1999, e 2001 valutano per questa piena una portata al colmo, compresa tra 3.100 e 3.300 m³/s. Non esistono invece stime della portata, se non di larga massima, per la piena del 1598, in quanto non sono conosciute con esattezza le condizioni dell'alveo in quell'epoca.

L'unico confronto che si può fare fra le 2 piene del 1598 e del 1870 è con le aree di esondazione nell'area urbana (Fig.26), che sono state più estese nell'evento del 1598 rispetto al 1870 (dagli Atti della Commissione Canevari, Min. LL PP, 1872).

È però possibile a questo proposito fare alcune considerazioni di ordine storico-urbanistico (Di Martino e Belati, 1980 e 2017; Bersani e Bencivenga, 2001). Nel XVI secolo, come ricorda Pensuti, 1923, il Tevere era denominato “receptaculus ominum purgamentorium urbis (ricettacolo di ogni immondizia della città)”, vi erano inoltre diverse “strettoie” come a Ponte S. Angelo dove Papa Alessandro VI Borgia nel 1492-95 aveva fatto costruire da Giuliano di Sangallo, in riva destra davanti a Castel S. Angelo, un grande torrione che chiudeva completamente le due arcate minore del ponte da quel lato (Fig.27).

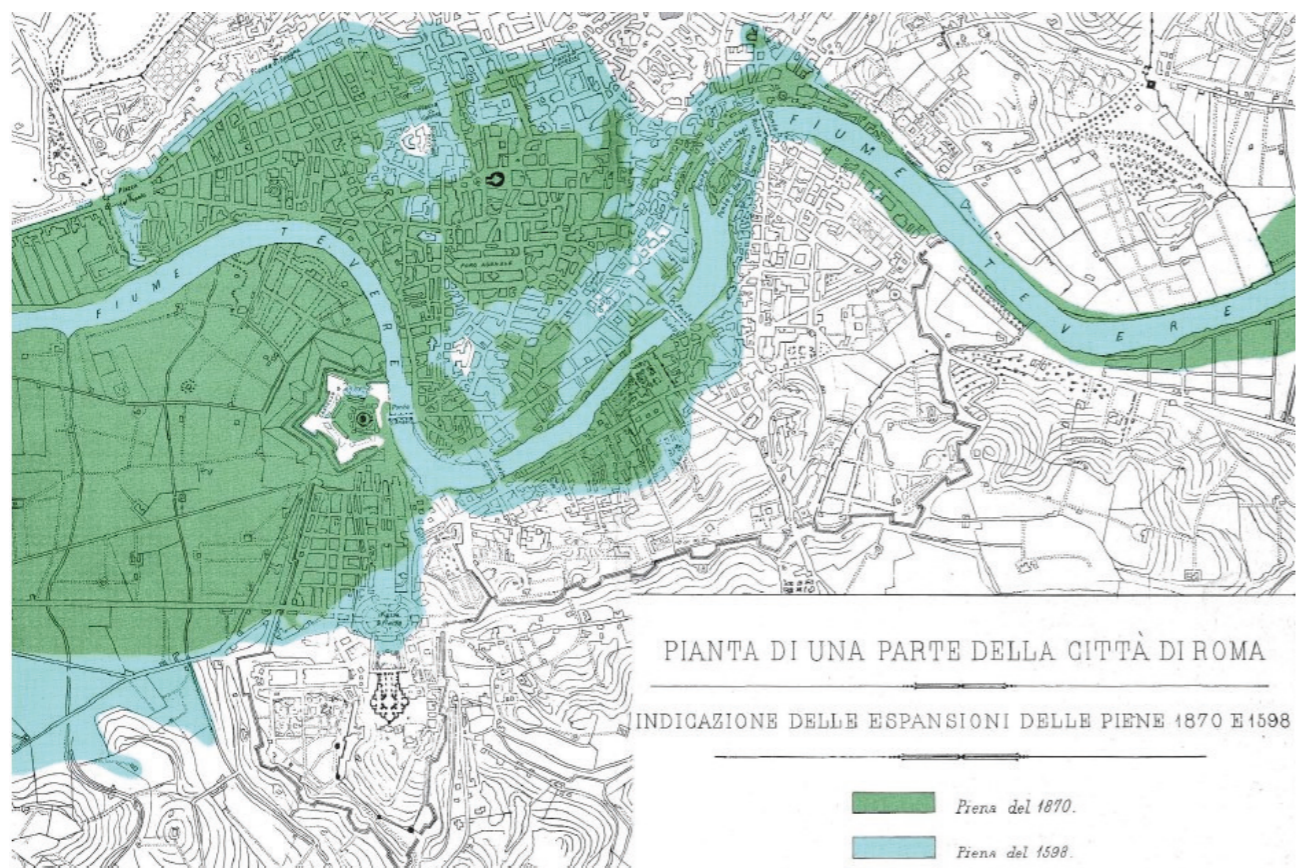


Fig.26 – Le aree di esondazione del Tevere a Roma durante le piene del 1598 e del 1870, riportate negli Atti della Commissione Canevari (Min. LL PP, 1872).

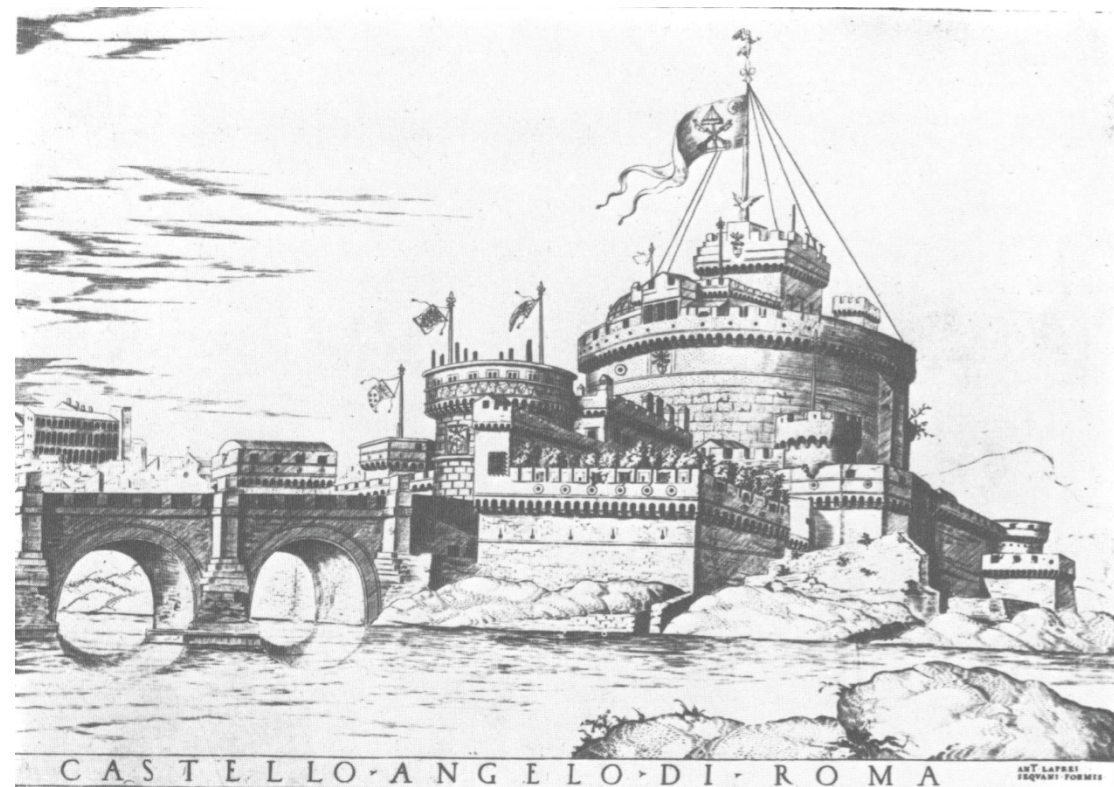


Fig.27 – Il torrione costruito da Papa Alessandro VI Borgia nel 1492-95 in riva destra del Tevere davanti a Castel S. Angelo in una veduta del tempo incisa da Lafrey



Fig.28 – L'isola Tiberina e i resti del Ponte Senatorio a valle nella Pianta di Roma di Giovanni Battista Falda del 1676. Si notano i tanti molini presenti a monte di Ponte Cestio in riva destra.

Pochi anni dopo fu costruito in quel tratto di fiume palazzo Altoviti subito a valle del ponte a picco sul fiume (D'Onofrio, 1980) restringendo ulteriormente l'alveo, tanto che a Ponte S. Angelo è documentato che nelle piene del 1557 e del 1598 l'acqua del fiume sormontò il ponte abbattendone le balaustre. Anche l'isola Tiberina costituiva un ostacolo

al deflusso delle acque di piena a causa dei tanti molini, con le loro strutture di sostegno e accesso in muratura, presenti a monte di Ponte Cestio. Inoltre il Ponte Senatorio (o Ponte S. Maria) era ubicato, con le sue tante e strette arcate in alveo, immediatamente nella stretta curvatura del fiume subito a valle dell'isola, in direzione obliqua rispetto al cor-

so del fiume stesso, in Fig.28 è riportata la Pianta di Roma di Giovanni Battista Falda del 1676, dove tale situazione è ben evidente. Il Ponte Senatorio crollò nella piena del 1557, fu ricostruito nel 1573 e crollò (2 piloni e tre arcate) definitivamente nella piena del 1598 (Bersani A. e Bersani P., 2002), da allora fu chiamato Ponte rotto. Nella piena del dicembre 1598 vi erano quindi almeno due punti del Tevere in città in cui si poteva creare un effetto diga: a Ponte S. Angelo e all'altezza dell'isola Tiberina.

Oltre le citate "strette" del fiume all'altezza di Ponte S. Angelo e all'isola Tiberina, vi era, circa un km a valle dell'isola Tiberina, probabilmente una terza stretta importante (Bersani A. & Bersani P., 2002; Bersani, 2004), all'altezza del Monte Testaccio ("Monte dei cocci"). In questo punto del fiume infatti, in prossimità dell'antica Porta Portuensis, ubicata in riva destra in Trastevere, Papa Leone IV intorno all'anno 847 (Liber Pontificalis, 1955), restaurando le Mura Aureliane, aveva fatto costruire due torri nell'ambito delle fortificazioni a difesa degli attacchi dei Saraceni dal mar Tirreno (Fig.29). La funzione delle due torri era di restringere l'alveo del fiume in modo da far passare solo "parvae naviculae" (Pani Ermini, 1991) e di impedire completamente la navigazione quando voluto, con grosse catene di ferro sospese fra le due torri. Queste torri erano ancora presenti nella "Nuova Pianta della città di Roma" di Giovanni Battista Falda del 1676 (Fig.29), mentre non erano più presenti nella "Carta di Roma" di Giovanni Battista Nolli del

1744. Quindi il restringimento dell'alveo a causa delle due torri era presente nella piena del 1598, ma non era più presente nella piena del 1870.

Durante le due piene del 1598 e del 1870 i ponti nella città erano gli stessi, Ponte Milvio, Ponte S. Angelo, i Ponti Cestio e Fabricio all'isola Tiberina e Ponte Sisto, costruito da Papa Sisto IV nel 1475. L'unico ponte in più nell'evento del 1598 era appunto il ponte Senatorio, che crollò definitivamente in tale occasione, ma del quale le arcate verso la riva destra erano ancora presenti nella piena del 1870. Le arcate di età romana verso la riva destra furono infatti abbattute solo a fine '800 per la sistemazione dell'alveo durante la costruzione dei muraglioni urbani.

La lunghezza del Ponte Senatorio, del Ponte Elio (Ponte S. Angelo) così come la somma delle lunghezze originarie dei Ponti Fabricio e Cestio all'isola Tiberina era di 135 m, perché è questa (Lanciani, 1883; Bersani A. e Bersani P., 2002) la larghezza dell'alveo di piena imposta al tratto urbano del Tevere al tempo dell'Impero romano dal *Curator alvei et riparum Tiberis et cloacarum urbis*, istituito dall'Imperatore Traiano, che si occupava della gestione del fiume. Nel periodo medievale però il braccio sinistro del Tevere all'altezza dell'isola Tiberina aveva perso la sua larghezza originaria a causa di nuove costruzioni sempre più spostate verso il centro dell'alveo. Infatti durante i lavori per la costruzione dei muraglioni ottocenteschi è venuta alla luce la parte del Ponte Fabricio, con una seconda finestra di piena, che al

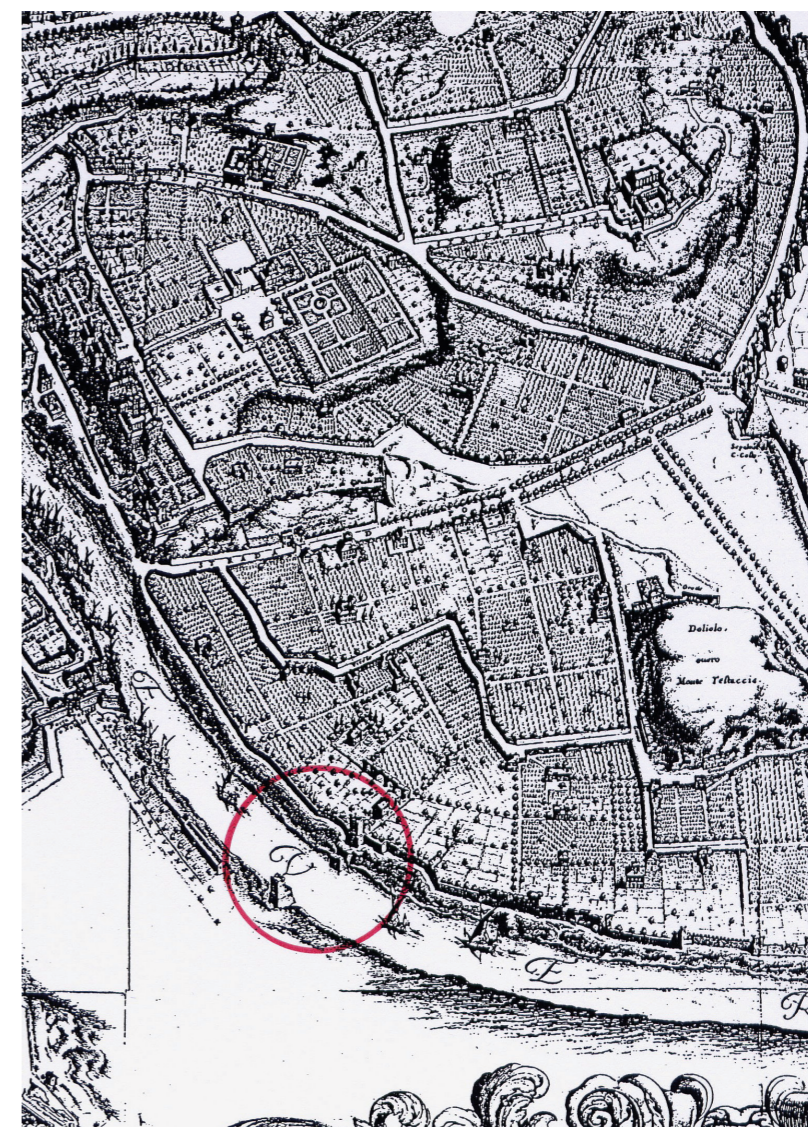


Fig. 29 - Carta di Falda del 1676, si notano le torri restaurate delle Mura Aureliane presenti nell'alveo fluviale

tempo dell'Impero romano delimitava più ad ovest il corso del fiume di circa 10 m. Il restringimento dell'alveo in epoca medievale ha ulteriormente concentrato il flusso delle acque del Tevere verso il Ponte Senatorio a valle. Non è un caso quindi che il Ponte abbia subito ripetuti crolli dall'epoca medievale in poi negli anni 1140 circa, 1230, 1442, 1557,

1573 fino al definitivo crollo del 1598 (Bersani A. e Bersani P. 2002).

Nella piena più antica del 1598 è importante sottolineare che il bacino del Tevere aveva però una maggiore estensione di circa 1.100 km², costituiti da territorio della Chiana, le cui acque di pioggia attraverso il torrente Chiani e poi attraverso il fiume Paglia

confluivano nel Tevere. Nel 1780 fu costruito un piccolo argine in terra da Papa Pio VI Braschi, che dirottò definitivamente queste acque nel bacino dell'Arno, ponendo fine a una lunga contesa tra lo Stato Pontificio e il Granducato di Toscana.

Se si confronta (Di Martino e Belati, 1980) la Roma nel primo quarto del '600 con quella di 50 anni prima assistiamo alla sostituzione di una città ancora per molti aspetti medievale, con quella assai più ampia ed estesa verso i Colli che, nelle grandi linee, è giunta fino ai nostri giorni. Infatti dopo le grandi inondazioni del 1530 e del 1557 Papa Gregorio XIII Boncompagni (1572-1585) emise nel 1574 la bolla "Quae publicae utilie", che rappresenta un vero e proprio regolamento edilizio con lo scopo di favorire l'allargamento e la rettificazione dei vicoli, eliminando tra l'altro le strette intercapedini tra casa e casa, retaggio dell'antica architettura medievale. Il suo successore Papa Sisto V Peretti (1585-90) continuò e incrementò l'opera di allargamento delle strade, mirando ad espandere la città a Levante verso i Colli. L'ultima piena del Tevere che raggiunse i 18 m a Ripetta è stata quella del 1606 (vedi Tab.30) prima che Papa Urbano VIII Barberini nel 1628 facesse abbattere il torrione medievale a Ponte S. Angelo (Fig.27), di cui si è detto, eliminando in buona parte la strettoia all'altezza di Castel S. Angelo. Nel '600 inoltre i Papi rifecero il sistema fognante della città (le famose "chiaviche" papali), a quota più profonda rispetto alle fognature precedenti, che migliorarono però solo in parte il problema del rigurgito fognario durante le piene del Tevere, risolto

poi soltanto a fine '800 con la realizzazione di nuovi collettori fognari a quote ancora più profonde, costruiti contemporaneamente ai muraglioni urbani.

Si può così supporre che il maggior volume d'acqua che ha inondato la città nel 1598 rispetto al 1870 possa essere dovuto ad un alveo maggiormente ostruito nell'evento più antico dei due, mentre la maggiore altezza raggiunta delle acque di esondazione è dovuta anche ad un reticolo stradale più stretto che ostacolava con maggiore difficoltà l'allontanamento delle acque dall'alveo fluviale.

In base alle considerazioni esposte si può presumere che la portata al colmo degli eventi del 1598 e del 1870 debba essere stata molto simile e sembra quindi lecito ipotizzare per l'evento del dicembre 1598 una portata al colmo della stessa entità della piena del dicembre 1870 o appena superiore. Infatti senza i 1.100 km², prima citati, costituiti da territorio della Chiana che confluivano nel Tevere ancora nel 1598, l'altezza idrometrica a Ripetta sarebbe stata sicuramente inferiore nella piena di dicembre di quell'anno.

Nell'evento di piena del dicembre 1870 l'ordine di grandezza delle piogge determinanti nel bacino nei 6 giorni precedenti il colmo di piena è stato di circa 100 mm (Bersani P. e Bersani A., 2008), del tutto paragonabile (e molte volte inferiore) alle piogge di tante piene avvenute nelle piene del XX e dell'inizio del XXI secolo (Tab.7).

Inoltre sia nelle piene del 1598 che nella piena del 1870 le aree di laminazione naturali a monte di Roma (da Orte fino a Montecitorio circa) erano in una situazione quasi

per nulla antropizzata, per cui è lecito supporre che trattenessero un maggior quantitativo d'acqua di quanta ne possono trattene-re oggi e quindi è lecito supporre anche che l'acqua che arrivava naturalmente a Ponte Milvio fosse minore di quella che vi può arrivare oggi, anche senza considerare l'esistenza delle dighe con serbatoio.

Dopo le piene descritte del 1598 e del 1870 la successiva piena eccezionale a Roma avvenne nel dicembre 1900, con un'altezza al colmo a Ripetta di 16,17 m, quando nell'alveo del Tevere urbano erano già presenti i muraglioni nel tratto Ponte Margherita – Ponte Palatino. La sottocommissione dei Lavori Pubblici (Frosini, 1977) appositamente istituita dopo tale piena, affermò concordemente con gli Ingegneri idraulici Zoppi e Perrone che, in assenza delle opere costruite (i muraglioni urbani) dopo la piena del dicembre 1870, la portata della piena del dicembre 1900 sarebbe stata appena superiore rispetto alla portata della piena del dicembre 1870 (stimata come visto prima tra 2.800 e 3.300 m³/s secondo i vari autori).

Bencivenga et alii, 2001 stimano una portata al colmo per la piena del dicembre 1900 compresa tra 3.000 e 3.300 m³/s, pari o quindi appena superiore a quella del 1870. Anche per la successiva piena eccezionale del febbraio 1915 con un'altezza di 16,08 m a Ripetta è stata stimata una portata al colmo molto simile, ma leggermente inferiore a quella del dicembre 1900 e pari a circa 2.900 m³/s (Bencivenga et alii, 1999 e 2001).

In base a quanto esposto la massima portata storica del Tevere rimane incerta e si può

stimare compresa tra i 2.800 e i 3.300 m³/s, pari ad un valore di circa 3.100 m³/s ± 5%, che sembra essere il più attendibile ed è probabilmente avvenuta nell'evento di piena del dicembre 1900.

Nell'evento di piena eccezionale del dicembre 1900, dalla maggior parte degli autori ritenuto, come visto, l'evento di piena con la maggiore portata al colmo in assoluto, erano presenti invece i muraglioni urbani nel tratto Ponte Milvio – Ponte Palatino e la piena ha attraversato la città provocando soltanto modesti allagamenti, causati da alcune fognature non ancora allacciate ai Collettori principali (Frosini, 1977), se si eccettua il crollo del muraglione del Lungotevere degli Anguillara in destra idrografica tra Ponte Garibaldi e Ponte Cestio ancora in costruzione e gli allagamenti nella parte sud della città (Basilica di San Paolo) dove però le difese arginali non erano ancora state costruite. Si può così affermare che i muraglioni urbani hanno contenuto bene la massima portata storica del Tevere a Roma, se non in alcune situazioni locali a causa dei lavori di difesa arginale non ancora terminati.

Quindi anche la piena del dicembre 1900, dove si è probabilmente avuta la massima portata storica con circa 3.100 m³/s, ha attraversato Ponte Milvio senza provocare nell'area nessun allagamento per fuoriuscite dall'alveo, non esistono infatti negli archivi fotografie dell'area di ponte Milvio allagata.

Da quando sono stati completati i muraglioni urbani nel 1926 (Frosini, 1977; Brizzi, 1989) è avvenuta un'unica piena eccezionale: il 17 dicembre 1937 con altezza al colmo Hc

a Ripetta pari a 16,90 m (quindi solo di circa 30 cm inferiore all'altezza al colmo Hc = 17,22 m a Ripetta della piena del dicembre 1870), che ha provocato nella città di Roma soltanto modesti allagamenti (Frosini, 1977) nella zona di Ponte Milvio (dove in destra idrografica non erano ancora state completate le opere di contenimento) e nella zona di Porta Portese (Trastevere S.Michele - Via

Portuense) per il crollo di un muro non ancora sostituito dal Muraglione, e infine alla foce. I muraglioni urbani hanno quindi retto egregiamente al passaggio della piena.

Nella Fig.30 che segue sono riportati gli idrogrammi di piena alla stazione di Roma Ripetta per le maggiori piene avvenute dal 1870 ad oggi (da Frosini, 1977).

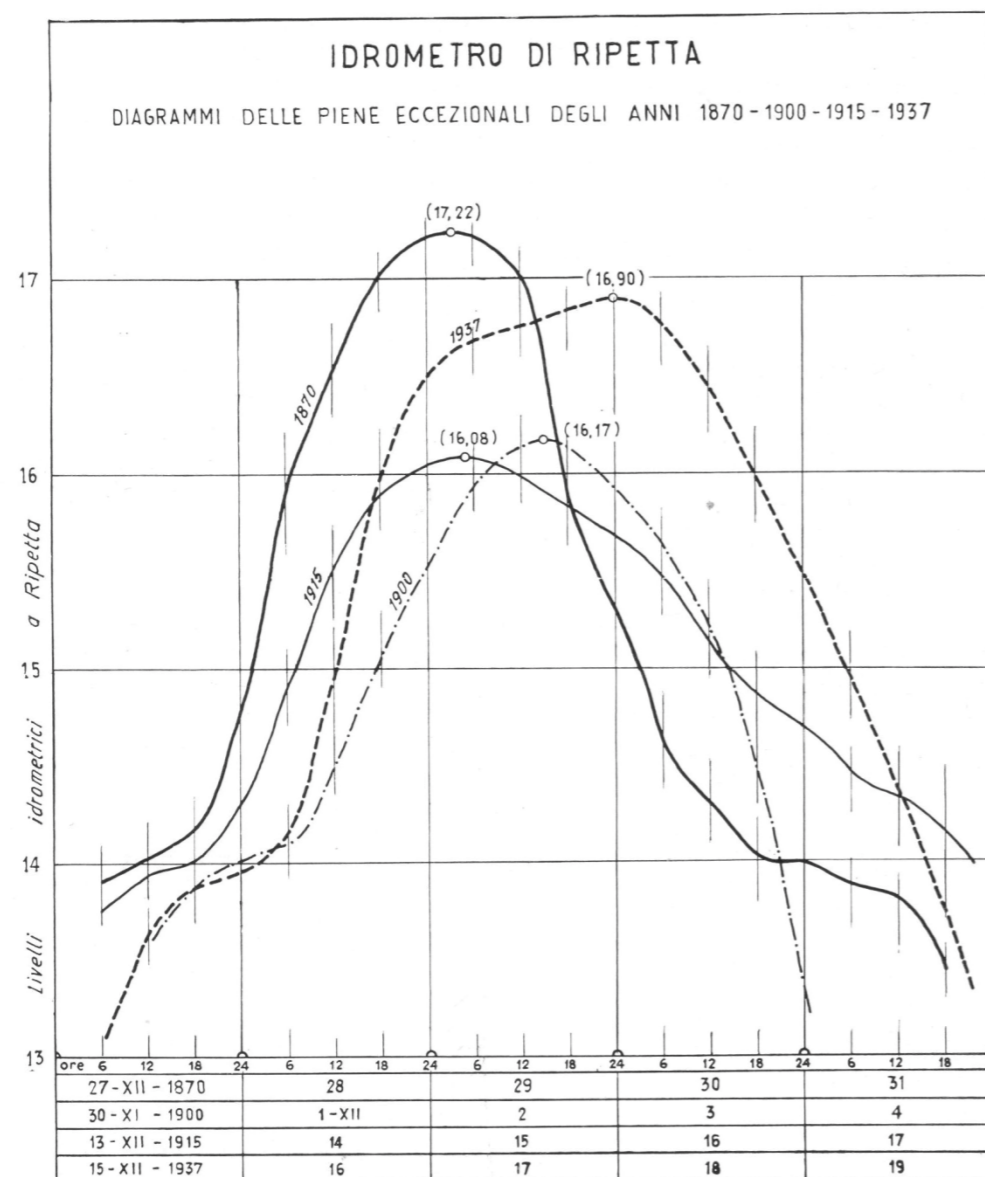


Fig.30 – Diagrammi delle piene eccezionali del Tevere alla stazione di Ripetta dal 1870 ad oggi (da Frosini, 1977)

9. Massima pioggia giornaliera possibile sul bacino del Tevere

Si possono fare delle ipotesi sulla Precipitazione Massima Probabile (Probable Maximum Precipitation, PMP) nel bacino del Tevere (Bersani et alii, 1995; Bersani e Palmieri, 2004). Il manuale dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale "Manual for the estimation of maximum probable precipitation" (WMO n.32) riporta che la denominazione della massima pioggia di uno o più giorni consecutivi antecedentemente al 1950 era "Maximum Possible Precipitation, MPP". Successivamente tenendo conto della inevitabile incertezza della stima della pioggia, si è introdotta e preferita la dizione "Probable Maximum Precipitation, PMP", che è ormai universalmente accettata.

Bersani et alii, 1995, a partire dall'esame di dieci eventi pluviometrici giornalieri estremi avvenuti nel bacino del Tevere dal 1977 al 1986, hanno calcolato per il bacino del Tevere a Roma (16.545 km² circa) una precipitazione massima probabile in 24 ore (PMP in 24 h) di circa 116 mm.

Tale valore, che rappresenta la massima pioggia ragguagliata probabile (PMP) nel bacino del Tevere fino a Roma, è stato ottenuto moltiplicando il valore massimo dell'efficienza dinamica ($7,9 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ nell'evento del 26 febbraio 1984) per il valore massimo dell'acqua precipitabile AP strato 0 -1.500 m (17 mm nell'evento del 22 agosto 1977), ottenendo così il valore di pioggia ragguagliata

nel bacino di 116 mm/24 h.

$$\text{PMP (24 h)} = 7,9 \times 10^{-5} * 17 = 134,3 \times 10^{-5} \text{ mm/sec} = 116 \text{ mm/24 h} \quad (2)$$

Alla base di questa elaborazione è un modello concettuale semplificato che considera la precipitazione come il risultato di due fattori indipendenti, la umidità disponibile e la efficienza (sintesi delle caratteristiche dinamiche del fenomeno) della perturbazione meteorologica. Si assume inoltre che nell'ambito del gruppo di eventi considerati ve ne sia stato almeno uno caratterizzato dalla massima efficienza dinamica ed almeno uno in cui si è verificata la massima acqua precipitabile persistente per 24 ore e media per l'intera area considerata. Ciascuno dei due eventi concorre quindi al processo di massimizzazione. Il risultato va quindi assunto come una valutazione "prudente" della PMP, tenendo conto dei margini di incertezza derivanti dalle ipotesi fatte. Ovviamente il risultato di questo tipo di elaborazione è tanto più stabile ed affidabile quanto più esteso è il periodo di anni considerato.

Considerazioni di carattere termodinamico (la capacità dell'atmosfera di ospitare acqua cresce in modo non lineare all'aumentare della temperatura) lasciano aperta l'eventualità che si possano riscontrare valori di acqua precipitabile AP persistenti per 24 ore maggiori del valore di 17 mm adottato in questa stima.

Nello stesso lavoro di Bersani et alii, 1995 è stato determinato il valore dell'acqua precipitabile AP strato 0 -1.500 m nell'evento più antico del 3 settembre 1965, che è risultato pari a 18 mm, trovando così:

$$\text{PMP (24 h)} = 7,9 \times 10^{-5} * 18 = 142,2 \times 10^{-5} \text{ mm/sec} = 123 \text{ mm/24 h} \quad (3)$$

Nell'evento di piena del 3 settembre 1965, essendo avvenuto nel periodo estivo, vi è stata una temperatura molto elevata dell'acqua del mare, che ha prodotto una grande evaporazione immettendo così una grande quantità di acqua nell'atmosfera.

Il valore di 123 mm/24 h può quindi essere considerato come il valore possibile della PMP (24 ore).

Data	Pioggia in 24 ore (mm)	Data	Pioggia in 24 ore (mm)
2 settembre 1965	102,4	1 febbraio 1986	54,5
18 novembre 1975	69,5	10 dicembre 1990	54,3
14 novembre 1878	58,8	3 settembre 1965	51,1
26 febbraio 1984	56,1	28 novembre 2010	50,7
6 novembre 1980	55,8	17 novembre 1975	50,2

Tab.31 – Maggiori piogge ragguagliate nel bacino del Tevere a Roma (16.545 km²) in un giorno pluviometrico (24 ore) nel periodo 1871-2020 (da Bersani e Palmieri 2004, aggiornato).

Per la pioggia ragguagliata di più giorni consecutivi nel bacino del Tevere a Roma (corrispondente alle piogge dei 6 giorni precedenti e determinanti le piene del Tevere alla stazione di Roma – Ripetta della Tab.7) il valore massimo osservato nel periodo 1871 – 2020 è stato di circa 194 mm concentrati nei giorni 1-3 settembre 1965. Tali piogge di 6 giorni, che hanno causato la già

In Tab.31 la pioggia ragguagliata a Roma di 102,4 mm del giorno 2 settembre 1965 (che ha concorso alla piena eccezionale del Tevere a Roma del 3 settembre 1965) è messa a confronto con le altre maggiori 10 piogge ragguagliate di un giorno avvenute nel bacino del Tevere a Roma nel periodo 1871-2020 (da Bersani e Palmieri 2004, aggiornato).

Se poi si considerano le 24 ore consecutive più piovose (non necessariamente coincidenti col giorno pluviometrico, dalle ore 9 alle ore 9 del giorno seguente) il valore di 102,4 mm del 2 settembre 1965 è stato probabilmente ancora più elevato e quindi più vicino al valore della PMP calcolato di 123 mm.

menzionata piena del Tevere a Roma il giorno 3 settembre, sono state messe a confronto in Tab.32, con le altre maggiori 10 piogge ragguagliate di 6 giorni avvenute nel bacino del Tevere a Roma antecedenti il colmo di piena, nel periodo 1871-2020 (da Bersani e Palmieri 2004, aggiornato).

Evento di piena	Piogge determinati di 6 giorni il colmo di piena (mm)	Data della piena	Piogge determinati di 6 giorni il colmo di piena (mm)
3 settembre 1965	194,2	27 febbraio 1984	128,8
19 novembre 1975	146,1	16 novembre 1878	127,1
1 novembre 1873	142,1	2 dicembre 2010	127,3
20 novembre 1962	138,2	9 dicembre 1992	127,0
17 dicembre 1937	129,2	19 novembre 1929	125,8

Tab.32– Maggiori piogge ragguagliate nel bacino del Tevere a Roma (16.545 km²) nei sei giorni precedenti il colmo di piena nel periodo 1871-2020 (da Bersani e Palmieri 2004, aggiornato).

Su base storica quindi il valore massimo misurato dal 1871 al 2020 della pioggia nel bacino del Tevere a Roma in 6 giorni è quindi di circa 200 mm, avvenute nell'evento del settembre 1965. In realtà in questo evento si è avuta una pioggia (determinante) di oltre 191 mm nei soli 3 giorni precedenti il colmo di piena.

È importante notare come sia nel caso della pioggia massima di un giorno che nel caso della pioggia di 6 giorni precedenti il colmo di piena, i valori più elevati siano relativi all'evento di piena del 3 settembre 1965, confermando così l'assoluta eccezionalità della pioggia in tale evento, dove tra l'altro oltre al record della pioggia giornaliera nell'intero bacino il 2 settembre, anche la pioggia del successivo giorno 3 settembre è tra i primi 10 casi di pioggia giornaliera riportati nella Tab.31.

Le piogge determinanti l'evento di piena del settembre 1965, per la loro intensità, devono essere considerate piogge con tempi di ritorno plurisecolari.

Le piogge determinanti in tale evento sono probabilmente paragonabili alle piogge che hanno determinato l'8 ottobre 1530 e il 15 settembre 1557 le due massime altezze idrometriche del Tevere a Roma (vedi Tab.30), dopo la massima altezza di piena di sempre del dicembre 1598, con altezze al colmo a Ripetta rispettivamente di 18,95 m (anno 1530) e di 18,90 m (anno 1557). Secondo recenti vedute (Trigo, 1999 e 2002) infatti il periodo estivo, dal punto di vista della cornice climatica del Mediterraneo, si può considerare esteso da giugno fino ad ottobre. Nella piena del 15 settembre 1557 il Tevere, tra l'altro, rettificò il suo corso tagliando un meandro all'altezza di Ostia antica.

In particolare il settembre 1557 è stato assai piovoso in tutta Italia perché ha provocato grandi inondazioni anche in Toscana e in Sicilia. In Toscana la piena dell'Arno allagò due terzi della città di Firenze, crollarono quasi tutti i ponti (Ponte vecchio rimase in piedi) e fu raggiunto il massimo livello idrometrico, secondo soltanto alla la piena del 4 novembre 1966, come testimoniano mol-

te lapidi nella città. Nella città di Grosseto strariparono le acque del fiume Ombrone (Bellotti et alii, 1999) e la Famiglia Medici, a seguito di questo evento, fedè costruire un argine in riva destra di questo fiume da Grosseto fino al mare, nell'area della Trappola. In Sicilia il torrente Cannizzaro (Associazione Idrotecnica Italiana, 1987) causò il giorno 27 settembre la grande alluvione di Palermo.

Il settembre dell'anno 1557 è stato preceduto da un anno molto freddo. Infatti nella tarda primavera del 1556 è documentata la neve a bassa quota nel mese di maggio subito ad est del bacino del Tevere nelle Marche. Infatti un graffito nella chiesa di Santa Maria della Rocca nel comune di Offida in provincia di Ascoli Piceno testimonia questa importante anomalia meteorologica.

10. Change point climatici osservati nel bacino del Tevere e previsione del clima futuro.

Nel corso dei secoli il clima nell'Italia centrale, dove è ubicato il bacino del Tevere, è variato in maniera irregolare. Nell'area mediterranea (Guarneri, 2022) è riconosciuto dalla fondazione di Roma un periodo freddo e umido (753 a.C. – 253 a.C. circa), seguito da un periodo caldo (Optimum climatico romano) compreso, a seconda degli autori, tra il 250-200 a.C. e il 250-400 d.C. In tale periodo i ghiacciai alpini sono notevolmente arretrati e la coltivazione della vite e dell'olivo è arrivata fino al Nord Europa. Il nord Africa, in particolare l'Egitto, era il granaio dell'Impero Romano. Circa nel 550 d.C. tre importanti episodi vulcanici, avvenuti in varie parti del pianeta, con l'immissione di grandi quantità di ceneri nell'atmosfera hanno probabilmente abbassato la temperatura dell'intero globo terrestre.

Inoltre Roma sin dalla sua fondazione ha iniziato una deforestazione, dapprima nel territorio della penisola italiana e poi nel periodo imperiale nel nord Africa per avere terreni da destinare all'agricoltura, per avere il legname che serviva ad alimentare i grandi impianti termali e per costruire le abitazioni in città sempre più grandi in tutto l'Impero e infine per costruire un numero sempre crescente di navi da guerra e per il trasporto delle merci. La deforestazione ha portato ad un cambiamento climatico nell'area mediter-

anea, con una riduzione delle precipitazioni soprattutto estive. La deforestazione infatti aumenta l'albedo e fa diminuire l'evapotraspirazione, causando una diminuzione dell'umidità dell'aria e quindi delle precipitazioni. Il nord Africa ha poi subito un processo di desertificazione accelerato dalla conquista araba dalla fine del VII secolo d.C. Infatti gli Arabi avevano al loro seguito un gran numero di greggi di ovini, che nutrendosi di piante in maniera meno selettiva rispetto ai bovini, impedivano alla vegetazione di svilupparsi e rigenerarsi.

Pinna, 1996 e poi Ortolani e Pagliuca, 2004 hanno riconosciuto in Italia ed anche in Europa un periodo caldo medievale (880 – 1200 d.C.) e una fase fredda, denominata "Piccola età glaciale" circa dal 1500 al 1850. Nel gennaio 1709, l'Europa settentrionale fu investita da un'ondata di gelo proveniente dalla Siberia, che giunse in Gran Bretagna e in Francia, dove Parigi restò isolata per mesi; in Italia si ghiacciarono il lago di Garda e la laguna di Venezia, inoltre nella pianura veneta le temperature scesero fino a -18°C .

Per quanto riguarda il Tevere nel periodo caldo medievale vi sono stati pochi eventi alluvionali del fiume a Roma rispetto al successivo periodo freddo, in particolare cinquecentesco, dove si sono avute, come già visto, le maggiori altezze idrometriche mai regi-

strate a Ripetta (vedi Tab.30) con 4 eventi - dal 1530 al 1606 - con altezza superiore a 18 m, tra cui il massimo evento (anno 1598) con altezza superiore a 19 m. La vicinanza nel tempo di 4 eventi così eccezionali può in parte essere spiegata, oltre che per motivi antropici (condizioni precarie dell'alveo del fiume), anche col fatto che sono avvenuti nel periodo freddo 1500-1850 della "Piccola età glaciale" prima citata, in cui anche la piovosità, in taluni periodi, è stata probabilmente molto maggiore di quella media.

Cambiamenti climatici con variazioni di piovosità e temperatura, individuati da change point climatici, sono riconosciuti a intervalli di tempo secolari e irregolari ma anche a intervalli di tempo molto più brevi.

Migliardi et alii, 2008 hanno individuato nel bacino del Tevere un change point climatico agli inizi degli anni '80 del secolo scorso.

Infatti Migliardi et alii, 2008 hanno condotto una indagine basata su una statistica non parametrica (Petit, 1979 e Rodionov, 2005)

per lo studio dei trend e dei change point nella storia idrometeorologica del bacino del Tevere.

Si riportano di seguito brevemente i risultati ottenuti da Migliardi, 2008 con Petit, 1979, che sono coincidenti con i risultati ottenuti con il metodo CUSUM (Rodionov, 2005).

Le grandezze prese in considerazione da Petit, 1979 sono in particolare:

- I deflussi annuali D alla stazione di Roma Ripetta;
- Le temperature media TMO del semestre maggio-ottobre nell'intero bacino;
- Gli afflussi nel semestre novembre-aprile (Ana) nell'intero bacino;

L'analisi è stata svolta dal 1948 al 2005, pur essendoci disponibili i dati dal 1920, perché dal 1948 ha inizio la climatologia virtuale detta "rianalisi" derivata da modelli di circolazione atmosferica (Kalney, 1996).

Nella Fig.31 e nella Fig.32 la funzione Xp identifica il change point climatico con il suo massimo o minimo. Le basi teoriche si trovano in Pettitt, 1979.

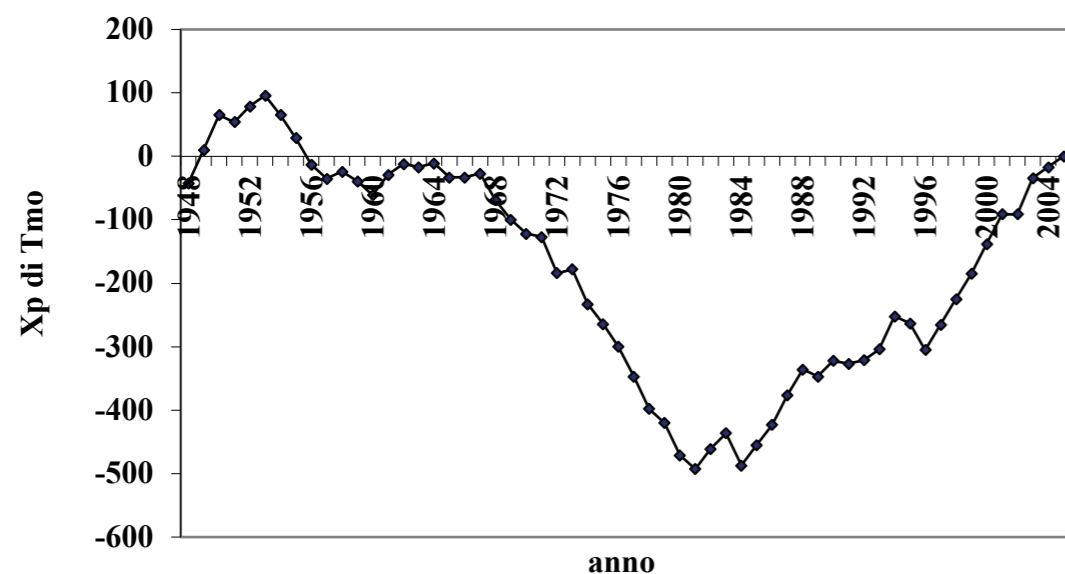


Fig.31 - Andamento della funzione Xp di Pettitt per la grandezza Tmo, da Migliardi et alii, 2008

Xp per D ed Ana

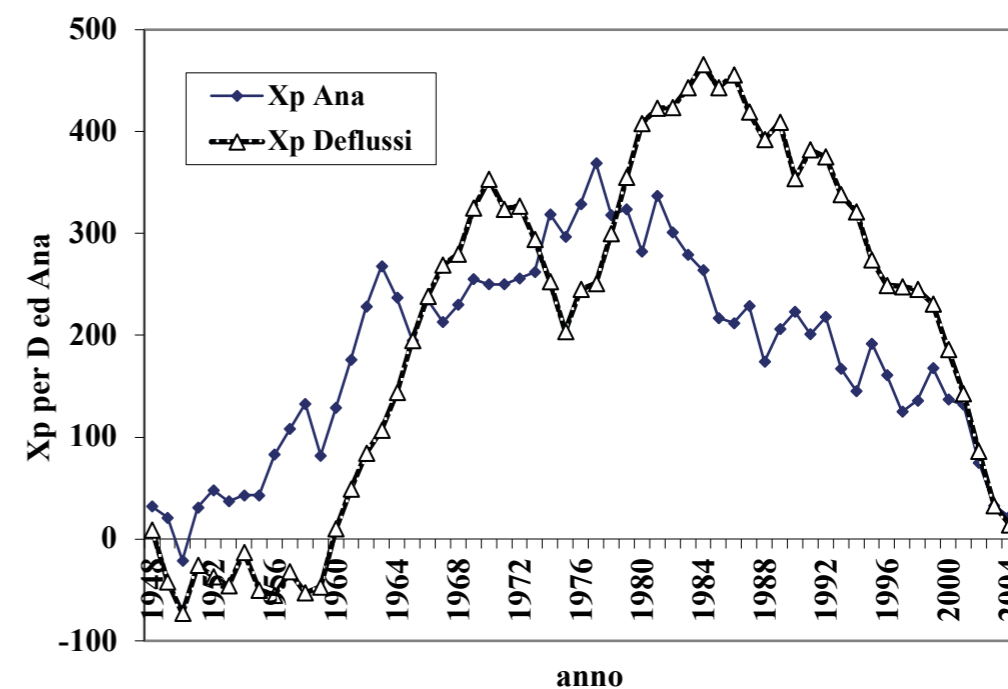


Fig.32 - Andamento della funzione Xp di Pettitt per i deflussi D e per gli afflussi novembre aprile (Ana), da Migliardi et alii, 2008

Nella Fig.31 si nota che l'andamento della funzione Xp di Pettitt per la variabile Tmo presenta un minimo intorno all'anno 1980; la Fig.32 mostra un massimo della funzione Xp per i deflussi intorno all'anno 1984 e, per gli afflussi novembre aprile Ana, intorno all'anno 1978.

I deflussi annuali del Tevere alla stazione idrometrica di Roma Ripetta hanno cominciato a presentare un trend negativo a partire dal periodo 1984-1986. E' dunque presumibile che il bacino, dopo un congruo periodo (4-6 anni circa), abbia risposto a due fattori indipendenti: la diminuzione delle precipitazioni nel semestre freddo e l'aumento della temperatura dell'aria nel seme-

stre maggio-ottobre. Entrambi questi trend si sono consolidati intorno al 1980, che appare così un change point climatico di notevole importanza, identificato da due metodi di indagine (CUSUM, 2005 e Pettitt, 1979). E' opportuno tener presente che questo cambiamento climatico non ha affatto carattere locale, ma costituisce una caratteristica ben identificata degli andamenti delle grandezze meteorologiche sull'intero emisfero nord sia pure con intensità diverse in vari settori (Trenberth, 1990).

Non mancano alcune evidenze locali di questa variazione climatica (change point) sia a livello di territorio nazionale sia all'interno del bacino del Tevere:

- Palmieri et alii, 2004 hanno individuato, studiando il clima dell'Italia dal 1950 al 2002, un change point intorno al 1980 quando è iniziato un deciso aumento della temperatura in Primavera, dopo che vi era stato un periodo freddo primaverile dalla metà del '900 fino al 1980. Contemporaneamente si è registrato per la piovosità un periodo con precipitazioni medie primaverili più elevate dal 1948 al 1980 e un periodo relativo agli anni successivi fino al 2002, con piogge meno abbondanti.

- nel novembre 1985 (Palmieri et alii, 2005) a seguito di una pioggia ragguagliata nel bacino del Tevere fino a Roma di oltre 100 mm nei sei giorni precedenti il giorno 20 novembre (vedi Tab.7bis) si è registrata una portata al colmo alla stazione di Roma Ripetta inferiore a 500 m³/s, pur avendo il serbatoio di Corbara immagazzinato in tale evento una quantità d'acqua assai modesta. Mentre in tutti gli altri casi studiati dal 1870 al 2000 (Bersani e Bencivenga, 2001) e nel corso del presente lavoro fino al 2020, in qualsiasi stagione siano avvenuti gli eventi di piena, ad una pioggia ragguagliata di 100 mm nei 6 giorni nell'intero bacino del Tevere, ha invece corrisposto a Roma una portata al colmo dell'ordine almeno di 1.200 m³/s.

- Nei Colli Albani, ubicati al margine sud-orientale del bacino del Tevere, si è manifestata una crisi idrica con l'abbassamento dei livelli dei laghi di Albano e Nemi che è iniziata intorno al 1980 (Regione Lazio, 1999) fino a giungere, per il lago di Albano, alla crisi definitiva dell'anno 1996 (Cappelli et alii, 2005), dal quale anno il livello

del lago non risponde più in tempi brevi alle precipitazioni dirette sul bacino. Ciò è presumibilmente conseguenza dell'aumento delle temperature nel periodo maggio-ottobre iniziato negli anni '80, che ha provocato sia un aumento dei prelievi di acque sotterranee in risposta alla accresciuta domanda sia all'aumento dell'evaporazione dalle superfici dei laghi. Bisogna però tener conto che alla crisi definitiva del 1996 ha anche concorso l'aumento dei prelievi di acqua sotterranea da nuovi pozzi soprattutto per uso idropotabile, dovuto all'aumento nel tempo della popolazione residente.

Più recentemente un altro breve periodo di tempo in cui si può forse individuare un clima diverso dalla tendenza generale è il quinquennio 2010-2015, dove dalla Tab.7 si evince che vi sono stati 6 eventi di piena con portata al colmo $Q_c \geq 1.400$ m³/s, di cui ben 2 "eccezionali" con portata "naturale" al colmo $Q_c \geq 2.000$ m³/s.

Ai cambiamenti climatici naturali attualmente si sovrappongono gli effetti dei cambiamenti climatici provocati dall'uomo, a causa dell'inquinamento atmosferico che ha provocato un aumento dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera. L'aumento dell'anidride carbonica causa infatti un aumento della temperatura, che a livello globale, provoca lo scioglimento dei ghiacciai e l'innalzamento del livello marino. Fenomeno quest'ultimo che si comincia a presentare anche nel bacino del Mediterraneo.

Palmieri et alii, 2007 hanno fatto un tentativo di previsione del clima nel bacino del

Tevere alla fine del XXI secolo, a partire dal clima "sperimentato" nel periodo 1960-1990 utilizzando il modello di simulazione HadCM3 dell'Hadley Center del Met Office britannico (Gordon, 2000; Pope, 2000) nell'ipotesi di un aumento contenuto, ma non contrastato, di gas serra; questi ricerca-

tori evidenziano un forte aumento delle temperature estive da maggio ad ottobre (Tmo) ed una diminuzione delle precipitazioni nel semestre da novembre ad aprile (Ana) sull'Italia centrale. La proiezione climatica che ricavano è sintetizzata nella Tab. 33.

Periodo	Clima sperimentato	Proiezione climatica
	1960-1990	2070-2100
Afflussi (mm/anno)	1050	868
Ana (mm/semestre)	480	425
Tmo (°C)	20,0	24,6
Deflussi calcolati (mm/anno)	447	236
Deflussi osservati (mm/anno)	425	---

Tab.33 – Ipotetica situazione nel bacino del Tevere verso la fine del XXI secolo (da Palmieri, 2007)

La storia idrometeorologica del Tevere degli ultimi 50 anni (1960-2010 circa) ha messo in evidenza che a partire dagli anni '70 del secolo scorso, l'aumento della temperatura del semestre da maggio a ottobre, determinando un aumento dell'acqua perduta per evapotraspirazione naturale e per attività umane (agricoltura irrigua, invasi, industrie), ha provocato con il concomitante concorso della diminuzione degli afflussi meteorici, una diminuzione dei deflussi. Le tendenze evolutive derivate dalla storia precedente del clima confermano il trend estivo della

temperatura come statisticamente significativo (Palmieri et alii, 2004). Nel contempo le proiezioni climatiche descritte dal modello HadCM3 identificano per il futuro un trend crescente anche per la temperatura del semestre da maggio a ottobre.

Pur con la dovuta prudenza (Palmieri et alii, 2007), lo scenario a lungo termine del Tevere che al momento si prospetta come più probabile è quello che prevede apprezzabili diminuzioni dei deflussi nel corso del tempo.

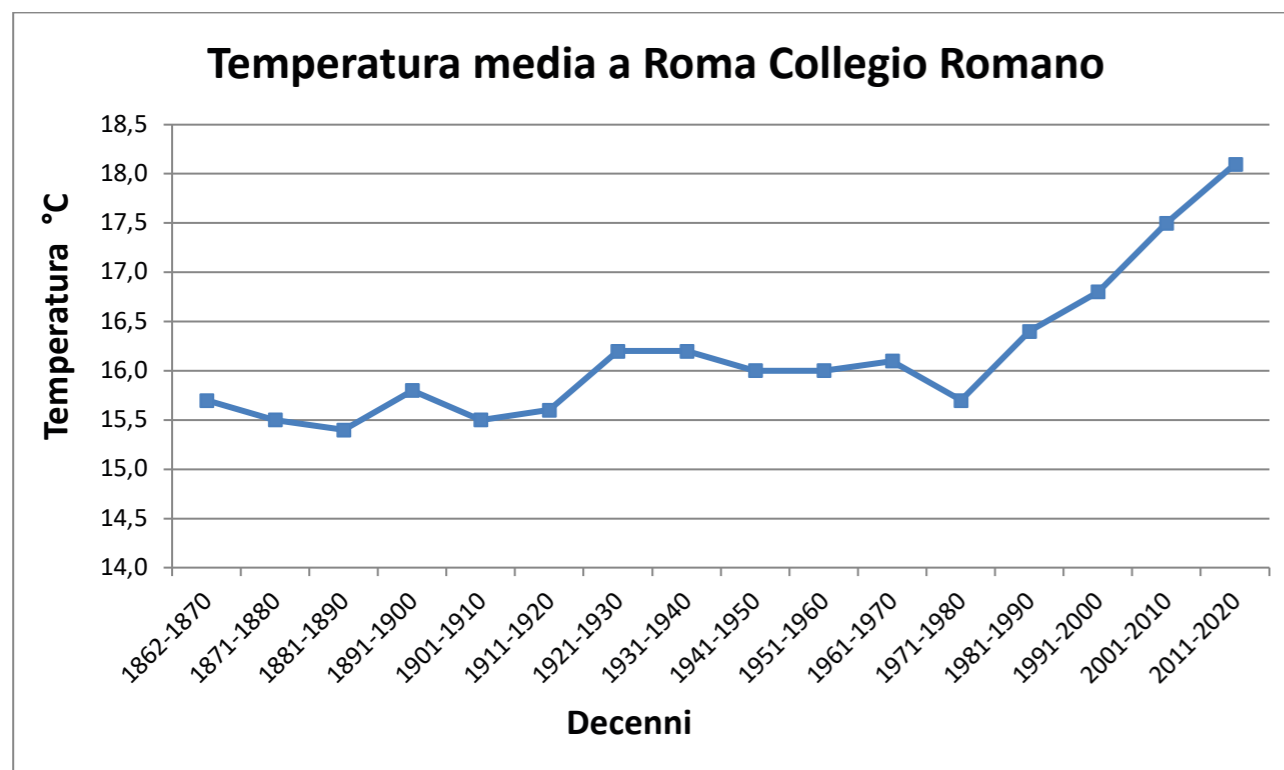


Fig. 33 – Temperatura media a Roma Collegio Romano per decenni dal 1862 al 2020

Nella Fig.33 è riportato il grafico per decenni dal 1862 al 2020 della temperatura media alla stazione di Roma Collegio Romano, nel centro della città, pur tenendo conto che le città si comportano come “isole di calore”. Nella Tab.34 sono invece riportati gli stessi dati in forma tabellare. Dal grafico si evince che dal 1862 al 1920 la temperatura media si è mantenuta costante intorno ai 15,5°C. Dal 1921 al 1970 la temperatura è salita di circa 0,5 °C attestandosi a 16°C. Nei decenni successivi al 1970 la temperatura ha iniziato decisamente a crescere in maniera rapida e continua arrivando alla temperatura media di 18°C nell’ultimo decennio 2010-2020. Lo stesso grafico è riportato, ma con i valori annuali della temperatura media è riportato nel grafico di Fig.34. La Tabella completa dei dati annuali è riportata nella Tab.35.

I dati della Temperatura media annuale dal 1862 al 2003 provengono da CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria) ex UCEA (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria). I dati mancanti nelle serie prese in considerazione sono stati ricostruiti dal Prof. Maugeri dell’Istituto di Fisica Generale Applicata di Milano, che ha quindi validato i dati fino al 2003.

I dati della Fig.34 dal 2004 al 2020 provengono invece dalla Stazione del Collegio Romano del Servizio Idrografico regionale del Lazio, ubicata nello stesso sito, dove le serie dei dati sono continue. Per il solo anno 2004, 20 giorni tra maggio e giugno in cui non aveva funzionato lo strumento regionale i dati sono stati integrati coi i dati dello strumento della CREA della stessa stazione di Roma Collegio Romano.

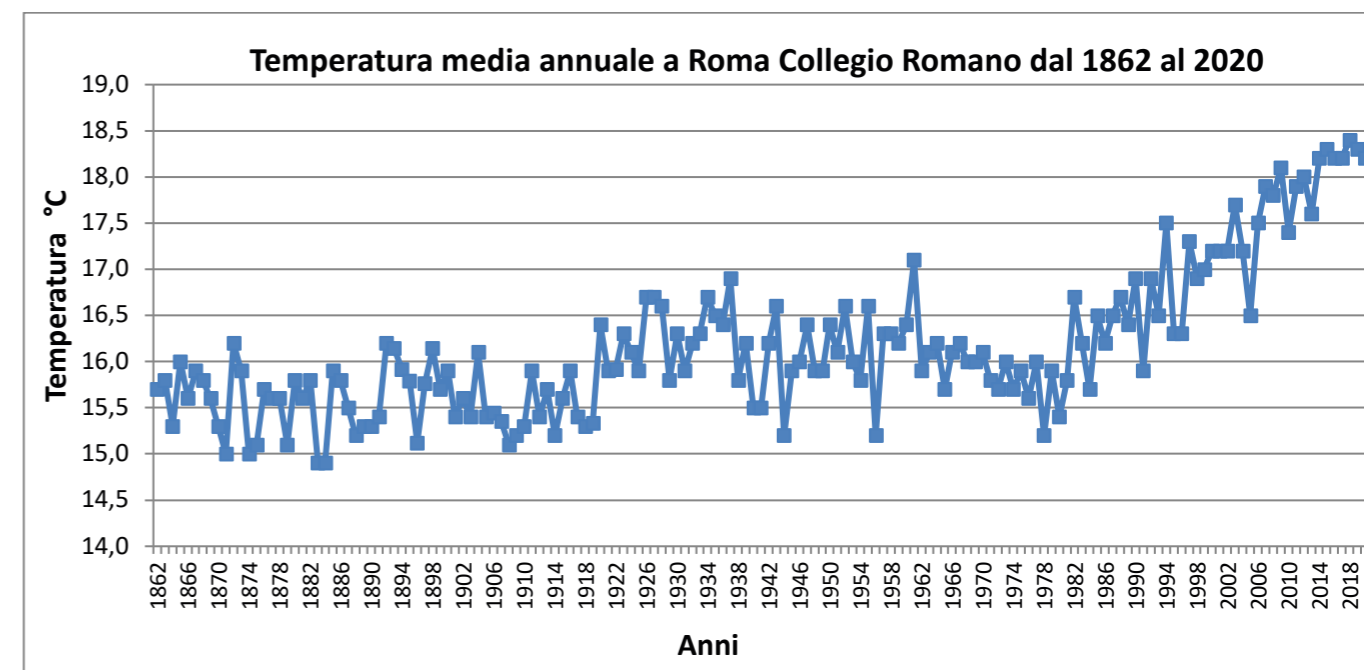


Fig.34 – Temperatura media annuale a Roma Collegio Romano dal 1862 al 2020

Decennio	Temperatura media
1862-1870	15,7
1871-1880	15,5
1881-1890	15,4
1891-1900	15,8
1901-1910	15,5
1911-1920	15,6
1921-1930	16,2
1931-1940	16,2
1941-1950	16,0
1951-1960	16,0
1961-1970	16,1
1971-1980	15,7
1981-1990	16,4
1991-2000	16,8
2001-2010	17,5
2011-2020	18,1

Tab. 34 – Temperatura media a Roma Collegio Romano per decenni dal 1862 al 2020

Anno	Tmed (°)	Anno	Tmed (°)	Anno	Tmed (°)	Anno	Tmed (°)
1862	15,7	1902	15,6	1942	16,2	1982	16,7
1863	15,8	1903	15,4	1943	16,6	1983	16,2
1864	15,3	1904	16,1	1944	15,2	1984	15,7
1865	16,0	1905	15,4	1945	15,9	1985	16,5
1866	15,6	1906	15,4	1946	16,0	1986	16,2
1867	15,9	1907	15,4	1947	16,4	1987	16,5
1868	15,8	1908	15,1	1948	15,9	1988	16,7
1869	15,6	1909	15,2	1949	15,9	1989	16,4
1870	15,3	1910	15,3	1950	16,4	1990	16,9
1871	15,0	1911	15,9	1951	16,1	1991	15,9
1872	16,2	1912	15,4	1952	16,6	1992	16,9
1873	15,9	1913	15,7	1953	16,0	1993	16,5
1874	15,0	1914	15,2	1954	15,8	1994	17,5
1875	15,1	1915	15,6	1955	16,6	1995	16,3
1876	15,7	1916	15,9	1956	15,2	1996	16,3
1877	15,6	1917	15,4	1957	16,3	1997	17,3
1878	15,6	1918	15,3	1958	16,3	1998	16,9
1879	15,1	1919	15,3	1959	16,2	1999	17,0
1880	15,8	1920	16,4	1960	16,4	2000	17,2
1881	15,6	1921	15,9	1961	17,1	2001	17,2
1882	15,8	1922	15,9	1962	15,9	2002	17,2
1883	14,9	1923	16,3	1963	16,1	2003	17,7
1884	14,9	1924	16,1	1964	16,2	2004	17,2
1885	15,9	1925	15,9	1965	15,7	2005	16,5
1886	15,8	1926	16,7	1966	16,1	2006	17,5
1887	15,5	1927	16,7	1967	16,2	2007	17,9
1888	15,2	1928	16,6	1968	16,0	2008	17,8
1889	15,3	1929	15,8	1969	16,0	2009	18,1
1890	15,3	1930	16,3	1970	16,1	2010	17,4
1891	15,4	1931	15,9	1971	15,8	2011	17,9
1892	16,2	1932	16,2	1972	15,7	2012	18,0
1893	16,1	1933	16,3	1973	16,0	2013	17,6
1894	15,9	1934	16,7	1974	15,7	2014	18,2
1895	15,8	1935	16,5	1975	15,9	2015	18,3
1896	15,1	1936	16,4	1976	15,6	2016	18,2
1897	15,8	1937	16,9	1977	16,0	2017	18,2
1898	16,1	1938	15,8	1978	15,2	2018	18,4
1899	15,7	1939	16,2	1979	15,9	2019	18,3
1900	15,4	1940	15,5	1980	15,4	2020	18,2
1901	15,4	1941	15,5	1981	15,8		

Tab.35 - Temperatura media annuale a Roma Collegio Romano dal 1862 al 2020

Gli scenari nel bacino del Tevere prima descritti della tendenza alla crescita della temperatura del semestre da maggio a ottobre (Palmieri et alii, 2004) e di apprezzabili diminuzioni dei deflussi nel corso del tempo (Palmieri et alii, 2007) sono confermati dalla storia climatica recente e sono tuttora in corso.

Nel bacino del Tevere il clima degli ultimi anni, infatti, con l'aumento delle temperature medie annuali (Tab.35), con la diminuzione della piovosità sia annuale (Figg. 16 e 17) che nel semestre da novembre ad aprile ed anche con la diminuzione dei livelli idrometrici e delle portate liquide, conferma pienamente la tendenza del clima secondo le previsioni del Prof. Palmieri della Tab.33. La proiezio-

ne per il periodo 2070-2100, rispetto al clima osservato nel periodo 1960-1990, fornisce una temperatura media annua di 24,6°C (superiore di oltre 4°C), una forte diminuzione delle precipitazioni (circa il 20%) e quasi un dimezzamento dei deflussi. Risulta quindi più che evidente la necessità di intervenire urgentemente per contrastare l'aumento della temperatura a livello globale, che è la causa principale del cambiamento climatico in corso.

Nella Fig. 35 infine sono stati messi a confronto per l'intero periodo 1862-2020, di cui si dispongono i dati: la piovosità annuale a Perugia e a Roma con le massime altezze idrometriche annuali alla stazione di Roma Ripetta.

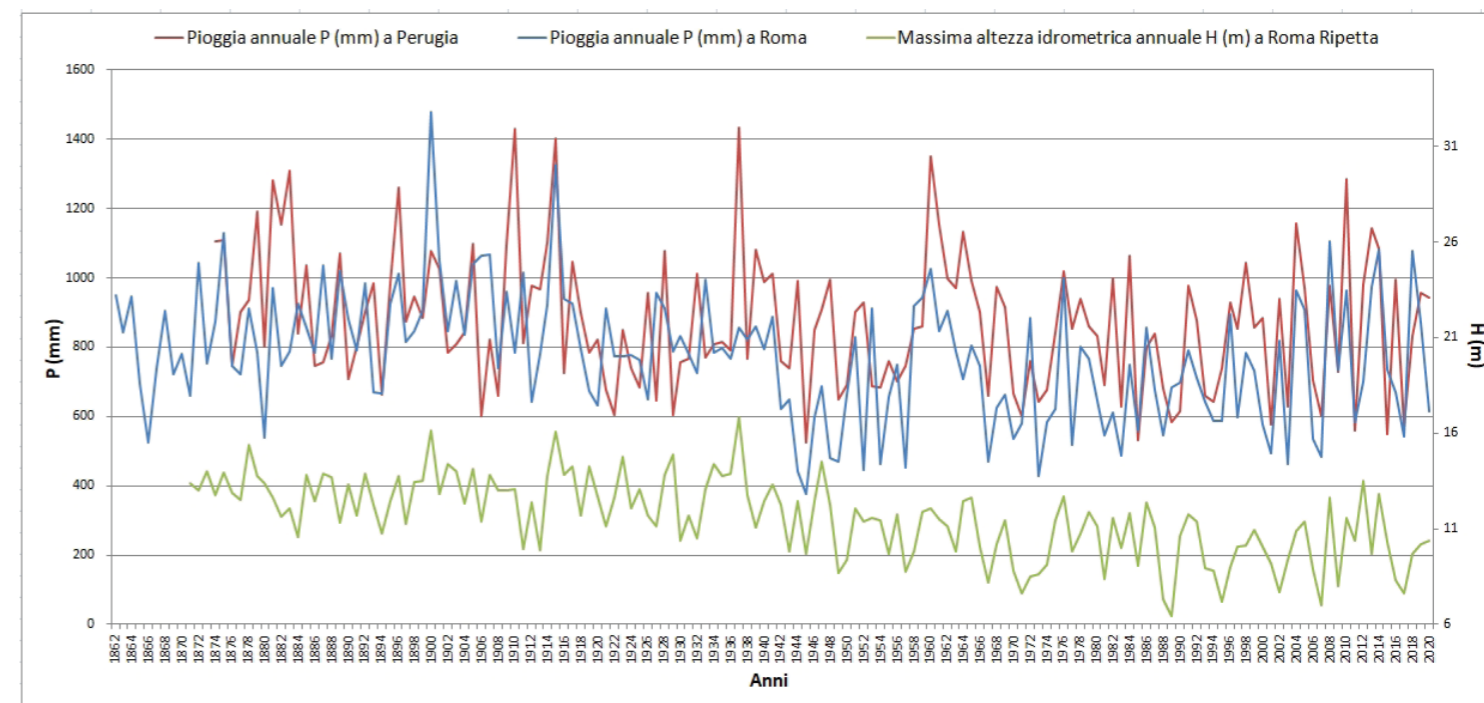


Fig.35 – Piovosità annuale a Roma e a Perugia e massime altezze idrometriche annuali alla stazione di Roma Ripetta dal 1862 al 2020

11. Ruolo dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione negli eventi di piena

Palmieri et alii, 2005 hanno approfondito il ruolo dell'evapotraspirazione negli eventi di piena del Tevere, studiando i 25 eventi di piena (Tab.36) nei 40 anni dal 1959 al 1999 con portata al colmo $Q_c \geq 1.400 \text{ m}^3/\text{s}$, tra cui è stato inserito l'evento "particolare" del 20 novembre 1985 (Tab.7bis), già ricordato, perché ad una pioggia media di circa 100 mm nell'intero bacino nei sei giorni precedenti, ha corrisposto a Roma Ripetta il giorno 20 novembre una portata inferiore a $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Data e ora del colmo	Altezza al colmo (m)	Portata al colmo Q_c (m^3/s)	Data Q_{med} giornal. massima	Portata media giornal. Q_{med} (m^3/s)
09,00 del 03/12/1959	11,75	1400	03 dicembre 1959	1180
06,00 del 26/12/1959	11,88	1400	26 dicembre 1959	1307
23,00 del 23/12/1960	12,10	1400	23 dicembre 1960	1380
19,00 del 06/01/1961	12,10	1400	06 gennaio 1961	1390
06,00 del 30/12/1964	12,46	1550	30 dicembre 1964	1520
18,00 del 03/09/1965	12,65	1600	03 settembre 1965	1562
06,00 del 06/02/1969	11,30	1550	06 febbraio 1969	1507
11,00 del 17/02/1969	11,43	1600	17 febbraio 1969	1544
11,00 del 19/11/1975	11,46	1500	19 novembre 1975	1425
02,00 del 17/02/1976	12,72	2050	17 febbraio 1976	2004
07,00 del 16/04/1978	10,74	1400	16 aprile 1978	1341
12,00 del 18/02/1979	11,90	1650	18 febbraio 1979	1601
19,00 del 16/01/1980	10,76	1450	17 gennaio 1980	1402
21,00 del 07/11/1980	11,10	1500	08 novembre 1980	1500
11,00 del 15/11/1980	10,83	1450	15 novembre 1980	1380
06,00 del 24/12/1982	11,55	1600	23 dicembre 1982	1450
06,00 del 27/02/1984	11,81	1750	27 febbraio 1984	1650
----- del 20/11/1985	6,27	300	19 novembre 1985	300
02,00 del 03/02/1986	12,40	1900	02 febbraio 1986	1850
16,00 del 27/11/1987	10,70	1400	27 novembre 1987	1350
22,00 del 10/12/1987	11,08	1500	10 dicembre 1987	1400
21,00 del 10/12/1990	10,63	1400	11 dicembre 1990	1236
21,00 del 22/11/1991	11,77	1600	22 novembre 1991	1563
02,00 del 09/12/1992	11,39	1550	09 dicembre 1992	1533
20,00 del 17/12/1999	10,95	1500	17 dicembre 1999	1360

Tab.36 – I 25 eventi di piena nel periodo 1959-99 studiati da Palmieri et alii, 2005

Palmieri et alii, 2005 hanno dimostrato che esiste una relazione tra la portata al colmo delle piene a Roma e le piogge tra i 60 e i 120 giorni precedenti. Le piogge tra i 60 e i 120 giorni precedenti un evento di piena costituiscono "le condizioni di umidità del suolo" antecedenti l'evento di piena.

La Fig.36, relativa ai 16 eventi con la portata al colmo maggiore del periodo 1959-1999 della Tab.36, indica che le maggiori piene del Tevere a Roma tendono ad essere associate con anomalie positive di piovosità nel terzo mese precedente l'evento di piena.

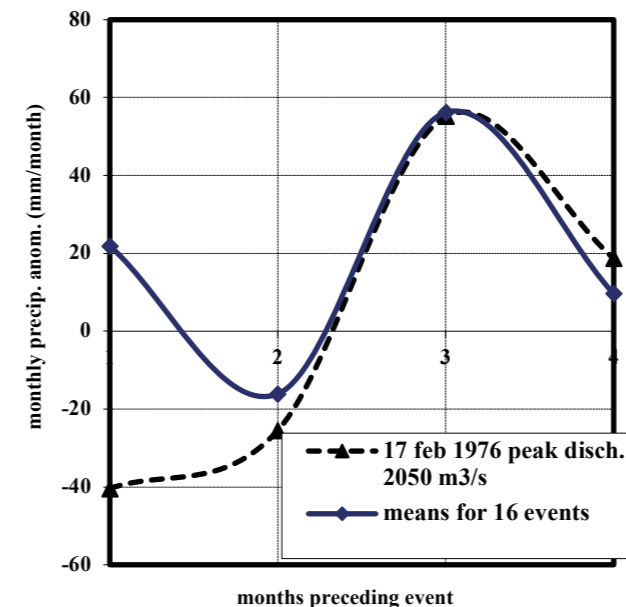


Fig.36 - Anomalie della precipitazione mensile (mm/mese) nei mesi precedenti gli eventi di piena; valore medio per i 16 maggiori eventi e per l'evento maggiore del 17 feb 1976 (da Palmieri, 2005)

Si ha una conferma sperimentale che le piogge del terzo mese precedente la piena hanno una importanza fondamentale per il verificarsi di una piena eccezionale del Teve-

re a Roma (H_c a Ripetta $> 16 \text{ m}$) anche da piene più antiche rispetto a quelle esaminate nella Tab.36. Infatti Bersani, 2004 riporta che la piena eccezionale del 10 dicembre 1846 (H_c a Ripetta $> 16,25 \text{ m}$) è stata preceduta da una piena ordinaria il 25 ottobre 1846, la piena eccezionale del 2 dicembre 1900 (H_c a Ripetta = $16,25 \text{ m}$) è stata preceduta da una piena ordinaria ($H_c = 12,36 \text{ m}$) il 24 ottobre 1900 e infine la piena eccezionale del 17 dicembre 1937 (H_c a Ripetta = $16,17 \text{ m}$) stata preceduta da una piena ordinaria ($H_c = 12,70 \text{ m}$) il 9 ottobre 1937.

Di seguito si fornisce qualche informazione sul bilancio idrologico durante gli eventi di piena tratta da Palmieri et alii, 2005, rimandando ad una lettura del documento completo per una migliore comprensione del fenomeno.

La frazione di precipitazione che si trasforma in ruscellamento (pioggia netta) e che, in presenza di altre circostanze favorevoli, dà luogo ad un evento di piena, dipende dalla capacità del suolo di assorbire una parte dell'apporto meteorico (infiltrazione). Questa proprietà è funzione di parecchi parametri tra cui la permeabilità e la struttura fisica del terreno, la vegetazione esistente, le precipitazioni eventualmente occorse nei giorni che precedono gli eventi critici ed infine la storia meteorologica a più lungo termine (settimane - mesi). Quest'ultima ha condizionato le perdite per evapotraspirazione (evaporazione diretta dalla superficie e/o attraverso la mediazione delle piante).

La relazione empirica tra pioggia e portata aumenta apprezzabilmente quando si considera la pioggia netta. Inoltre, l'introdu-

zione di una correzione per tener conto delle condizioni di umidità del suolo nel periodo antecedente (Colosimo et al.,1993) a quello che influenza direttamente l'evento, perfe-

zione ulteriormente i risultati, come mostra la seguente Tab.37. Si ricorda che un coefficiente di correlazione è significativo quando raggiunge almeno il valore di 0,50.

Sottobacino	(a) Pioggia cumulata nei 6 giorni precedenti l'e- vento	(b) Pioggia netta (6 giorni) senza tener conto delle condizioni antecedenti	(c) Pioggia netta (6 giorni) tenendo conto delle condizioni antecedenti
Tevere a Corbara	0,26	0,65	0,71
Paglia + basso Tevere	0,31	0,70	0,74
Nera	0,10	0,57	0,50
Aniene	0,32	0,56	0,57

Tab.37 - Coefficienti di correlazione tra la portata al colmo del Tevere a Roma-Ripetta e la pioggia cumulata nei 6 giorni precedenti l'evento (a); la pioggia netta ottenuta *senza* considerare l'influenza delle condizioni meteorologiche antecedenti (b); la pioggia netta ottenuta *considerando* l'influenza delle condizioni meteorologiche antecedenti (c). I valori in corsivo sono statisticamente significativi (da Palmieri et alii, 2005).

La cessione di acqua all'atmosfera (Palmieri et alii, 2005) per evaporazione sia diretta che con la mediazione delle piante costituisce, su base annuale, una perdita molto rilevante. Nel caso del bacino del Tevere essa supera il 60% degli afflussi meteorici. E' anche necessario tener presente che il grande aumento in corso nell'impiego dell'acqua per irrigazione, dà luogo ad un incremento del ciclo idrologico con diminuzione del ruscellamento ed aumento apprezzabile dell'evapotraspirazione.

L'evapotraspirazione su base annuale è stata studiata con il metodo di Jensen-Haise (Jensen, 1990). Nella parte nord e nord-occidentale del bacino del Tevere è stimata tra 1,8 e 3,0 mm/giorno, mentre nei sottobacini più permeabili (Nera ed Aniene) nella parte

orientale e sud-orientale del bacino l'evapotraspirazione è minore (circa 1 mm/giorno).

Nella Tab.38 per i 4 sottobacini principali della fig.2 (Palmieri, 2005) sono riportate le percentuali di uso del suolo dedotte dalla carta dell'uso del suolo elaborata secondo il progetto CORINNE LAND COVER del 1993, che si è basata sulla foto interpretazione al computer delle immagini riprese dal satellite Landsat nel 1993. Sono state trascurate le superfici ricoperte da acque continentali (fiumi e laghi) perché costituiscono percentuali irrilevanti, eccetto che nel sottobacino dell'alto Tevere, dove la presenza dei bacini lacustri del Trasimeno e del lago di Corbara eleva tale percentuale a circa il 2% del sottobacino.

Sottobacino principale	Km ²	Seminativo (%)	Frutteto (%)	Bosco (%)	Pascolo (%)	Urbanizzato (%)	Totale (%)
I - Paglia e basso Tevere	5.343	35	15	25	5	20	100
II - Tevere a Corbara	6.077	48	2	40	6	4	100
III - Nera	4.290	15	2	53	25	5	100
IV - Aniene	1.446	20	15	45	15	5	100
Intero bacino	17.156	33,3	7,1	39,0	11,2	9,3	100

Tab. 38 – I principali 4 sottobacini del Tevere con il relativo uso del suolo

Nella Tab.39 è riportata la stima dell'evapotraspirazione, durante gli eventi piovosi di 6 giorni precedenti il colmo di piena, nei 4 principali sottobacini del Tevere, riportati in Fig.2, assumendo che il 50% della pioggia intercettata dalla vegetazione venga evaporata.

Sottobacino	Area (km ²)	Evapotraspirazione (mm/giorno)
Tevere a Corbara	6.077	0,8
Paglia + Basso Tevere	5.343	0,8
Nera	4.290	2,9
Aniene	1.446	3,1

Tab.39 – Evapotraspirazione durante gli eventi piovosi di 6 giorni precedenti il colmo di piena nei 4 sottobacini principali del Tevere (da Palmieri et alii, 2005).

Nella Tab.40 inoltre sono riportati i valori della pioggia totale e della pioggia netta nei 25 eventi di piena della Tab.36 e la percentuale della pioggia netta rispetto alla pioggia totale nell'intero bacino del Tevere e nei suoi 4 principali sottobacini.

Bacino	Intero Bacino 17.156 km ²	Paglia+Tevere 5.343 km ²	Tevere a Cor- bara 6.077 km ²	Nera 4.290 km ²	Aniene 1.446 km ²
Pioggia totale di 6 giorni (mm)	101,4	101,2	86,2	111,2	130,0
Pioggia netta di 6 giorni (mm)	45,1	51,8	40,6	39,4	55,9
% pioggia netta / pioggia totale	45	51	47	35	43

Tab.40 - Valori medi della pioggia totale e della pioggia netta nei 25 eventi di piena considerati e percentuale della pioggia netta rispetto alla pioggia totale (da Palmieri et alii, 2005)

Nella tarda estate ed in autunno le condizioni atmosferiche che deprimono l'evapotraspirazione possono dar luogo ad un ciclo di tempeste di più lunga durata.

D'altra parte l'evapotraspirazione regola l'infiltrazione nel suolo su scale temporale mensile-stagionale. Entrambi i due processi amplificano o deprimono la capacità del suolo di assorbire acqua. Ciò è chiaramente evidenziato (Tab.41) dalla differenza tra la pioggia di 6 giorni precedenti l'evento di piena e la pioggia netta nello stesso periodo di tempo in 5 eventi di piena invernali (mese di

febbraio) e in 5 eventi di piena autunnali del periodo 1959-1999, riportati nella Tab.36.

Per studiare la distribuzione spaziale della pioggia netta nei 25 casi considerati della Tab.36 si è proceduto (Palmieri e alii, 2005) ad una loro classificazione utilizzando un metodo oggettivo di raggruppamento degli eventi in 3 classi (analisi cluster).

Nella Fig.37 è riportato il grafico con l'analisi a cluster per i 25 eventi di piena citati della Tab.37 con il bacino del Tevere suddiviso nei 4 sottobacini principali di Fig.2.

Sottobacino	5 eventi in Febbraio	5 eventi in Febbraio		5 eventi in Autunno	5 eventi in Autunno	
	Pioggia totale di 6 giorni	Pioggia netta di 6 giorni	%	Pioggia totale di 6 giorni	Pioggia netta di 6 giorni	%
Paglia+Tevere	106,6	82,3	77	148,1	47,7	32
Tevere a Corbara	86,8	63,2	73	127,3	36,2	28
Nera	100,4	58,4	58	143,6	14,7	10
Aniene	133,3	94,9	71	155,5	24,2	16

Tab. 41 - Pioggia totale e pioggia netta (in mm) per 5 eventi occorsi in febbraio e per 5 eventi occorsi in autunno (da Palmieri et alii, 2005)

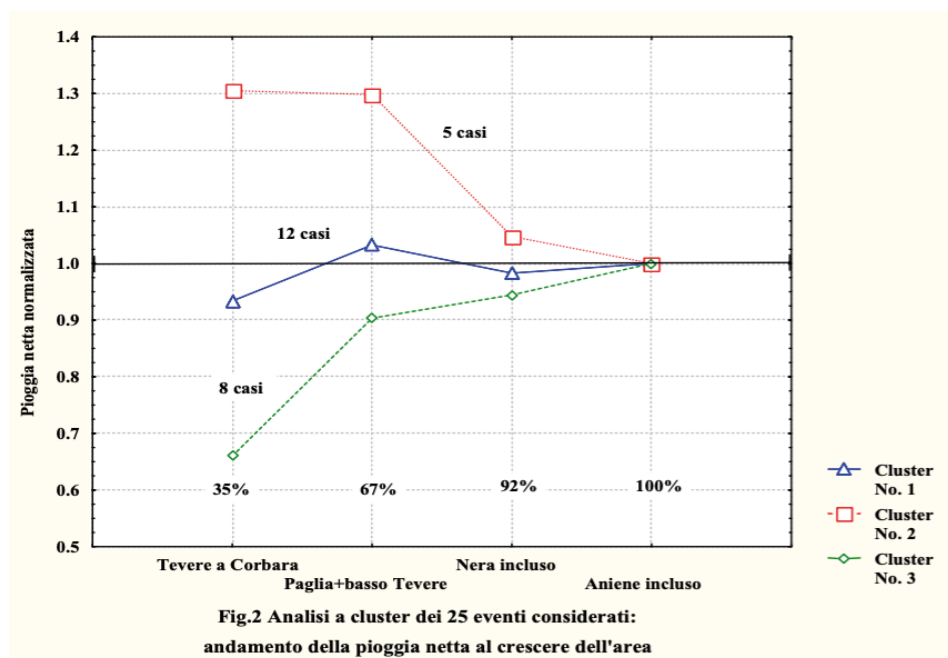


Fig. 37 - Analisi a cluster dei 25 eventi considerati nel periodo 1959-1999: andamento della pioggia netta al crescere dell'area (da Palmieri et alii, 2005).

Il cluster n.1 è costituito da 12 casi caratterizzati da piogge pressoché uniformi sull'intero bacino (precipitazione netta media in 6 giorni pari a 47,8 mm). In questo gruppo si annoverano gli eventi, nel periodo 1959-1999, che hanno dato luogo alle portate al colmo più alte a Roma Ripetta: 17 feb 1976, 2050 m³/s; 2 feb 1986, 1900 m³/s; (presenti anche in Tab.7).

Il cluster n.2 contiene 5 eventi con piogge nette anch'esse abbondanti (precipitazione netta media in 6 giorni pari a 46,5 mm) appartenenti al periodo settembre - dicembre. Nell'ambito di questo gruppo (che contiene la tempesta meteorologicamente più intensa: 3 set 1965) le precipitazioni nette raggiungono la massima intensità nell'area di bacino dalle sorgenti fino al Paglia e basso Tevere (intensità pari a circa 1,3 volte quella media dell'intero bacino) per poi decrescere rapidamente con l'inclusione dei bacini della Nera e dell'Aniene. L'impatto sulle portate, nella maggior parte delle perturbazioni di questo cluster, è mitigato dalla capacità di assorbimento del terreno dovuta principalmente alla evapotraspirazione ed alle precipitazioni limitate dei mesi estivi precedenti, nonché

alla presenza della vegetazione in fase attiva.

Il cluster n.3 infine (8 eventi) caratterizza le situazioni in cui la pioggia netta presenta una leggera tendenza ad aumentare al crescere della superficie considerata (precipitazione netta media in 6 giorni pari a 36,4 mm). L'aspetto più tipico delle perturbazioni di questo gruppo è la presenza dei meccanismi generatori di pioggia più attivi sui bacini della Nera e dell'Aniene, con un contributo dell'orografia più accentuato che non nei casi precedenti.

La migliorata conoscenza dei processi fisici, che controllano precipitazione e ruscellamento (principalmente evapotraspirazione e infiltrazione dell'acqua ed il suo movimento nel suolo) permette il passaggio ad una simulazione numerica ad elementi distribuiti, che significa una nuova generazione di strumenti che possono descrivere, con una forte risoluzione nello spazio, la risposta del ruscellamento alla pioggia, tenendo conto delle caratteristiche geomorfologiche del terreno, dello stato della vegetazione e dell'interazione con l'atmosfera attraverso i meccanismi che operano nello strato più superficiale del pianeta.

12. Invasi esistenti e nuovi invasivi in progetto

Nella Fig.38 sono riportate le principali dighe e i principali sbarramenti presenti attualmente sull'asta principale del Tevere e sui suoi affluenti.

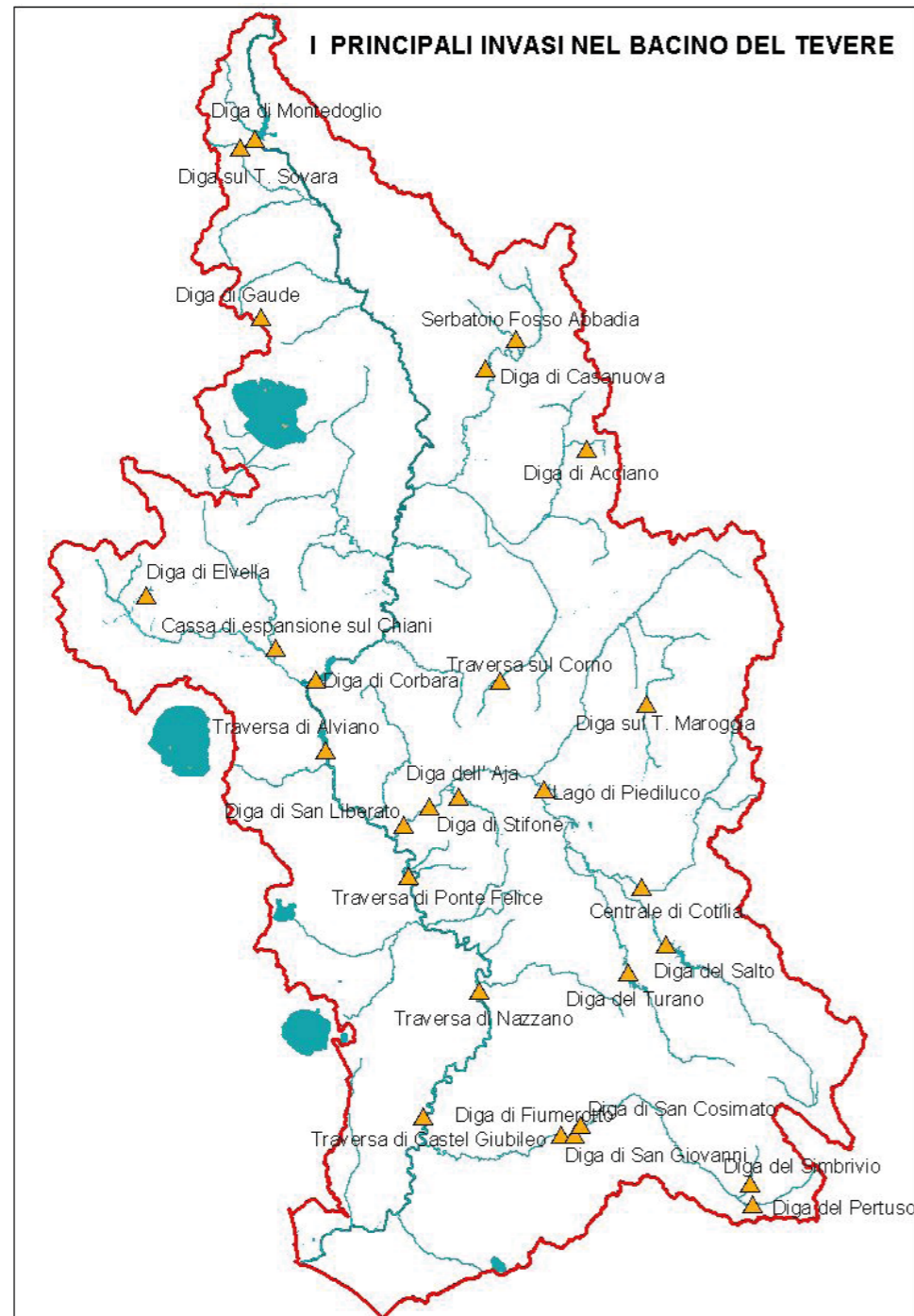


Fig.38 – Principali invasivi presenti nel bacino del Tevere

Per la protezione della città di Roma da future inondazioni è stata proposta da molti anni la costruzione di una nuova diga con serbatoio a Torre Alfina (Margaritora, 1983) sull'asta principale del Paglia (bacino idrografico 564 km²) con un serbatoio di grande capacità. Questa diga però avrebbe più che altro l'effetto di laminare il colmo della piena del fiume Paglia e del Tevere subito a valle della confluenza col Paglia, ma avrebbe influenza assai minore sul colmo della piena del Tevere a Roma. A questo proposito bisogna anche considerare che essendo il bene da difendere la città di Roma, una nuova diga con serbatoio potrebbe in teoria avere anche effetti negativi, perché nel lungo periodo il non corretto funzionamento con il vicino serbatoio di Corbara potrebbe esaltare gli effetti della piena anziché attenuarli. Infatti nel lungo periodo (Bersani e Vitale, 2006) non si può trascurare la possibilità di eventi eccezionali come: l'evento bellico, l'atto terroristico o un forte terremoto con tempi di ritorno secolari. Più semplicemente anche l'errore umano nella gestione dei due serbatoi potrebbe essere causa di grave danno alla città di Roma. Vi è infatti un precedente storico (Di Martino e Belati, 1980, Bersani e Bencivenga, 2001) su come l'uomo abbia potuto provocare artificialmente una piena eccezionale e la conseguente inondazione a Roma. Infatti l'inondazione della città di Roma del 30 novembre 1422 con altezza al colmo di 17,22 m a Ripetta (di cui una lapide ricordo si trova attualmente nella facciata della Chiesa di S.Maria sopra la Minerva) fu causata da Baccio di Montone, che "fece rompere

la Marmore dello lago de Pedelaco (oggi Piediluco), et fecelo ad intentione di allacare Roma, et fecelo" dal diario di Stefano Infessura (in Romano, 1941).

In alternativa ad un unico grande serbatoio sull'asta principale del Paglia, recentemente è stato proposto di costruire un sistema di piccoli bacini di ritenuta sul Paglia e i suoi affluenti, ma anche in questo caso l'effetto sulla laminazione del colmo di piena a Roma sarebbe assai limitato. Il sistema di piccoli bacini di ritenuta nel Paglia sarebbe invece utile per la salvaguardia dei territori in particolare tra Orvieto e Orte e inoltre risulterebbe utile nel periodo estivo per l'irrigazione di campi. Bisogna però dire che questi piccoli bacini di ritenuta si comporterebbero come trappole per il trasporto solido a valle e sarebbero probabilmente sottoposti a un rapido interimento.

Infine, per contrastare la carenza di acqua alle latitudini del bacino del Tevere e più in generale alle latitudini dell'intero territorio italiano, vista anche la siccità dell'anno 2022, sarebbe opportuno verificare la possibilità di costruire nuovi bacini di ritenuta anche di piccole dimensioni sugli affluenti di vario ordine, che potrebbero essere utilizzati anche per produrre energia idroelettrica.

13. Rischi idraulici attuali nella città di Roma e competenze sulla manutenzione dei corsi d'acqua

L'Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale (ABDAC) ha individuato 4 tipologie di rischio idraulico per la città di Roma:

- Piene del fiume Tevere e del fiume Aniene con tempi di preavviso minimi di 12 ore e tempi di ritorno di circa 100 anni.
- Piene dei corsi minori con tempi di preavviso di 1 – 4 ore e tempi di ritorno di 30 – 50 anni.
- Allagamenti urbani per precipitazioni intense, con tempi di ritorno di 1 – 3 anni.
- Allagamenti nella zona foce del Tevere – Ostia X Municipio per insufficienza della rete dei canali di bonifica con tempi di preavviso di 1 – 2 ore e tempi di ritorno di 10 anni.

Nell'area romana (Fig.39) per quanto riguarda le competenze sulla manutenzione sul reticolo idrografico principale (Tevere e Aniene) e il reticolo idrografico minore, che

ha uno sviluppo complessivo di oltre 500 km di lunghezza, si ha:

- Tevere e Aniene: è competente dal 2002 la Regione Lazio, dapprima con l'A.R.D.I.S. (Agenzia Regionale di Difesa del Suolo) e poi con l'Ufficio Tutela Ambientale e Difesa del Suolo. Prima del 2002 la competenza era statale con l'Ufficio Tevere e Agro Romano.
- Corsi d'acqua minori esterni al Grande Raccordo Anulare: è competente il Consorzio di Bonifica Litorale Nord (ex Consorzio Tevere e Agro Romano).
- Corsi d'acqua minori interni al Grande Raccordo Anulare: la competenza amministrativa è di Città Metropolitana di Roma Capitale (l'ex Provincia di Roma), la competenza della manutenzione è invece dei frontisti ai sensi della Legge Regionale 53/98.



Fig.39 – Area romana ai fini delle competenze per la manutenzione dei corsi d'acqua.

14. Considerazioni conclusive

Lo studio eseguito sui 150 anni delle piene del Tevere a Roma dal 1871 al 2020 ha condotto alle seguenti considerazioni principali:

- Nell'intero bacino del Tevere sarebbe opportuno incrementare il controllo termo-pluviometrico del territorio e contemporaneamente il controllo idrometrico dei fiumi aggiornando periodicamente le scale di deflusso con misure di portata liquida, perché negli ultimi decenni tali misure sono state insufficienti. È auspicabile ripristinare anche una rete per il controllo dei livelli della falde sotterranee in pozzi non disturbati da prelievi antropici. Bisogna ripristinare anche le misure del trasporto solido (in particolare le misure torbiometriche) sull'asta principale a Roma e in altre sezioni fluviali distribuite nel bacino. Occorre ripristinare cioè un controllo idrometeorologico del fiume come era negli anni '60 e '70 del secolo scorso, quando il Servizio Idrografico era di competenza statale; il passaggio alla Regioni nel 2002 ha infatti ulteriormente complicato i monitoraggi, mancando uno standard uguale su tutto il bacino idrografico. In queste condizioni l'Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale (ABDAC) ex Autorità di Bacino del fiume Tevere dovrebbe avere un ruolo di guida tecnica, dettando uno standard per tutte le misure e prevedendo una rete uniforme di stazioni di misura sull'intero bacino, nei di-

versi territori regionali. Meglio sarebbe se lo standard per le misure fosse esteso a livello nazionale.

- Per la valutazione della tendenza evolutiva dell'alveo del Tevere è opportuna una nuova campagna di misurazioni topografiche delle sezioni fluviali sull'asta principale del Tevere, in particolare nel tratto urbano fino alla foce e poi mettere a confronto i risultati della nuova indagine con i risultati delle indagini passate, in particolare con quella più recente del 1999-2000. Sarebbe anche utile studiare l'evoluzione dell'alveo ricostruendo un profilo aggiornato del fondo massimo (linea di talweg) lungo tutto il corso dell'asta principale dalla Diga di Montedoglio alla foce. Il profilo di fondo massimo e medio nel tratto urbano di Roma deve essere tenuto sotto controllo perché proprio dalla profondità del fondo dipende l'altezza idrometrica durante gli eventi di piena. Nella situazione attuale una nuova campagna topografica dell'alveo, in particolare nell'area urbana, potrebbe rivelare o un fondo stabile o in erosione, vista l'attuale scarsità di materiale solido trasportato, ma è una situazione che deve comunque essere verificata.

- Per la mitigazione delle piene a Roma è nota l'importanza fondamentale delle casse

di espansione naturali a monte di Roma, da Orte a Monterotondo, che è quindi necessario mantenere sgombre da ogni ostacolo che impedisca il deflusso delle acque di piena. Altrettanto importante è il corretto funzionamento del serbatoio di Corbara nel medio corso del Tevere, che è l'unico serbatoio capace di immagazzinare grandi quantità d'acqua con i suoi circa 135 milioni di m³ di invaso. Il serbatoio di Corbara ha infatti la capacità di immagazzinare l'onda di piena proveniente dall'Alto Tevere, impedendo che questa si sovrapponga con l'onda di piena proveniente dal bacino del Paglia.

- Per la protezione della città di Roma da future inondazioni è stata proposta, da tanti anni ormai, la costruzione di una nuova diga con serbatoio a Torre Alfina sull'asta principale del Paglia (bacino idrografico 564 km²) con un serbatoio di grande capacità. Questa diga però avrebbe più che altro l'effetto di laminare il colmo della piena del fiume Paglia e del Tevere subito a valle della confluenza col Paglia, ma avrebbe influenza molto minore sul colmo della piena del Tevere a Roma. In alternativa ad un unico grande serbatoio nel bacino del Paglia, recentemente è stato proposto di costruire un sistema di piccoli bacini di ritenuta sul fiume Paglia e i suoi affluenti, ma anche in questa ipotesi l'effetto sulla laminazione del colmo di piena a Roma sarebbe molto limitato. Ciò sembra dimostrato proprio dall'ultima piena importante del Tevere a Roma del novembre 2012. Infatti come indicato nel "Rapporto di evento del 11 – 16 novembre 2012" (Regione

Lazio - Centro Funzionale Regionale, 2012), la portata massima in uscita dal serbatoio di Alviano (derivante in massima parte dalla piena del fiume Paglia) è stata di circa 2.200 – 2.400 m³/s (corrispondente ad un tempo di ritorno duecentennale) dalle ore 12,00 circa dell'12 novembre alle ore 12,00 circa del 13 novembre, mentre la portata al colmo a Roma Ripetta è stata di soli 1933 m³/s alle ore 1,00 del 15 novembre. La portata di 2.200 – 2.400 m³/s proveniente dallo scarico di Alviano non si è conservata come tale fino a Roma perché le aree di laminazione tra Orte e Monterotondo hanno attenuato il colmo di piena, specialmente con esondazioni nella zona di Orte. Il sistema di piccoli bacini di ritenuta nel Paglia sarebbe utile per la salvaguardia dei territori in particolare tra Orvieto e Orte e per l'irrigazione di campi nel periodo estivo. Esiste tuttavia il rischio che questi piccoli bacini di ritenuta si comportino come trappole per il trasporto solido a valle e che siano sottoposti a un rapido interrimento.

- Le proiezioni climatiche nel bacino del Tevere (Palmieri, 2007) indicano per il futuro una diminuzione dei deflussi (fenomeno a cui in realtà stiamo già assistendo), per cui una piena eccezionale con elevati tempi di ritorno sembra attualmente più improbabile. Infatti la piena eccezionale si verifica, si è visto nel presente lavoro, quando sono soddisfatte due condizioni contemporaneamente: una elevata quantità di pioggia nei 6 giorni (piogge determinanti) precedenti il colmo di piena, che si verificano di norma nel periodo

da settembre a metà dicembre, e condizioni di umidità di tipo invernale, cioè con abbondanti precipitazioni nei 3 mesi precedenti. E la seconda condizione appare attualmente improbabile, con le tendenze climatiche attuali.

- La piena del novembre 2012 ha raggiunto a Ripetta un'altezza idrometrica al colmo di 13,5 m e una portata al colmo corrispondente di circa 1950 m³/s, ciò significa che vi era ancora un franco di circa 4 m prima che il fiume potesse fuoriuscire dagli argini all'altezza di Ponte Cavour, dove i muraglioni sono a quota circa 18 m della scala idrometrica.

- In caso di piena eccezionale si è ipotizzato che il Tevere potrebbe fuoriuscire dagli argini a Roma a monte di Ponte Milvio, ubicato nella zona nord di Roma circa 4 km a monte della stazione di Roma Ripetta, dapprima in sinistra e poi in destra idrografica. Infatti comunemente si ritiene che questo ponte lasci passare senza nessun problema la portata di 2.500 m³/s, essendosi verificati soltanto limitati allagamenti nell'area di Milvio e in poche altre aree urbane nell'evento di piena del dicembre 1937 (allagamenti peraltro causati tutti dalle difese arginali, collegate ai muraglioni, non ancora del tutto terminate), che ha raggiunto la portata al colmo di circa 2.750 m³/s. Occorre però sottolineare che le altezze idrometriche a Roma nell'evento del dicembre 1937 sono state molto più elevate di quanto lo sarebbero oggi per il passaggio della stessa portata al colmo. Infatti l'argina-

tura a valle di Roma del Tevere fino alla foce, realizzata nel periodo 1916-30, aveva fatto rialzare di molto i livelli idrometrici a monte in città; inoltre dopo la piena del dicembre 1937 sono stati eseguiti una serie di interventi prima descritti, tra cui il più importante è stato il taglio del meandro di Spinaceto sul Tevere all'altezza dell'attuale Grande Racordo Anulare a sud di Roma, meandro che contribuiva in maniera molto importante a rialzare i livelli idrometrici in città. Anche il forte approfondimento dell'alveo, da Ponte Milvio alla foce, avvenuto dagli anni '30 del secolo scorso contribuisce ad abbassare i livelli di piena in maniera importante. In base alle considerazioni esposte, essendo aumentata oggi rispetto al 1937 la profondità del fondo alveo e la pendenza del fiume in città e a valle della stessa, in caso di piena eccezionale, anche la portata che passerebbe indisturbata a Ponte Milvio deve essere considerata ben maggiore di 2.500 m³/s. Anche la piena del dicembre 1900, dove si è probabilmente avuta la massima portata storica con circa 3.100 m³/s ± 5%, ha attraversato Ponte Milvio senza provocare nell'area nessun allagamento per fuoriuscite dall'alveo, non esistono infatti negli archivi fotografie dell'area di Ponte Milvio allagata. La "preoccupazione" che in caso di piena eccezionale il Tevere possa fuoriuscire a Ponte Milvio è probabilmente legata ad un motivo storico. Infatti il Tevere ha effettivamente esondato a monte di Ponte Milvio nelle piene del 1598 e del 1846 e del 1870, ma a causa del rigurgito delle acque, causato dagli ostacoli al deflusso delle acque di piena nel corso del fiume a

valle nella città: l'ostacolo all'altezza di Ponte Sant'Angelo, l'ostacolo all'altezza dell'isola Tiberina, l'ostacolo all'altezza del Monte dei Cocci a Testaccio, quest'ultimo costituito nel 1598 ancora dalla presenza delle torri in alveo delle restaurate mura aureliane. Tutti ostacoli che sono stati rimossi con la costruzione a fine '800 dei muraglioni urbani e delle difese arginali e che quindi non hanno costituito ostacolo al deflusso delle acque nella piena eccezionale del dicembre 1900. In tale evento di piena erano presenti i muraglioni urbani nel tratto Ponte Milvio – Ponte Palatino e la piena ha attraversato la città provocando soltanto modesti allagamenti, causati da alcune fognature non ancora allacciate ai Collettori principali (Frosini, 1977), se si eccettua la fuoriuscita d'acqua per il crollo del muraglione del Lungotevere degli Anguillara in destra idrografica tra Ponte Garibaldi e Ponte Cestio ancora in costruzione e gli allagamenti nella parte sud della città (Basilica di San Paolo) dove però le difese arginali non erano ancora state realizzate. Si può così affermare che i muraglioni urbani hanno contenuto bene la massima portata storica (dicembre 1900) del Tevere a Roma, se non in alcune situazioni locali per lavori di difesa non ancora completati.

- La massima portata storica del fiume avvenuta in passato, è stata stimata, come visto, tra 2.800 e 3.300 m³/s, con il valore più probabile di circa 3.100 m³/s ± 5%, negli eventi di piena del 1598, del 1870 e del 1900, dove in quest'ultimo evento la portata è stata probabilmente leggermente superiore alla

portata degli altri due eventi. Nelle piene del 1598 e del 1870 non esistevano i muraglioni urbani e l'alveo era completamente diverso dall'attuale con grandi ostacoli al deflusso delle acque, a causa in città di un alveo più stretto e pieno di restringimenti locali costituiti dalla presenza in alveo sia di importanti opere murarie e resti di antichi ponti romani, sia di barconi e mulini galleggianti. Nell'evento del 1598 inoltre il bacino idrografico era maggiore di circa 1.100 km², che sono appartenuti fino al 1780 al bacino del Paglia, che è il bacino maggiormente responsabile delle piene del Tevere a Roma. Quindi le stesse piogge, che nel 1598 hanno determinato una portata a cui ha corrisposto l'altezza idrometrica massima a Ripetta (Hc = 19,56 m), oggi causerebbero una portata e un'altezza idrometrica molto minori a Ripetta.

- Problemi alla città di Roma possono essere causati oggi dal reticolo idrografico minore in città. Il Fosso di Prima Porta, ad esempio, ha causato allagamenti importanti nella zona nord della città, tanto che la Regione Lazio con l'A.R.D.I.S., in accordo l'Autorità di bacino del Tevere, ha in tempi recenti potenziato il sistema di idrovore che entra in funzione in caso di pericolo di allagamenti.

- Attualmente l'azione più importante per la difesa della città di Roma dalle piene del Tevere è la manutenzione dell'alveo nel tratto urbano, così come è fondamentale la manutenzione del corso del fiume sia a monte che a valle città, evitando che vi siano

ostacoli (barconi galleggianti insicuri, vegetazione ripariale troppo sviluppata, etc.) che in caso di piena possano andare a occludere le luci dei ponti, formando un effetto diga nel corso del fiume, come stava per accadere a monte di Ponte S. Angelo durante la piena del dicembre 2008.

- Dall'inizio del '900 sono in costante diminuzione le portate liquide del Tevere a Roma, così come il trasporto solido ed è in diminuzione anche il valore del coefficiente di deflusso su scala annuale. Nel presente lavoro si è visto che è in netta forte diminuzione anche il coefficiente di deflusso di piena. Sono anche in diminuzione su scala annuale le precipitazioni sull'intero bacino, mentre è in aumento la temperatura. Stiamo cioè di fronte ad un cambiamento climatico che probabilmente è iniziato per cause naturali ed è stato accelerato poi da cause antropiche, prima fra tutte il riscaldamento.

- Nel bacino del Tevere il clima degli ultimi anni con l'aumento delle temperature medie annuali, con la diminuzione della piovosità sia annuale che nel semestre da novembre ad aprile e con la diminuzione dei livelli idrometrici e delle portate liquide, conferma pienamente la tendenza del clima secondo le previsioni della Tab.33 (Palmieri

et alii, 2007). La proiezione per il periodo 2070-2100, rispetto al clima osservato nel periodo 1960-1990, fornisce per il semestre da maggio ad ottobre una temperatura media annua di 24,6°C (superiore di oltre 4°C), una forte diminuzione delle precipitazioni annuali (circa il 20%) e quasi un dimezzamento dei deflussi. Risulta quindi più che evidente la necessità di intervenire urgentemente per contrastare l'aumento della temperatura a livello globale, che è la causa principale del cambiamento climatico in corso. Altrimenti le previsioni per periodo 2070-2100 potrebbero avverarsi in anticipo con conseguenze catastrofiche per l'ambiente a livello mondiale, con l'innalzamento del livello marino e quindi la sommersione di moltissime aree costiere oggi densamente abitate.

- Per contrastare la carenza di acqua alle latitudini del bacino del Tevere e più in generale alle latitudini dell'intero territorio italiano, vista anche la siccità dell'anno 2022, sarebbe opportuno verificare la possibilità di costruire nuovi bacini di ritenuta anche di piccole dimensioni, che potrebbero essere utilizzati anche per produrre energia idroelettrica.

Si ringraziano:

Cristina Pompei del Servizio Idrografico regionale del Lazio – Centro funzionale della Protezione Civile, già dipendente del Servizio Idrografico Nazionale-Compartimento di Roma, vera memoria storica del Servizio Idrografico, per la competenza e disponibilità nel fornire i dati idro-termo-pluviometrici necessari per questo lavoro.

Il Servizio Idrografico regionale dell'Umbria per i dati termo-pluviometrici messi a disposizione.

Dr Luigi Iafrate per aver fornito i dati di CREA ex UCEA delle stazioni termo-pluviometriche di Perugia e Roma.

Prof. Maurizio Maugeri per aver elaborato e validato i dati termo pluviometrici delle stazioni di Roma e Perugia della rete CREA dal 1862 al 2003.

L'Architetto Daniele Moretti dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale (ABDAC) per aver ricalcolato con metodologia GIS la superficie del bacino idrografico del Tevere.

I Segretari dell'Autorità di bacino del Tevere prima e dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale poi che si sono susseguiti sin dall'istituzione delle Autorità di bacino fluviali per il loro impegno nel dirigere le attività istituzionali, ma anche nel consentire nuovi studi.

L'Ing. Francesco Mele, già Direttore del Centro funzionale della Protezione Civile della Regione Lazio, per i suoi rapporti sugli eventi di piena del fiume Tevere avvenuti tra il 2008 e il 2015.

L'Ing. Mauro Bencivenga, già Direttore del Servizio Idrografico Nazionale – Compartimento di Roma per gli studi che ha effettuato aumentando la conoscenza scientifica sul bacino del Tevere.

L'Ing. Alessandro Piotti, Ingegnere Idraulico e grande conoscitore del bacino del Tevere e delle sue problematiche sin dai tempi dei Piani di bacino redatti a partire dagli anni '80 del secolo scorso, ben prima che fossero istituite le Autorità di bacino. A lui si deve tra l'altro l'impostazione e la realizzazione dello studio più importante e completo ad oggi eseguito sul trasporto solido nel bacino del Tevere.

I tanti Professori di Idraulica e Costruzioni idrauliche delle varie Università italiane che con i loro studi hanno contribuito negli ultimi trenta anni ad aumentare le conoscenze sul bacino del fiume Tevere: Prof. Gianmarco Margaritora, Prof. Lucio Ubertini, Prof. Piergiorgio Manciola, Prof. Luigi Natale, Prof. Alberto Noli, Prof. Corrado Mancini, Prof. Francesco Napolitano, Prof. Roberto Guercio, il

compianto Prof. Fabrizio Savi, ma soprattutto si desidera ringraziare i Proff. Guido Calenda e Gianrenzo Remedea, che, con la loro passione e competenza e con la loro collaborazione con l'Autorità di bacino del Tevere, sono stati fondamentali nel raggiungere l'attuale grado di conoscenze e la normativa vigente che ne è derivata.

Bibliografia

Angeloro V., Bencivenga M., Mattiolo V. (1989): "La piena del Tevere del febbraio 1986 e l'effetto di laminazione del serbatoio di Corbara". Estratto dal Giornale del Genio Civile fasc. 7-8. Roma.

Aquilina C. (1937): "Livellazione geometrica di precisione dei muraglioni del Tevere a Roma". Annali dei Lavori Pubblici, 9, 1-16.

Arredi F. (1974): "Brevi richiami sulle caratteristiche del Tevere" Idrotecnica n.1. Roma.

Associazione Idrotecnica Italiana – Sez. Sicilia occidentale (1987): "Palermo tra le due alluvioni". Conferenza dibattito. Palermo. Idrotecnica n.2.

Autorità di bacino del fiume Tevere (1993): "Gestione integrata degli invasi e definizione del minimo vitale". A cura del Prof. L. Ubertini e del Prof. G. Calenda.

Autorità di bacino del fiume Tevere (2005): "Tevere pilot river basin article 5 report" Gangemi editore, Roma.

Autorità di bacino del Fiume Tevere (2006): "Piano di Assetto Idrogeologico P.A.I.". Approvato con D.P.C.M. del 10 Novembre 2006 (Pubblicato nella G.U. n. 33 del 9 Febbraio 2007)

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (2022): "Variante alle Norme tecniche di attuazione del Piano di bacino del Tevere – VI stralcio funzionale – per l'assetto idrogeologico P.A.I." adottata con Deliberazione n. 30/2022 del 21 dicembre 2022.

Autorità di bacino del Fiume Tevere (2009) : "Piano stralcio per l'area metropolitana di Roma – P.S.5". Approvato con D.P.C.M. del 3 Marzo 2009 (Pubblicato nella G.U. n. 114 del 19 Maggio 2009).

Autorità di bacino del fiume Tevere (2007): "Realizzazione del sistema integrato ed organico delle attività di manutenzione del bacino del Tevere: assetti istituzionali e finanziari". Roma.

Barberis V., D'Amico R. (1991): "Verifica dei livelli di piena del Tevere" Agere notizie. Anno 11, n.1.

Bellotti P., Biagi P.F., Tortora P. & Valeri P. (1987) – Il Delta del Tevere: caratteri morfologici e sedimentologici della piana deltizia. Giornale di Geologia, 49, p. 89-99.

Bellotti P., Carboni M., Milli S., Tortora P., Valeri P. (1989): "La piana deltizia del fiume Tevere: analisi di facies ed ipotesi evolutiva dall'ultimo low-stand glaciale all'attuale". Giornale di Geologia serie 3, n. 51/1. Bologna.

Bellotti P., Caputo C., Davoli L., Evangelista S. e Valeri P. (1999): "Lineamenti morfologici e sedimentologici della piana deltizia del fiume Ombrone (Toscana meridionale). Boll. Soc. Geol. It., 118.

Bencivenga M., Angeloro V. (1992): "Gestione dei serbatoi di Corbara, Salto e Turano durante la piena del fiume Tevere del novembre 1991 e la rete di telerilevamento nel bacino del Tevere". 23° Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche. Firenze.

Bencivenga M., Calenda G., Mancini C.P. e Napolitano F. (1999): "Evaluation of Historical Floods in Rome". Italy. Water Resources Engineering Conference. ASCE. Seattle (USA).

Bencivenga M., Bersani P. (2014): "Influenza delle variazioni del clima sulle piene del Tevere a Roma". ISPRA Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia. Volume XCVI.

Bencivenga M., Calenda G., Mancini C. (2001): "Ricostruzione storica delle scale di deflusso delle principali stazioni di misura nel bacino del fiume Tevere - Il secolo XX" Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale in collaborazione con l'Università Roma Tre. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Bencivenga M., Di Loreto E., Liperi L. (1995): "Il regime idrologico del Tevere, con particolare riguardo alle piene nella città di Roma". Vol. L delle Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia.

Bencivenga M., Remedia G. (1999): "Indagine sull'erosione e sulla sedimentazione lineare nell'alveo del fiume Tevere". Università degli Studi di L'Aquila, Dip. di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT n.2).

Bencivenga M., Ranieri E. (1997): "Il regime dei deflussi del Tevere a Roma" L'Acqua n.3, Roma.

Bencivenga M., Bersani P., Di Giacomo P., Tosti C. (2000): "Superficie dei bacini idrografici ricadenti nel Compartimento di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico e proposta di linee guida per la definizione dei bacini idrografici". Geologia Tecnica e Ambientale n. 4.

Bencivenga M., Bersani P., Di Giacomo P., Tosti C. (1999). "Superficie dei bacini idrografici del Compartimento di Roma" con Carta dei bacini idrografici in scala 1:250.000. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Bencivenga M., Remedia G. (1994): "La necessità di regolamentazione dell'uso delle aree inondabili - Il caso della bassa valle del fiume Tevere". Università degli Studi di L'Aquila, Dip. di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT n. 3).

Bencivenga M., Remedia G. (1999): "Indagine sull'erosione e sulla sedimentazione lineare nell'alveo del fiume Tevere". Università degli Studi di L'Aquila, Dip. di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT n. 2).

Benedetto A. (1998): "Modelli idrologici distribuiti: afflussi-deflussi. Rapporto tecnico. SIMN/RT/98/2.

Bernabini M, Bosman A, Chiocci FL, Macelloni L, Orlando L, (2006), First MultiBeam and High Resolution Reflection Seismics Survey on the Tiber River Lower Course. European Association of Geoscientists & Engineers Near Surface 2006, 12th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 4-6 September 2006, Helsinki, Finland.

Bernabini M, Bosman A, Chiocci FL, Macelloni L, Mazzoni A, Orlando L, Geoitalia (2007), Multibeam and High-resolution seismic reflection on the Tiber River. Sesto Forum Italiano di Scienze della Terra. Rimini, 12-14 settembre 2007. Vol 2, 2007 ISSN 1972-1552 pp.

Bersani A., Bersani P. (2002): "Considerazioni storico - idrauliche su Ponte S. Angelo (o ponte Elio o di Adriano) sul fiume Tevere a Roma". L'Acqua n.5, Roma.

Bersani P., Amici R. (1993): "Il trasporto solido del fiume Tevere". Idrotecnica n.3, Roma.

Bersani P., Clerici R., Palmieri S., Piotti A. (1995): "Bacino del fiume Tevere: afflussi e caratterizzazione meteorologica degli eventi di piena". Idrotecnica, n.5.

Bersani P., Palmieri S. (2004): "Due grandi piene del Tevere a Roma in estate : 7 agosto 1868 - 3 settembre 1965". Rivista Tevere Anno IX n.27. Roma.

Bersani P., Bencivenga M. (2001): "Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a.C. all'anno 2000" Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Roma.

Bersani P., Bencivenga M., Nisio S. (2020): Le lapidi ricordo delle inondazioni del Tevere a Roma". Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia Volume CVI. Roma.

Bersani P., Bencivenga M., Piotti A. (1999): "Caratterizzazione degli eventi di piena del fiume Tevere a Roma dal 1921 al 1995" L'Acqua n.1-2, Roma.

Bersani P. (2004): "Fiume Tevere a Roma: piene nel periodo estivo e considerazioni sulla massima portata storica" Geologia Tecnica e Ambientale n.2.

Bersani P., Bersani A. (2008): "Le piene del Tevere a Roma dal 1921 al 2007: Afflussi e stima del coefficiente di deflusso di piena". Geologia Tecnica & Ambientale n.3-4.

Bersani P., Moretti D. (2008): "Evoluzione storica della linea di costa in prossimità della foce del Tevere". L'Acqua, n.5.

Bersani P., Moretti D., Ferranti C. (2005): "Autorità di bacino del fiume Tevere: i 57 sottobacini dell'area vasta - Piano stralcio per il tratto metropolitano P.S.5". Rivista Tevere n.28.

Bersani P., Piotti A. (1994): "Correlazioni tra portata liquida e trasporto solido del fiume Tevere a Roma". Idrotecnica n.2, Roma.

Bersani P., Vitale V. (2006): “Il periodo di piena del Tevere a Roma alla fine del 2005”. Professione Geologo n.12

Boni C., Bono P., Capelli G. (1986): “Schema idrogeologico dell’Italia centrale”. Boll. Soc. Geol. It., 35.

Boni C., Bono P., Capelli G. (1988): “Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio”. Regione Lazio – Università degli Studi di Roma La Sapienza.

Boni C., Petitta M., Preziosi E., Sereni M. (1993): “Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio”. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ufficio Pubblicazioni e Informazioni Scientifiche – Roma.

Boni C., Bono P., Capelli G. (1986) “ Schema idrogeologico dell’Italia Centrale”. Boll. Soc. Geol. It, 35.

Brizzi B. (1989): “Il Tevere un secolo di immagini. Editore Carlo Colombo. Roma.

Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2006): “Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series”. International journal of climatology 26: 345–381.

Calenda G., Dall’Oglio S., Margaritora G. (1976): “Conferenza sull’idrografia sul Tevere nel suo tratto urbano”. XV Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche. Roma.

Calenda G., Di Malta L., Mancini C., Ubertini L. (1997): “Distribuzione di probabilità dei colmi di piena del Tevere a Roma” L’Acqua n. 3 , Roma.

Calenda G., Natale L., Noli A., e Ubertini L. (1998): “Piano stralcio del fiume Tevere nell’area metropolitana romana: da Castel Giubileo alla foce. Autorità di bacino del fiume Tevere. Roma.

Calenda G. e Ubertini L. (1993): “Gestione integrata degli invasi e definizione del minimo vitale”. Autorità di bacino del fiume Tevere. Roma.

Calvo B., Petaccia A., Savi F. (2007): “Simulazione della piena di fine novembre 2005 lungo il medio-basso Tevere” L’Acqua n.4. Roma.

Capelli G., Mazza R., Gazzetti C. (2005): “Strumenti e strategie per la tutela e l’uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici”. Quaderni di tecniche di Protezione Ambientale n.78 Pitagora editrice Bologna.

Capelli G., Mazza R. e Taviani S. (2006): “La salvaguardia della risorsa idrica nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano” Piano Stralcio per la tutela delle acque sotterranee. Autorità di Bacino del Tevere, Roma.

Castany G., Margat J., Albinet M., Dellaroziere-Bouillin O. (1970): “Evaluation rapide des ressources en eaux d’une region” in Atti Convegno Internazionale sulle Acque sotterranee. Palermo.

Chiesa A. e Gambarini B. (1746): “Delle cagioni e de’ rimedi delle inondazioni del Tevere”. Roma.

Colosimo C., Mendicino G. (1993): “L’uso del Flood Hydrograph Package HEC-1 per il calcolo delle piogge nette” Editoriale BIOS, Cosenza.

Consorzio di Bonifica della Val di Paglia superiore (1983): “Diga di Torre Alfina – Progetto di fattibilità” a cura dell’Prof. G. Margaritora.

Corradini C., Melone F., Ubertini L. (1990) “Parametrizzazione dell’infiltrazione nella modellistica di preannuncio delle piene in tempo reale”, 22° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Cosenza, pp 285-293.

Dall’Oglio S., Remedìa G. (1984): “Variazioni dell’alveo del Tevere da Ponte Milvio al mare”. Giornale del Genio Civile n.122. Roma.

Dall’Oglio S., Remedìa G. (1986): “Evoluzione dell’alveo del Tevere tra Ponte Felice e Ponte Milvio”. Giornale del Genio Civile n.124. Roma.

Dall’Oglio S. (1987): “La nuova livellazione dello zero idrometrico di Ripetta”. Giornale del Genio Civile 1,2,3.

D’Angelis E. (2019): “Tevere nostrum. Acqua, storia, natura, cultura”. Edizioni Polio stampa. Firenze.

De Meo V., Giannetti I., Mornati S. (2022): “La sistemazione del Tevere urbano. 50 anni di cantiere dalla carte del Genio Civile di Roma (1876-1926)” Mostra all’Archivio di Stato di Roma - Complesso Sant’Ivo alla Sapienza 8 ottobre-15 dicembre 2022.

Di Martino V., Belati M. (1980): “Qui arrivò il Tevere. Le inondazioni del Tevere nelle testimonianze e nei ricordi”. Multigrafica Editrice Roma.

Di Martino V. & R., Belati M. (2017): “Huc Tiber ascendit. Le memorie delle inondazioni del Tevere a Roma”. Arbor Sapientiae Editore. Roma.

Diodato N., Charpentier Ljungqvist F., Bellocchi G. (2021): “A millennium-long climate history of erosive storms across the Tiber River Basin, Italy, from 725 to 2019 CE”

Distante A. (1990): “Tesi di laurea inedita contenente i dati giornalieri idrometrici, di portata liquida e di trasporto solido per l’anno 1985 alla stazione di Roma Ripetta” Università La Sapienza di Roma, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.

D’Onofrio C. (1980): “Il Tevere, l’isola Tiberina, le inondazioni, i molini, i porti, le rive, i muraglioni, i ponti di Roma”. Romana Società Editrice.

Dragoni W., Valigi D. (1994): “Contributo alla stima dell’evaporazione da superfici liquide nell’Italia centrale” Geologica Romana, Anno XXX.

Esposito S., Beltramo S.C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafrate L., Libertà A. (2015). “Atlante italiano del clima e dei cambiamenti climatici” Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria, Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all’agricoltura. Roma, pp. 246.

Frosini P. (1937): “Le piene del Tevere e affluenti nell’autunno–inverno del 1937”. Estratti dagli Annali Idrologici parte II. Roma.

Frosini P. (1965): “Il Tevere e la difesa di Roma dalle inondazioni”. L’Acqua n.2.

Frosini P. (1977): “Il Tevere, le inondazioni di Roma e i provvedimenti presi dal governo italiano per evitarle”. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Hydroservice srl (1996): “Campagna di misure di portata e di trasporto solido nel bacino del Tevere”. Autorità di bacino del fiume Tevere – Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale Ufficio di Roma.

Giorgini A. (1990) “HEC-1 Tutorial” School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, In.

Giraudi C. (2004): “Evoluzione tardo-olocenica del delta del Tevere”. Il Quaternario 17 (2/2). 477-492.

Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood (2000): “The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments”. *Climate Dynamics* 16: 147-168.

Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. (1990) “Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements” Manual of Practice No 70, ASCE, New York.

Kalney E. (1996): “The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project”, Bull. Amer.Meteor. Soc., 77, 437-471.

Lanciani R. (1893): “Ponte S.Angelo”. Bullettino Commissione archeologica comunale, n.21. Roma.

Le Gall J. (1953): “Le Tibre fleuve de Rome dans l’Antiquité”. Publ. de l’Institute d’Art et d’Archeologie de l’Université de Paris. Paris.

Liber Pontificalis (1955): “Vita dei Papi”. Ediz. Duchesne, Parigi.

L’Osservatore Romano (1868). Quotidiano del giorno 8 agosto. Roma

Margaritora G. (1993): “Il Tevere urbano”. Tavola rotonda su “Rischi nei grandi bacini idrografici”. Accademia Nazionale dei Lincei. Roma.

Margaritora G., Noli A. (1974): “Esame degli eventi pluviometrici che hanno dato origine alla massime piene del Tevere a Roma a partire dal 1920”. Idrotecnica n. 5. Roma.

Mele F., Napolitano F., Borzillo G., Sabene A., Pellegrino F. (2006): “La gestione in tempo reale della piena del novembre-dicembre 2005 nel bacino del Tevere”. Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Roma.

Mikhailova M.V., Bellotti P., Valeri P., Tortora P. (1999): “Intrusion of seawater into the river part of the Tiber mouth”. Water Resorurces of Other Countries. Vol. 26 n.6.

Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio - Commissione Idrografica (1873): “Tabelle delle altezze del Tevere osservate ogni giorno all’idrometro di Ripetta in Roma dal 1 gennaio 1822 al 31 dicembre 1871”. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici (1872): “Atti della Commissione (Canevari) istituita con decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 1° gennaio 1871 per studiare e proporre i mezzi di rendere le piene del Tevere innocue alla città di Roma”. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Direzione Generale delle Opere Idrauliche (1882): “Rilievi, osservazioni ed esperienze del fiume Tevere”. Tipografia Eredi Botta. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici (1920): “Istituzione e funzionamento del Servizio. Norme, disposizioni e notizie sull’andamento del Servizio dal suo impianto al 31 dicembre 1919”. Fasc. I – Testa, Roma, 86-89.

Ministero dei Lavori Pubblici (1924): “L’idrometro di Ripetta, cenni storici ed osservazioni pluviometriche giornaliere 1782 – 1921”. Pubbl. n.6 del Servizio Idrografico di Roma a cura dell’Ing. Di Ricco. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici (1938): “Commissione Speciale per lo Studio del Piano Regolatore delle Opere di sistemazione del Tevere. Parte prima. Sistemazione del Fiume Tevere da Ponte Milvio al mare. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Servizio Idrografico (1980): “Dati caratteristici dei corsi d’acqua italiani”. Pubblicazione n.17 del Servizio. Istituto Poligrafico e Zecca della Stato. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Servizio Idrografico- Compartimento di Roma (1921-2002): “Annali idrologici, Parte I e parte II”. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e per l’Agro Romano (1986): “Relazione sulla piena del 31 gennaio 1986, considerazioni e proposte”. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Provveditorato Regionale alle Opere pubbliche per il Lazio - S.A.P.P.R.O. spa (1985): “Piano di bacino del fiume Tevere – Fase conoscitiva – I stralcio”. Roma.

Ministero dei Lavori Pubblici – Provveditorato Regionale alle Opere pubbliche per il Lazio - S.A.P.P.R.O. spa (1991): “Piano di bacino del fiume Tevere – Fase conoscitiva – II stralcio”. Roma.

Napolitano G., See L., Calvo B., Savi F. (2010): “Il preannuncio delle recenti piene del Tevere a Roma”. Accademia Nazionale dei Lincei, IX Giornata mondiale dell’acqua: il Bacino del Tevere (Roma, 23 marzo 2009).

Natale L. e Savi F. (2004): “Analisi Monte Carlo degli scenari di inondazione di Roma”. Atti della Giornata di studi sui “Grandi bacini idrografici” Accademia dei Lincei 6 novembre 2002. Roma.

Natale L. e Savi F. (2007): “Monte Carlo analysis of probability of inundation of Rome”. *Environmental Modelling and Software* 22 (10).

Ortolani F. e Pagliuca S. (2004): “L’evoluzione del clima in Italia dalla piccola età glaciale (1500-1850) al prossimo futuro (Effetto serra del terzo millennio)” Atti del Convegno “La siccità in Italia” Accademia Nazionale dei Lincei. Roma.

Palmieri S., Bersani P., Piotti A., Siani A.M. (1998): “Life cycle of a mesoscale severe storm at Genoa: considerations in reference to the prediction problem”. *Meteorologische Zeitschrift* n.7

Palmieri S., Siani A.M., D’Agostino A. (1991): “Climate fluctuations and trends in Italy within the last 100 years”. *Annales Geophysicae* n.9.

Palmieri S., Bersani P., Siani A.M. (1999): “Severe storm cases in Italy: hydrological and ground effects in the Tiber Basin” Proceedings of the “Plinius Conference”- Mediterranean Storms, edited by Claps P. and Siccardi F.

Palmieri S., Bersani P., Siani A.M., Casale G.R. (2002): “L’evapotraspirazione del bacino del Tevere e sua relazione con gli eventi estremi” Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Palmieri S., Siani A.M., Casale G.R. (2004): “Evoluzione del clima in Italia negli ultimi 50 anni” Atti del Convegno “La siccità in Italia” Accademia Nazionale dei Lincei. Roma.

Palmieri S., Bersani P., Bencivenga M., Siani A.M., Casale G.R. (2005): “Caratterizzazione idrometeorologica del bacino del Tevere: ruolo dell’evapotraspirazione e dell’infiltrazione negli eventi di piena”. *Geologia Tecnica & Ambientale* n.3

Palmieri S., Bencivenga M., Bersani P., Siani A.M., Casale G.R. (2007): “Il Tevere. Evoluzione del fiume e clima” *L’Acqua* n.2.

Palmieri S., Migliardi E., Bersani P. (2008): “Trend and change points in the hydrometeorological history of the Tiber river basin”. *Geologia Tecnica & Ambientale* n.1.

Pani Ermini (1991): “Committenti e produzione artistico-letteraria nell’Alto Medioevo occidentale”. Settimana di studio del Centro italiano di studi sull’Alto Medioevo, XXXIX, Spoleto 4-10 aprile 1991.

Pensuti M. (1923): “Il Tevere”. Roma.

Perrone E., Zoppi G. (1899): “Tevere”. Memorie illustrative della Carta Idrografica d’Italia vol. 26. Ministero Agricoltura Industria e Commercio. Roma.

Perrone E. (1908): “Tevere”. Memorie illustrative della Carta Idrografica d’Italia. Roma.

Pettitt A.N. (1979) A non parametric approach to the change point problem, *Appl Stat.* 28, 126-135.

Pinna M. (1996): “Le variazioni del clima, dall’ultima glaciazione alle prospettive per il XXI secolo”.

Piotti A., Bersani P. - a cura di - (1991): “Piano di bacino del fiume Tevere: determinazione di un primo bilancio conoscitivo del trasporto solido” a cura di e Fase conoscitiva II stralcio S.A.P.P.R.O. s.p.a. – Ministero dei Lavori Pubblici – Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per il Lazio. Roma.

Piotti A., Ferranti C. (1996): “Quaderno idrologico del fiume Tevere” Supplemento al n.2 di “Tevere” rivista quadrimestrale dell’Autorità di bacino del Tevere, Roma.

Pope, V. D., M. L. Gallani, P. R. Rowntree and R. A. Stratton (2000): “The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model” -- *HadCM3. Climate Dynamics*, 16: 123-146.

Possenti C. (1871): “Relazione dell’Ing. Possenti sul piano di sistemazione del Tevere”. Atti Commissione Tevere.

Possenti C. (1872): “Sulle piene del Tevere”. *Giornale del Genio Civile*. Roma.

Ravaglioli A. (1982): “Le rive del Tevere”. Edizioni di Roma centro storico. Roma.

Regione Lazio - Servizio Idrografico Regionale (2003-2010): “Annali idrologici”. Roma.

Regione Lazio (1999): ST10: Studio idrogeologico del complesso vulcanico dei Castelli Romani e sistema gestionale per la tutela della risorsa idrica. A cura dello Studio Lotti & Associati Roma.

Regione Lazio - Centro Funzionale Regionale (2012): “Rapporto di evento del 11 – 16 novembre 2012” a cura dell’Ing. Francesco Mele.

Regione Umbria - Servizio Idrografico Regionale (2002-2020). “Annali idrologici on line”.

Remedia G., Alessandroni M.G., (1997): “Afflusso solido alla foce del Tevere”. *L’acqua* n. 1.

Remedia G., Alessandroni M.G., Ferranti C., Pelillo R. (2000): “Il contributo dei sensori remoti nel preannuncio delle piene in tempo reale” IDRA –XVII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche.

Remedia G., Alessandroni M.G., (2002): “Il trasporto torbido del fiume Tevere a Roma nel XIX e XX secolo”. *Rivista Tevere*. Anno VII n.18-19. Roma.

Remedia G., Alessandroni M. G., Mangianti F. (1998): “Le piene eccezionali del fiume Tevere a Roma Ripetta” Università degli Studi di L’Aquila, Dip. di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT n.3).

Rodionov S. (2005), *A Brief Overview Of The Regime Shift Detection Methods*, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle, USA.

Romano P. (1941): “Rione Ponte”. Vol.I, II e III. Roma del Cinquecento. Tipografia Agostiniana Roma.

Rosa C. (2022). “Lo spostamento del corso del Tevere a nord dell’isola Tiberina agli inizi del II secolo a.C. Giornate di Geologia e Storia. Società Geografica Italiana. Roma 15 dicembre 2022.

Ruisi M., Bersani P., Ferranti C., Vitale V. (2020): “Laghi da Sbarramento per Frana su importanti corsi d’acqua, formati nell’800 nel bacino del Tevere”. *Mem. Descr. Carta Geol. d’It.* Vol. 107, pp. 185-194.

Salbitani E. (1964): “Le piene del fiume Tevere”. I Convegno degli ingegneri idraulici del Corpo del Genio Civile. Tipografie Riunite Donati s.p.a. Parma.

Scifoni S., Bonano M., Marsella M., Tagliaferro V., Manunta M., Lanari R., Ohja C., Sciotti M. (2016): “On the joint exploitation of a long-term DinSAR time series and geological informations for the investigation of ground settlements in the town of Roma (Italy)”. *Remote Sensing of Environment* 182. Pag.113–127

Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale – Ufficio compartimentale di Roma (1999): “Carta dei bacini idrografici” Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali. Ediz. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Roma.

Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (2002): “L’evapotraspirazione del bacino del Tevere e sua relazione con gli eventi estremi” Studio eseguito dal Dipartimento di Fisica dell’Università degli Studi di Roma “La Sapienza” in base ad una Convenzione con il S.I.M.N.

Sezione autonoma del Genio Civile per il Dominio del Litorale del Lazio (1926): “Superficie dei bacini imbriferi”. A cura Ing. Mario Taddeucci.

Siani A. M., Palmieri S. (1988) “Evapotraspirazione sull’Italia”, *Boll.Geof.* VI.

Trenberth K. E. (1990): “Recent Observed Interdecadal Climate Changes in the Northern Hemisphere”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* vol.71, n.7, 988-993.

Torzilli V., Oriani C., Ghimenti E. (1964): “Situazione statica di Ponte Milvio in rapporto anche all’evoluzione dell’alveo del Tevere”. I Convegno degli Ingegneri Idraulici del Corpo del Genio Civile. Parma.

Torzilli V. (1976): “Situazione del fiume Tevere e del suo bacino”. *Rassegna dei Lavori Pubblici*. N.7-8. Roma.

Torzilli V., Dall’Oglio S. (1978): “Lineamenti del programma di organico intervento per l’inserimento del Piano di bacino del fiume Tevere”.

Trigo I.E., Bigg G.R., Davies T.D. (1999): “Objective climatology of cyclones in the Mediterranean Region” *J. Climate* 12.

Trigo I.E., Bigg G.R., Davies T.D. (2002): “Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean” *Weather Forecasting*, 130, n.3.

Ubertini L., Ferrante M. (2001): “L’inondazione di Roma del 1870, prospettiva storica e modellazione numerica”. Convegno sugli ecosistemi urbani. Accademia Nazionale dei Lincei. 22-24 ottobre. Roma.

Ufficio Idrografico e Mareografico, Compartimento di Roma (1921 - 2002): “Annali idrologici Parte I e Parte II”. Roma.

Viterbo A., Berni N., Vitale V. (2006): “L’evento pluviometrico del 25-28 novembre 2005 nel bacino del Tevere”. *Rivista Tevere* n.31-32. Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Roma.

APPENDICE

Analisi granulometriche eseguite su campioni di trasporto solido del Tevere a Roma prelevati dal 1990 al 2005

Elenco certificati delle analisi granulometriche sul trasporto solido

Fig. 1 - TECGEA 15 marzo 1991: campione su banchina - piena 11 dicembre 1990

Fig. 2 - TECGEA 16 maggio 1991: campione da teleferica Porta Portese piena 12 dicembre 1990

Fig. 3 - TECGEA 16 maggio 1991: campione cumulativo prelievi 1990-91 da teleferica P. Portese

Fig. 4 - TECGEA 1996: campione cumulativo misure 1995-96 da teleferica Porta Portese

Fig. 5 - TECGEA 1996 n.1589: campione prelevato in alveo alla teleferica Porta Portese

Fig. 6 - SOGEA 8 aprile 2004 n.14719: campione su banchina della piena del 10 gennaio 2003

Fig. 7- SOGEA 4 gennaio 2006 n.17431: campione su banchina della piena del 27 dicembre 2004

Fig. 8 - SOGEA 4 gennaio 2006 n.17432: campione su banchina della piena del 28 novembre 2005

Fig. 9 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Riva destra

Fig. 10 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Centro alveo

Fig. 11 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Riva sinistra

Fig. 12 - TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Riva destra

Fig. 13- TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Centro alveo

Fig. 14- TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Riva sinistra

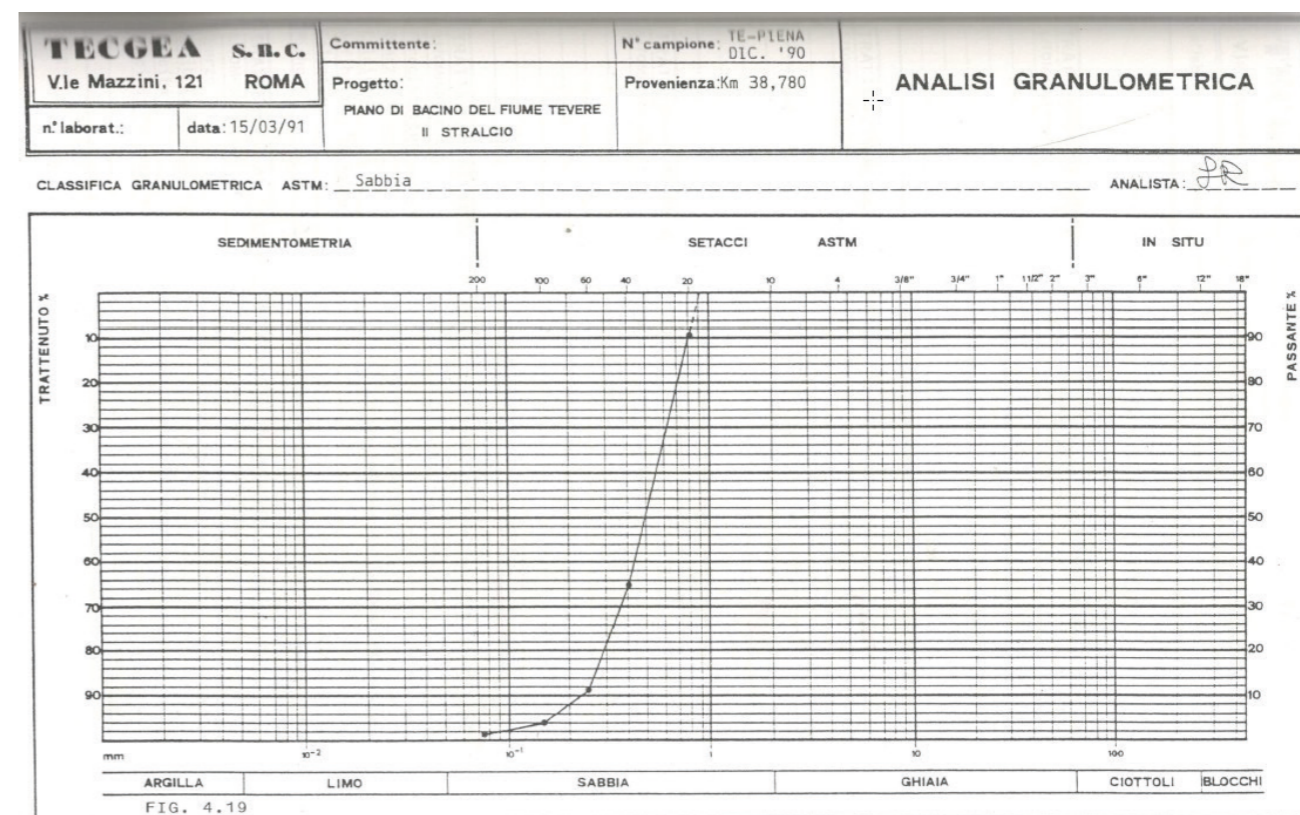


Fig. 1 - TECGEA 15 marzo 1991: campione su banchina - piena 11 dicembre 1990

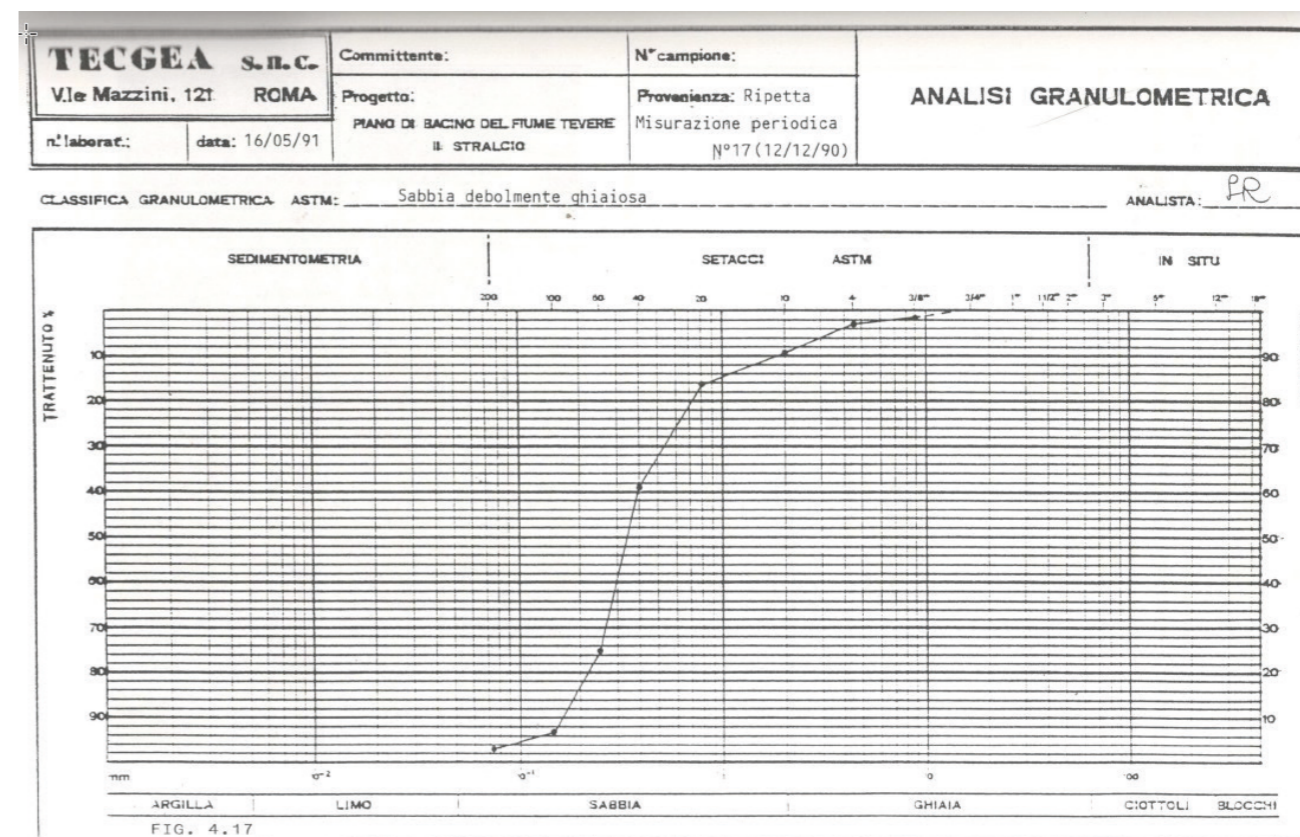


Fig. 2 - TECGEA 16 maggio 1991: campione da teleferica Porta Portese piena 12 dicembre 1990

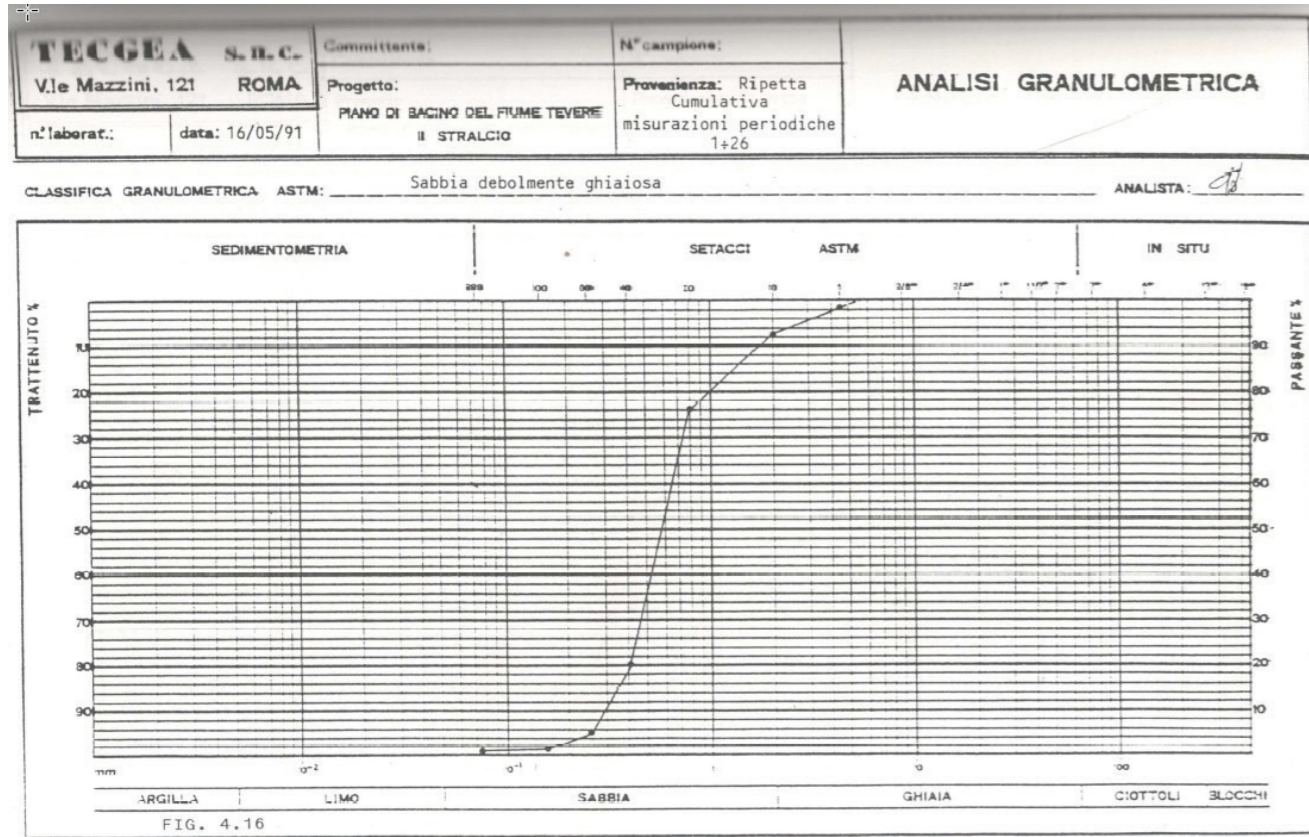


Fig. 3 - TECGEA 16 maggio 1991: campione cumulativo prelievi 1990-91 da teleferica P. Portese

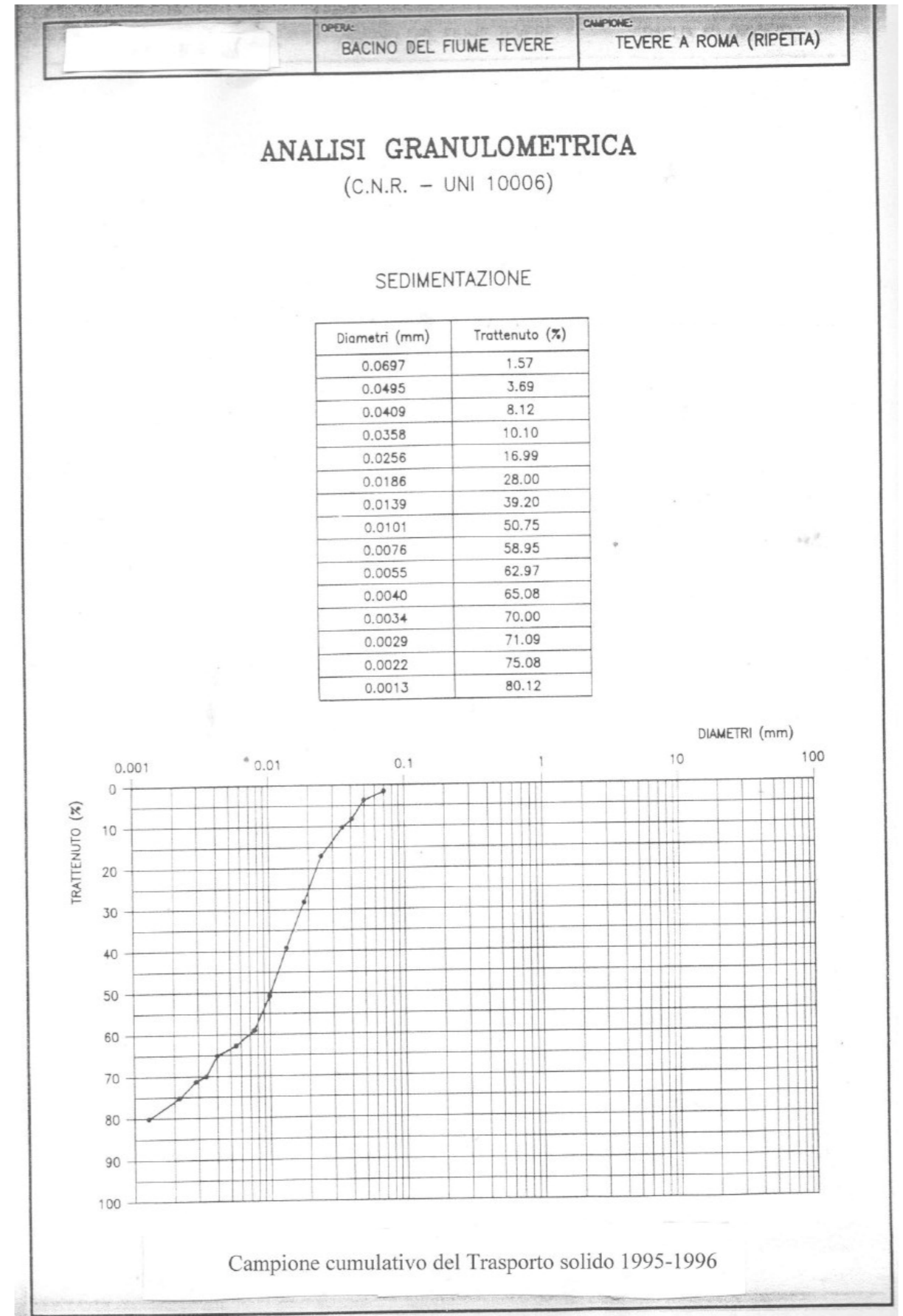
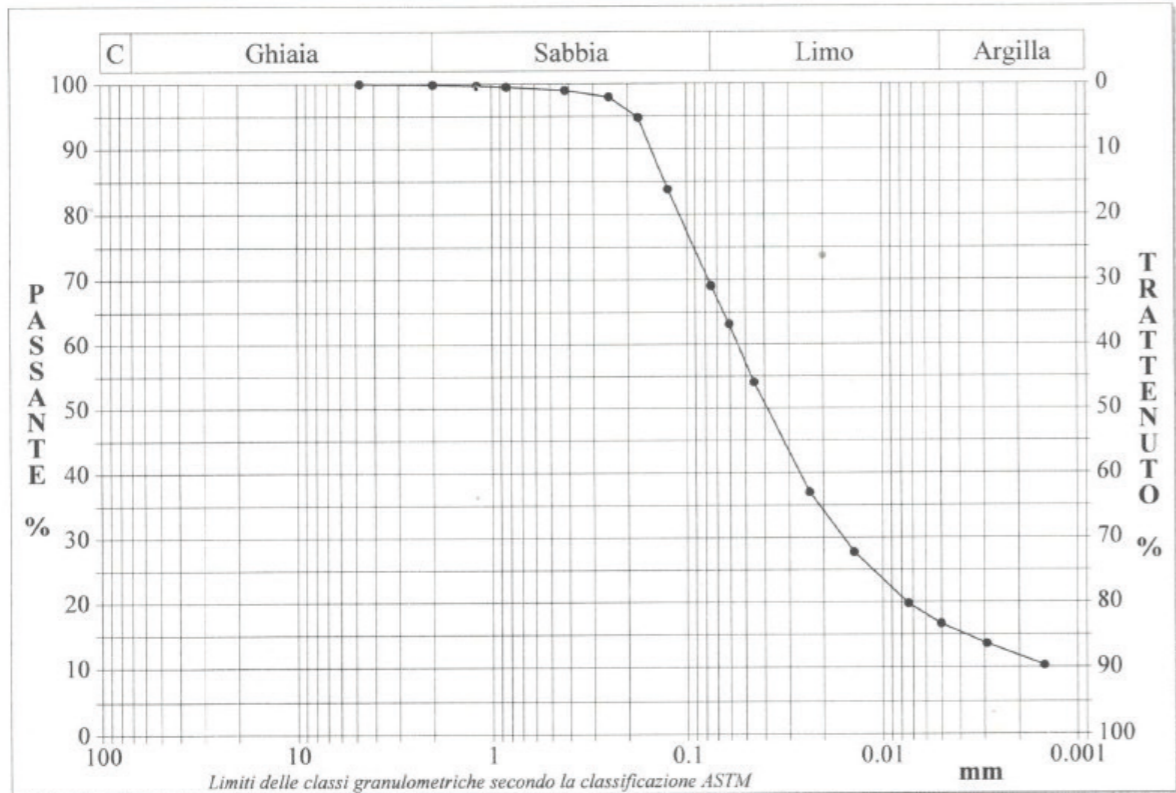


Fig. 4 - TECGEA 1996: campione cumulativo misure 1995-96 da teleferica Porta Portese

Data: 4 gennaio 2006 Certificato n° 17431.GRN

COMMITTENTE: DOTT. PIO BERSANI
RIFERIMENTO: Piena Tevere - Ponte Vittorio Emanuele II°
SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m PIENA 12/04

Ghiaia	0,1 %	Norma ASTM D422		D10	---	mm
Sabbia	30,8 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,9 %	D30	0,01587	mm
Limo	52,5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,0 %	D50	0,03881	mm
Argilla	16,6 %	Passante setaccio 200 (0.074 mm)	69,1 %	D60	0,05476	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura		---	
				D90	0,15188	mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8,0000	100,00	0,1770	89,48	0,0074	11,90				
4,7500	99,97	0,1250	65,44	0,0050	10,30				
2,0000	99,96	0,0750	44,91	0,0029	9,38				
1,1900	99,71	0,0605	43,24	0,0015	8,69				
0,8410	99,54	0,0454	36,38						
0,4200	99,04	0,0236	24,71						
0,2500	98,02	0,0140	17,62						
0,1770	94,82	0,0074	19,75						

17431

Software SGEO

Il Tecnico di Laboratorio
Dott. Andrea Screpanti

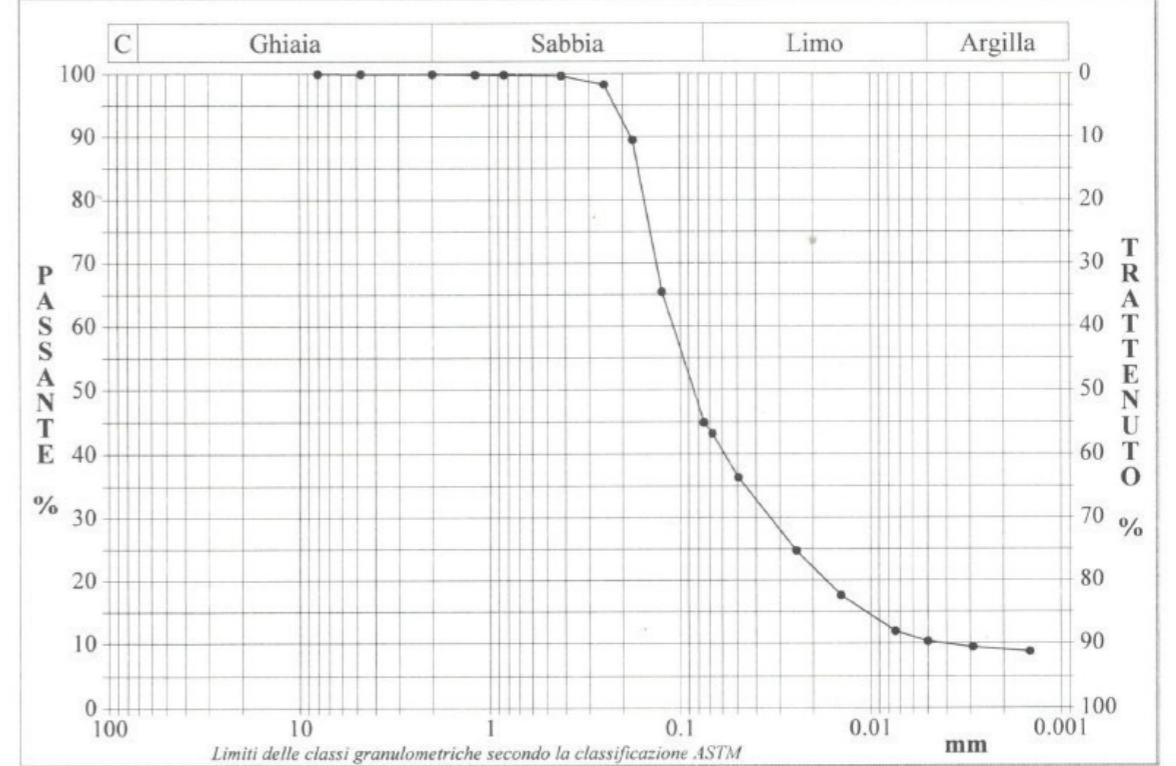
Il Direttore del Laboratorio
Dott. Sergio Rabottino

Fig. 7- SOGEA 4 gennaio 2006 n.17431: campione su banchina della piena del 27 dicembre 2004

Data: 4 gennaio 2006 Certificato n° 17432.GRN

COMMITTENTE: DOTT. PIO BERSANI
RIFERIMENTO: Piena Tevere - Ponte Vittorio Emanuele II°
SONDAGGIO: CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m PIENA 11/05

Ghiaia	0,0 %	Norma ASTM D422		D10	0,00420	mm
Sabbia	55,1 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D30	0,03373	mm
Limo	34,6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,7 %	D50	0,08513	mm
Argilla	10,3 %	Passante setaccio 200 (0.074 mm)	44,9 %	D60	0,10918	mm
Coefficiente di uniformità		25,96	Coefficiente di curvatura		2,48	
				D90	0,18065	mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8,0000	100,00	0,1770	89,48	0,0074	11,90				
4,7500	99,97	0,1250	65,44	0,0050	10,30				
2,0000	99,96	0,0750	44,91	0,0029	9,38				
1,1900	99,89	0,0679	43,24	0,0015	8,69				
0,8410	99,86	0,0495	36,38						
0,4200	99,72	0,0245	24,71						
0,2500	98,29	0,0143	17,62						

17432

Software SGEO

Il Tecnico di Laboratorio
Dott. Andrea Screpanti

Il Direttore del Laboratorio
Dott. Sergio Rabottino

Fig. 8 - SOGEA 4 gennaio 2006 n.17432: campione su banchina della piena del 28 novembre 2005

TECGEA S.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 24/04/90	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) F. Tevere Riva destra (3)	

CLASSIFICA GRANULOMETRICA ASTM: Sabbia limosa con argilla ANALISTA: *C*

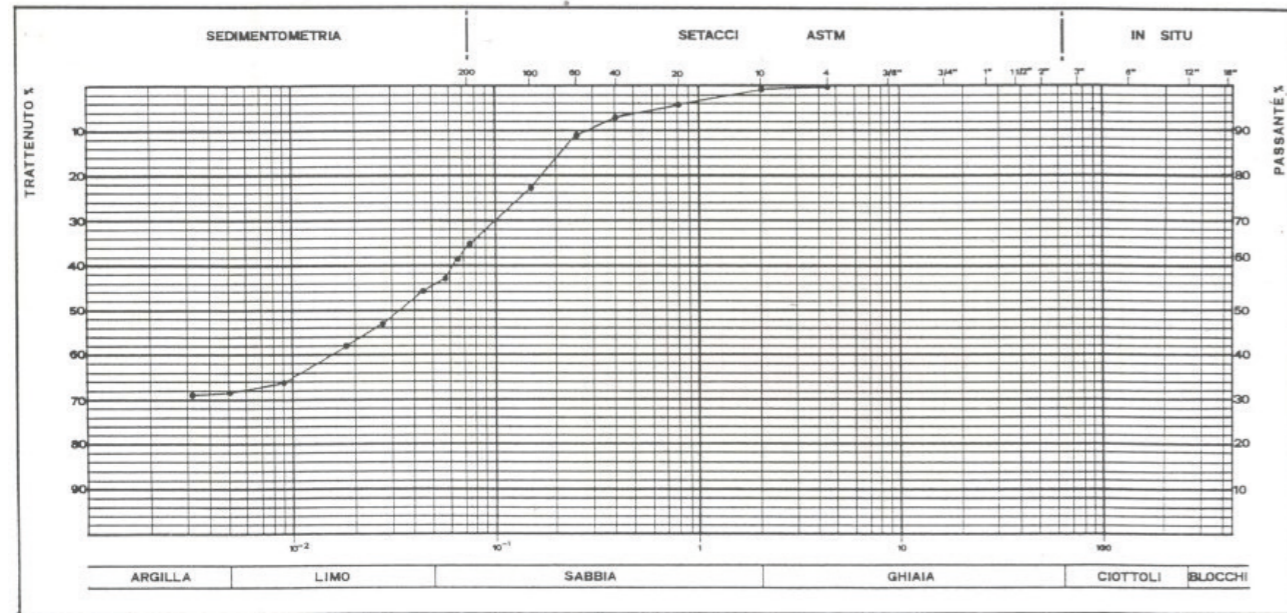


Fig. 9 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Riva destra

TECGEA S.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 24/04/90	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) F. Tevere Riva sinistra (1)	

CLASSIFICA GRANULOMETRICA ASTM: Sabbia con ghiaia argillosa limosa ANALISTA: *B*

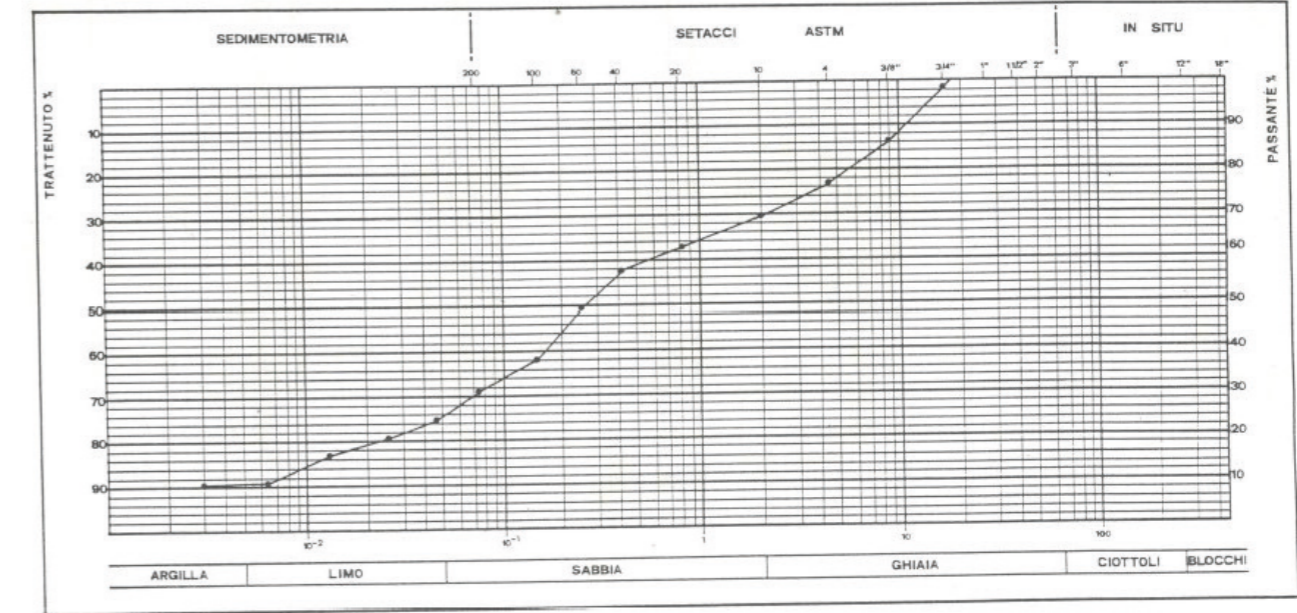


Fig. 11 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Riva sinistra

TECGEA S.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 24/04/90	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) F. Tevere Centro alveo (2)	

CLASSIFICA GRANULOMETRICA ASTM: Sabbia con ghiaia debolmente limo-argillosa ANALISTA: *A*

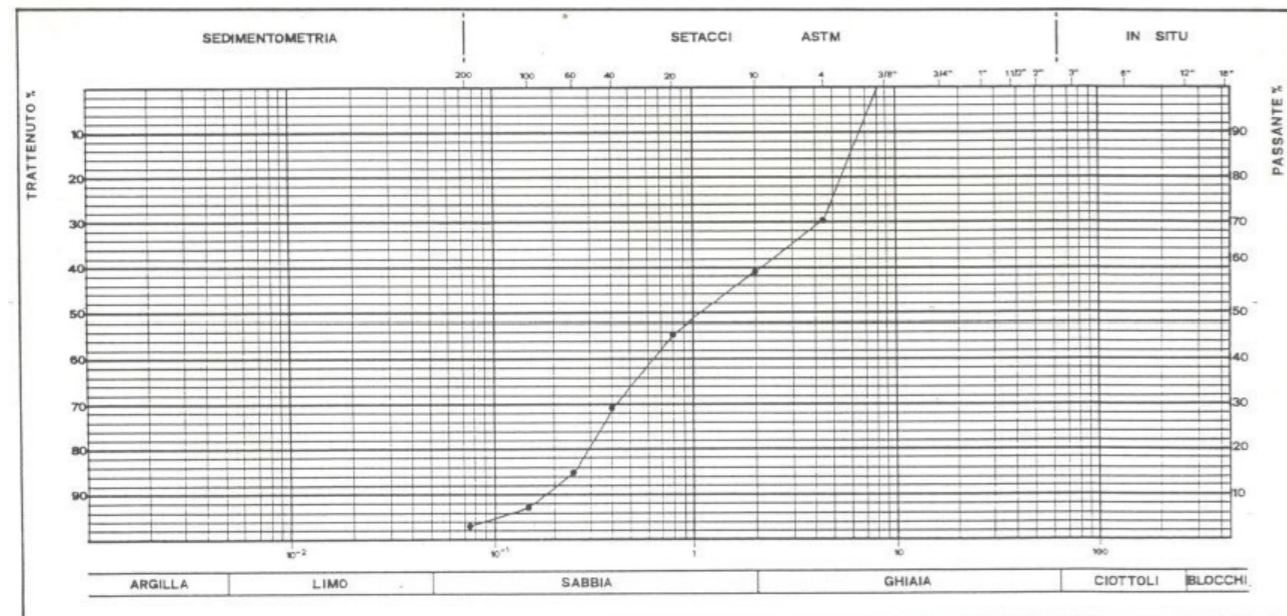


Fig. 10 - TECGEA 24 aprile 1990: campione prelievo 26 marzo 1990 a Porta Portese Centro alveo

TECGEA S.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 16/05/91	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) Fiume Tevere Riva destra (3)	

CLASSIFICA GRANULOMETRICA ASTM: Sabbia ANALISTA: *PR*

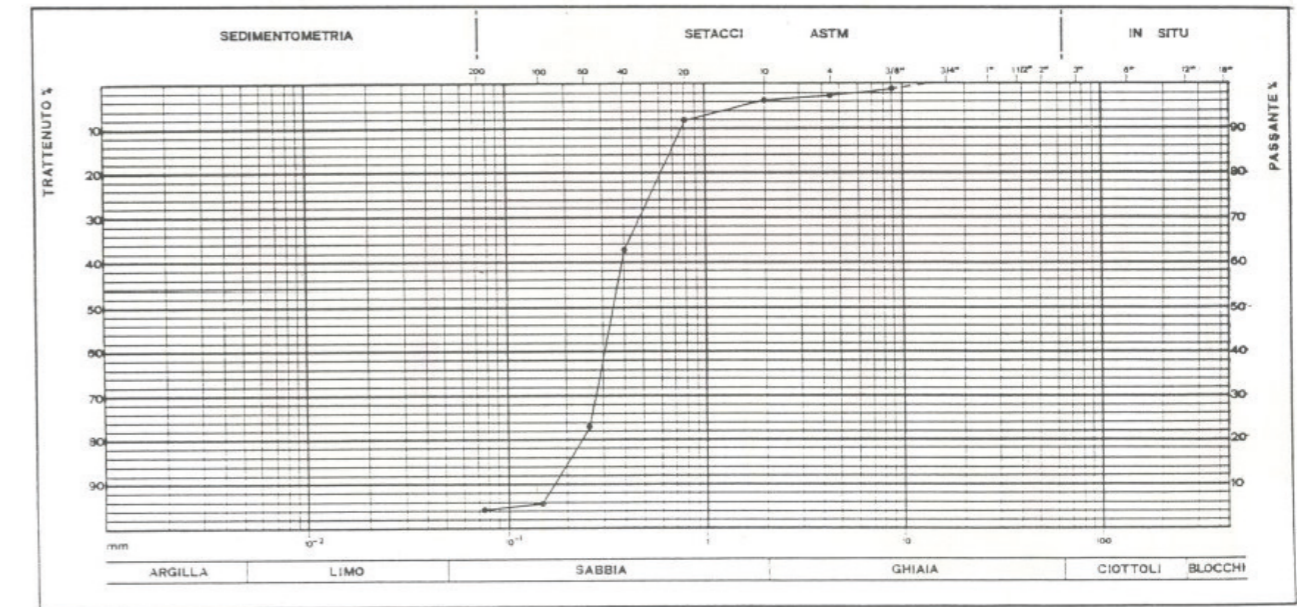


Fig. 12 - TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Riva destra

TECGEA s.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 16/05/91	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) Fiume Tevere Centro alveo (2)	

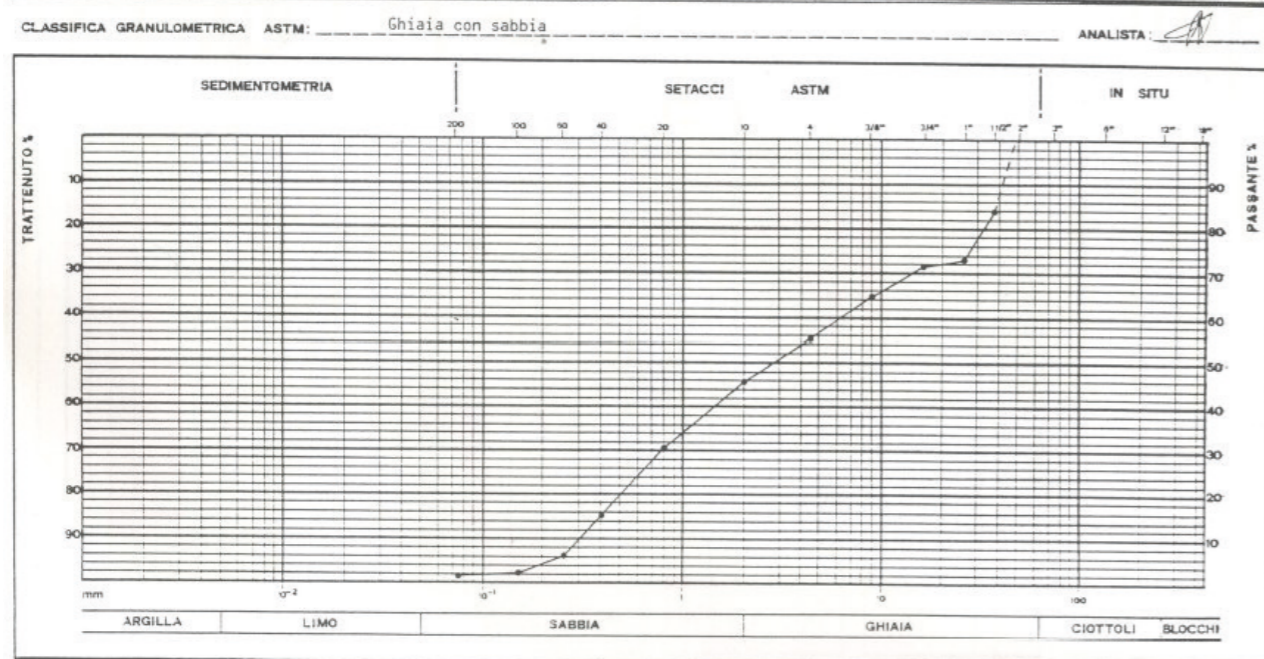


Fig. 13- TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Centro alveo

TECGEA s.n.c. V.le Mazzini, 121 ROMA		Committente:	N° campione:	ANALISI GRANULOMETRICA
n° laborat.:	data: 16/05/91	Progetto: PIANO DI BACINO DEL FIUME TEVERE II STRALCIO	Provenienza: St. "Ripetta" (RM) Fiume Tevere Riva sinistra (1)	

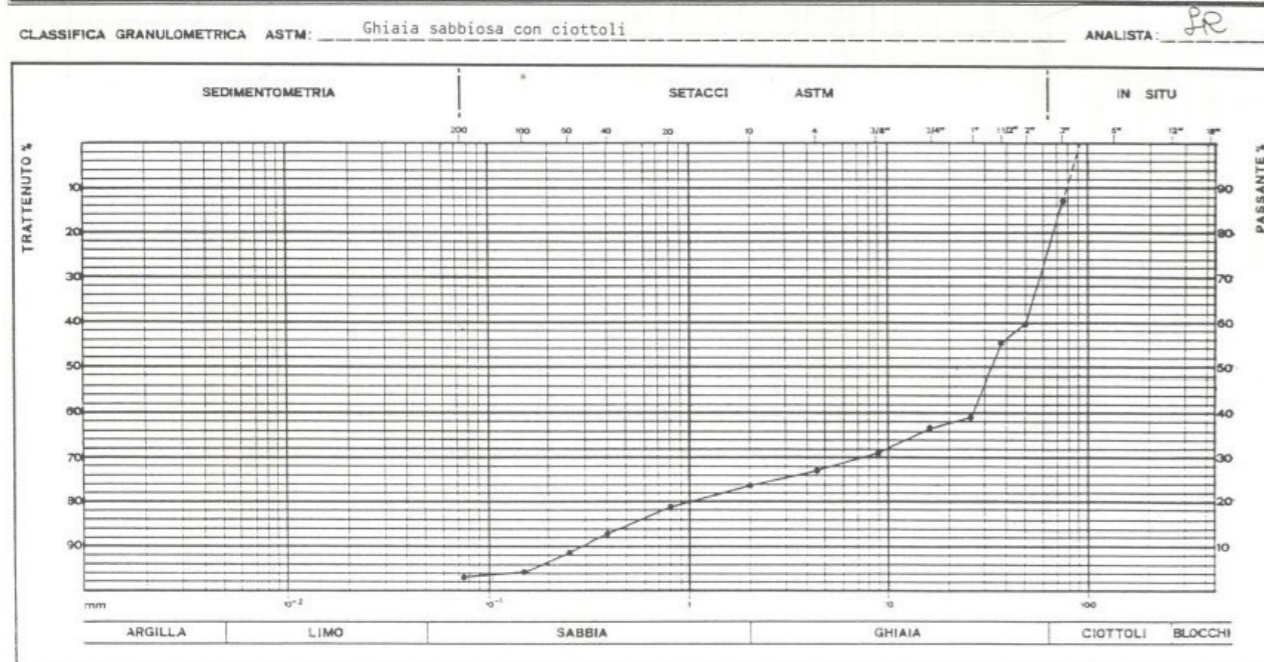


Fig. 14- TECGEA 16 maggio 1991: campione prelievo 28 marzo 1991 a Porta Portese Riva sinistra

ROMA, MARZO 2023