



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE



ISTITUTO RICERCA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

**EVENTO IDRO-PLUVIOMETRICO
DEL 25-28 NOVEMBRE 2005
SUL BACINO DELL'ALTO-MEDIO TEVERE**

S. Barbetta, L. Brocca, F. Melone, T. Moramarco

Aprile 2007

INDICE

1.	Introduzione	1
2.	Il Bacino dell'Alto-Medio Tevere: caratteristiche generali	1
3.	Condizioni meteorologiche di riferimento	4
4.	Analisi termometrica	10
5.	Analisi pluviometrica	11
	Analisi statistica delle precipitazioni massime con durate prefissate	15
6.	Analisi idrometrica.....	15
	Volumi di piena.....	15
	Analisi statistica delle portate al colmo di piena	15
	Coefficienti di deflusso e tempi di risposta.....	15
	Stato iniziale dei bacini idrografici	15
7.	Simulazione con modellistica monodimensionale e bidimensionale a Ponte Nuovo....	15
	Analisi monodimensionale, MIKE11	15
	Analisi bidimensionale, FLOOD2D	15
8.	Monitoraggio della portata in corso d'evento.....	15
	Misure Correntometriche	15
	Ponte Nuovo.....	15
	Monte Molino.....	15
	Relazione funzionale livello-portata in corso d'evento	15
	Ponte Nuovo - teleferica.....	15
	Monte Molino.....	15
9.	Effetto degli sbarramenti artificiali sull'evoluzione della piena	15
	Invaso di Corbara.....	15
	Invaso di Montedoglio	15
	Invaso di Casanuova	15
10.	Conclusioni	15
	Bibliografia	15

1. INTRODUZIONE

Il territorio dell'Italia centrale nelle giornate dal 25 al 27 Novembre del 2005, è stato interessato da precipitazioni intense che hanno coinvolto il bacino del Tevere e, per quanto riguarda gli effetti al suolo nell'Alto e Medio Tevere, il territorio della provincia di Perugia.

L'evento meteorico ha avuto una fase significativa la cui durata è risultata di 48 ore circa, incominciando nelle prime ore del 25 Novembre ad interessare la regione umbra con precipitazioni diffuse che hanno raggiunto massimi cumulati di oltre 100 mm. Significativi incrementi dei livelli idrometrici si sono verificati nella maggior parte dei corsi d'acqua dell'Alto e Medio Tevere causando l'inondazione delle aree perifluviali ed arrecando danni ingenti al territorio interessato. E' di interesse quindi analizzare l'eccezionalità del fenomeno in termini sia di evoluzione naturale che delle eventuali forzanti antropiche che possono averlo amplificato o attenuato in termini di formazione di piena come, ad esempio, la presenza di invasi artificiali.

Scopo quindi di questo rapporto è quello di approfondire la conoscenza complessiva dell'evento alluvionale mediante:

1. l'analisi del fenomeno così come ricostruito dai dati idro-meteorologici acquisiti in fase di evento;
2. la caratterizzazione probabilistica delle precipitazioni e delle portate osservate nelle stazioni idro-meteorologiche attinenti l'area dell'Alto e Medio Tevere;
3. gli effetti esercitati dalla presenza degli invasi artificiali sulla formazione del fenomeno di piena.

2. IL BACINO DELL'ALTO-MEDIO TEVERE: CARATTERISTICHE GENERALI

Il bacino dell'Alto-Medio Tevere, delimitato dal lago artificiale di Corbara, si trova in una zona interna dell'Italia centrale ed ha un'estensione areale pari a circa 5781 km². Il Fiume Tevere si forma nell'Appennino Tosco-Emiliano, ad una quota di circa 1268 m s.l.m., e dopo aver segnato un rapido dislivello, percorre 4 km in Romagna ed entra in Toscana dove bagna l'abitato di Pieve Santo Stefano e lambisce San Sepolcro. Tra queste due località il fiume è intercettato da una diga che ha creato un bacino artificiale denominato lago di Montedoglio. A valle dello sbarramento il Tevere percorre la Val Tiberina entrando nel territorio umbro e lambendo i centri abitati di Città di Castello e Umbertide. Poco più a valle dell'abitato di Torgiano, il Tevere riceve in sinistra idrografica uno dei suoi principali affluenti, il Fiume Chiascio, e nei pressi di Marsciano riceve in destra idrografica le acque del Fiume Nestore. Il corso del fiume prosegue poi attraversando la valle umbra e quindi la stretta gola del Forello fino a formare il grande lago artificiale di Corbara. La lunghezza del canale principale, dalle sorgenti allo sbarramento artificiale di Corbara, è di circa 192 km.

Il bacino dell'Alto-Medio Tevere si sviluppa in ambiente caratterizzato da una complessa orografia e presenta una superficie topografica principalmente collinare con valori di quota che

oscillano tra 150 e 800 m s.l.m., mentre i rilievi montuosi che cingono un'estesa porzione del bacino sono caratterizzati da quote comprese tra 1000 e 1600 m s.l.m. (si veda Figura 1).

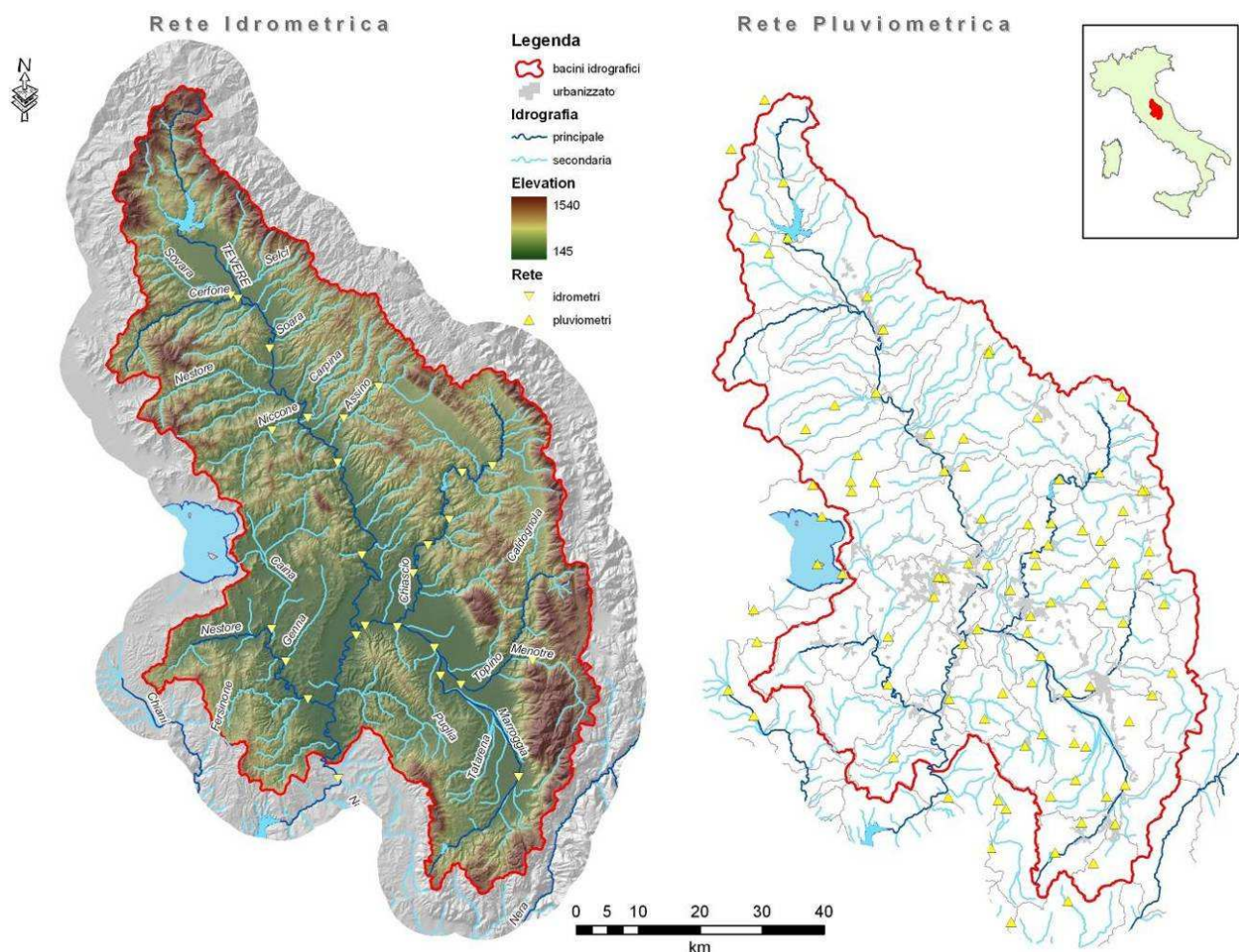


Figura 1. Bacino dell'Alto-Medio Tevere: morfologia e sistema di monitoraggio idro-meteorologico.

I caratteri geologici del bacino sono quelli caratteristici dell'Appennino centrale e centro-settentrionale, rappresentati da una serie di falde sovrapposte e sovrascorse in direzione Est e Nord-Est la cui formazione, cominciata in epoca miocenica, è legata al susseguirsi di una fase tettonica compressiva e di una fase distensiva (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2005). Il corso del fiume si sviluppa, così come quello dei suoi principali affluenti, in corrispondenza di depressioni tettoniche che separano aree strutturalmente e geologicamente differenziate. Nelle valli intermontane del bacino depositi di origine marina si sono sedimentati fino all'epoca pleistocenica quando le coste del mar Tirreno erano localizzate verso l'entroterra a più di 70 km dalla posizione attuale. Successivamente i materiali sedimentari divennero di ambiente litoraneo e quindi di origine continentale. Il bacino dell'Alto-Medio Tevere è caratterizzato principalmente da facies terrigene e depositi flyschoidi (si veda Figura 2) che consistono essenzialmente di argilloscisti e sedimenti marnoso-argillosi interessati da processi erosivi superficiali dovuti all'acqua di dilavamento con formazione di incanalature profonde separate da costoni facilmente sfaldabili (calanchi).

Le proprietà idrologiche del reticolo di drenaggio sono strettamente legate alle condizioni climatiche e alle caratteristiche geologiche (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2005).

Queste ultime influenzano il rapporto tra la quota di acqua che si infila e quella che scorre in superficie (deflusso superficiale). Per quanto concerne il bacino in esame, la maggior parte dell'area è caratterizzata da creste carbonatiche e depositi terrigeni e alluvionali (si veda Figura 2). Le prime sono estremamente permeabili e hanno la capacità di assorbire fino al 50-70% della precipitazione che va a rimpinguare gli acquiferi carbonatici che a loro volta alimentano le principali sorgenti della regione. I depositi terrigeni sono caratterizzati da scarsa permeabilità e capacità di immagazzinamento; al contrario i depositi alluvionali sono permeabili e sede di grandi falde acquifere che alimentano il deflusso di base dei corsi d'acqua sia nel periodo secco che in quello delle precipitazioni abbondanti quando viene a sovrapporsi al deflusso superficiale, responsabile della formazione delle onde di piena lungo le aste fluviali.

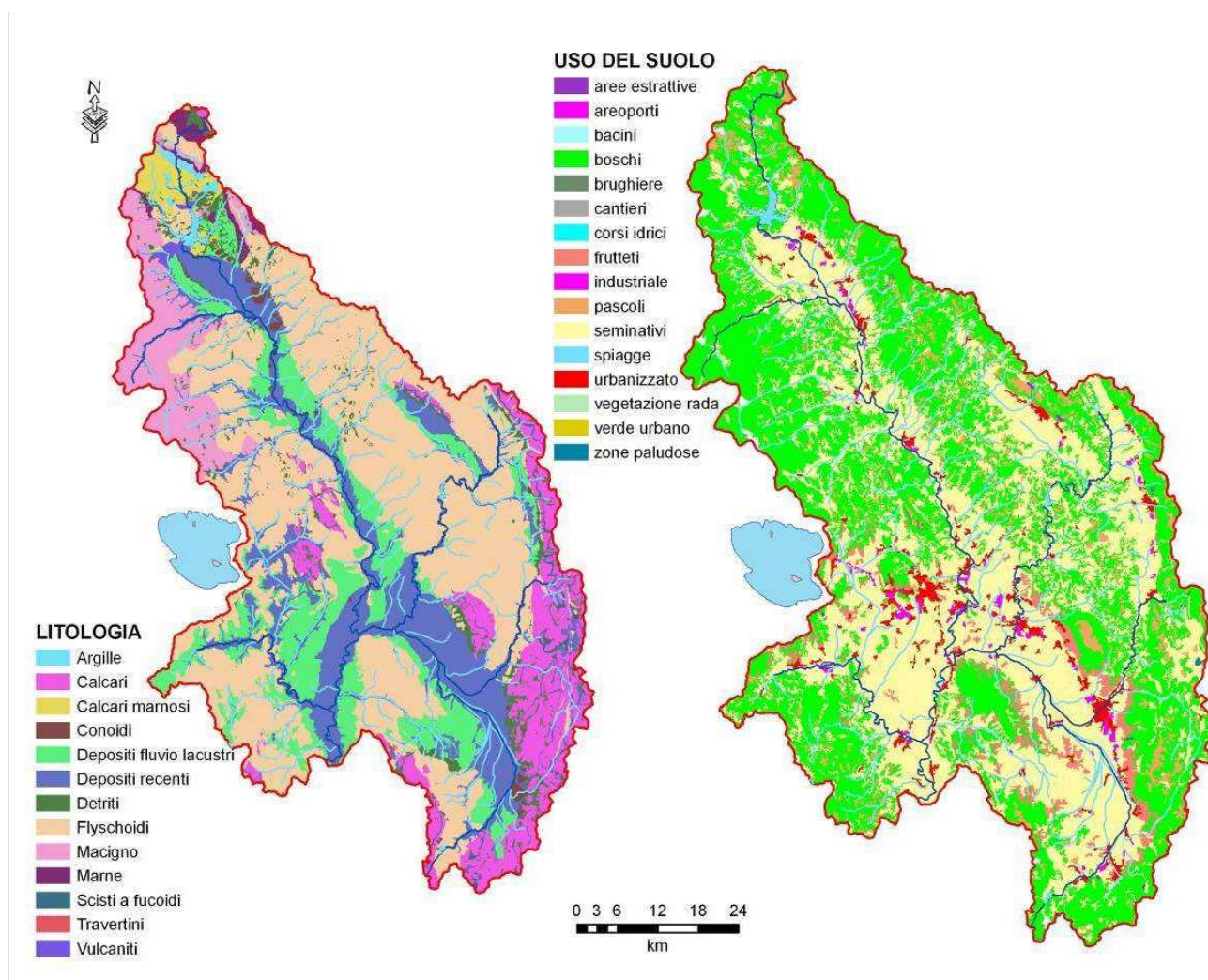


Figura 2. Bacino dell'Alto-Medio Tevere: litologia e uso del suolo.

Il reticolo idrografico del bacino presenta una struttura regolare con valori dei numeri di Horton-Strahler (rapporto di biforcazione, rapporto di lunghezza, rapporto di area) contenuti entro limiti tipicamente indicati in letteratura.

Il regime delle precipitazioni del bacino dell'Alto-Medio Tevere è di tipo sublitoraneo appenninico, caratterizzato da due minimi di precipitazione mensile in estate e in inverno e da due

massimi nel periodo autunnale e primaverile quando si verificano gli eventi di piena più significativi causati da precipitazioni diffuse ed intense.

La precipitazione media annuale è pari a circa 900 mm con minimo valore (700 mm) registrato nelle zone localizzate a quota più bassa e massimo valore (1600 mm) osservato lungo i rilievi montuosi. La temperatura media annua nelle aree a quota più bassa è pari a 16°C, decresce a 14 e 10°C alla quota rispettivamente di 300 e 1000 m s.l.m. per poi raggiungere 8°C a 1400 m s.l.m. e 5.5°C alle quote più elevate. Le precipitazioni a carattere nevoso sono rare ed effimere al di sotto dei 500 m, mentre possono costituire una percentuale non trascurabile (15-20%) della precipitazione totale al di sopra dei 500 e soprattutto dei 1000 m s.l.m.

Il paesaggio del bacino dell'Alto-Medio Tevere si presenta estremamente variegato come conseguenza dei differenti ambienti morfologici e strutturali sopramenzionati che influenzano la circolazione delle acque, il suolo, la vegetazione e la distribuzione delle attività antropiche. Come si può osservare in Figura 2, la maggior parte del territorio è coperta da aree boschive o è destinata ad uso agricolo, mentre le aree urbanizzate, che si sono estese come conseguenza della crescita della popolazione, occupano circa il 3.7% della superficie del bacino (si veda Figura 2). Le aree destinate a colture seminative sono concentrate principalmente nelle zone vallive.

Nel bacino dell'Alto-Medio Tevere è operativa fin dal 1985 una rete di monitoraggio idro-meteorologico di proprietà della Regione Umbria che in seguito a varie integrazioni realizzate nel corso degli anni è attualmente costituita da 23 stazioni idrometriche, 53 stazioni pluviometriche, 32 stazioni termometriche e 12 stazioni di monitoraggio di grandezze meteorologiche (si veda Figura 1). La maggior parte di queste stazioni è collegata ad una unità di controllo centrale mediante ponte radio con funzionamento in tempo reale. In alcune aree del bacino è funzionante dal 1987 un sistema di monitoraggio appartenenti all'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) che comprende 9 stazioni idrometriche, 52 stazioni pluviometriche e 4 stazioni meteorologiche dotate di un sistema di registrazione locale su supporto magnetico. Il bacino dell'Alto-Medio Tevere è in media strumentato con una stazione idrometrica ogni 150 km², mentre la densità della rete pluviometrica, variabile da zona a zona e maggiormente concentrata sul bacino del Chiascio-Topino, è di uno strumento ogni 60 km². Tali caratteristiche della rete di monitoraggio consentono lo studio e la risoluzione di problemi idrologici-idraulici di grande interesse quali l'attività di previsione e prevenzione delle piene, di calcolo del bilancio idrico e di gestione delle risorse idriche.

3. CONDIZIONI METEOROLOGICHE DI RIFERIMENTO

Le intense precipitazioni che hanno interessato il bacino dell'Alto-Medio Tevere tra venerdì 25 e domenica 27 Novembre 2005 con valori di significativa eccezionalità (precipitazioni medie areali dell'ordine di 100 mm in 40 ore) rappresentano il risultato della manifestazione sulla Regione Umbria di un'ampia area depressionaria che ha interessato l'intero continente europeo. In particolare, a partire dalla giornata di venerdì 25 Novembre 2005 un'intensa saccatura, sede di aria fredda di origine polare, si è rapidamente spostata dal Mar di Norvegia verso il Mediterraneo centro-occidentale alimentando la formazione di un ampio sistema di bassa pressione con asse

disposto in direzione Sud-Ovest Nord-Est da Gibilterra alla penisola scandinava. La zona depressionaria ha richiamato dall'Oceano Atlantico verso l'Italia grandi masse di aria umida che scontrandosi con le intense correnti fredde provenienti dai Balcani, richiamate durante i giorni precedenti da un vortice di bassa pressione con minimo localizzato sulle regioni dell'Italia Centrale, hanno prodotto intense e diffuse precipitazioni sulle regioni centro-meridionali. Il sistema frontale della perturbazione si è spostato verso Est dopo circa 48 ore. Tuttavia, il perdurare sulla maggior parte dell'Europa di una vasta area depressionaria ha fatto persistere sull'Italia correnti occidentali instabili e cariche di umidità che hanno causato un susseguirsi di perturbazioni e schiarite fino alla nottata di venerdì 9 Dicembre 2005.

Le immagini mostrate nelle Figure 3-8 rappresentano l'evoluzione della situazione meteorologica brevemente descritta, causa primaria dei numerosi eventi alluvionali che hanno interessato il bacino dell'Alto-Medio Tevere durante la piena del Novembre 2005. In particolare, vengono mostrate le immagini registrate nella banda dell'infrarosso dal satellite Meteosat-8 nella giornata di sabato 26 Novembre (ore 00.00, 06.00, 12.00, 18.00) e nelle prime ore di domenica 27 Novembre (ore 00.00 e 06.00), che può essere ritenuto il periodo più critico nell'evoluzione dell'evento di piena. Le nubi di colore tendente all'arancione-rosso, facilmente individuabili, sono quelle caratterizzate da un maggior carico di vapore acqueo precipitabile.

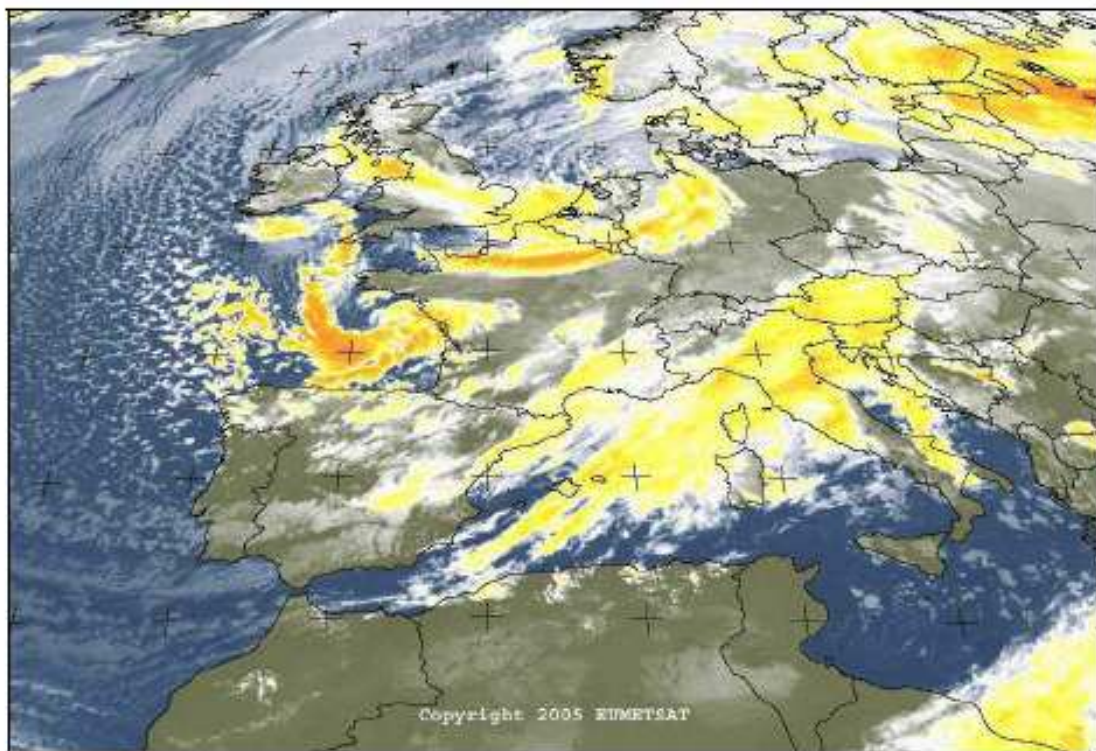


Figura 3. 26/11/05 ore 00.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.

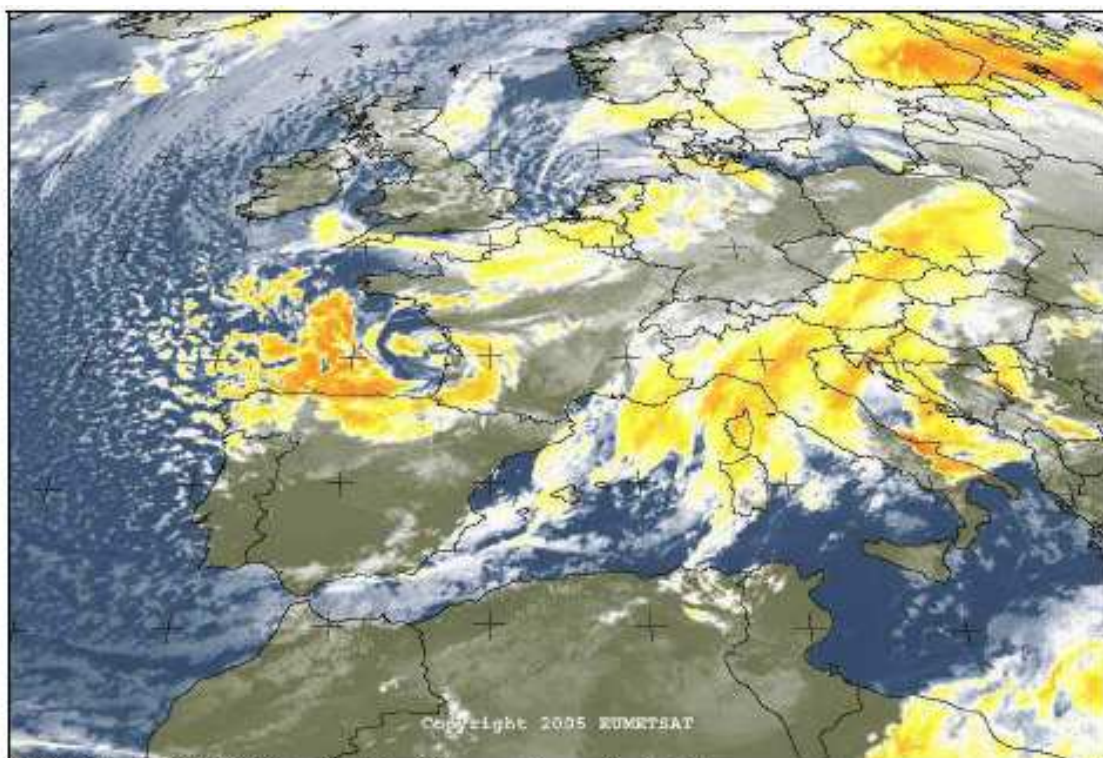


Figura 4. 26/11/05 ore 06.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.



Figura 5. 26/11/05 ore 12.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.



Figura 6. 26/11/05 ore 18.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.

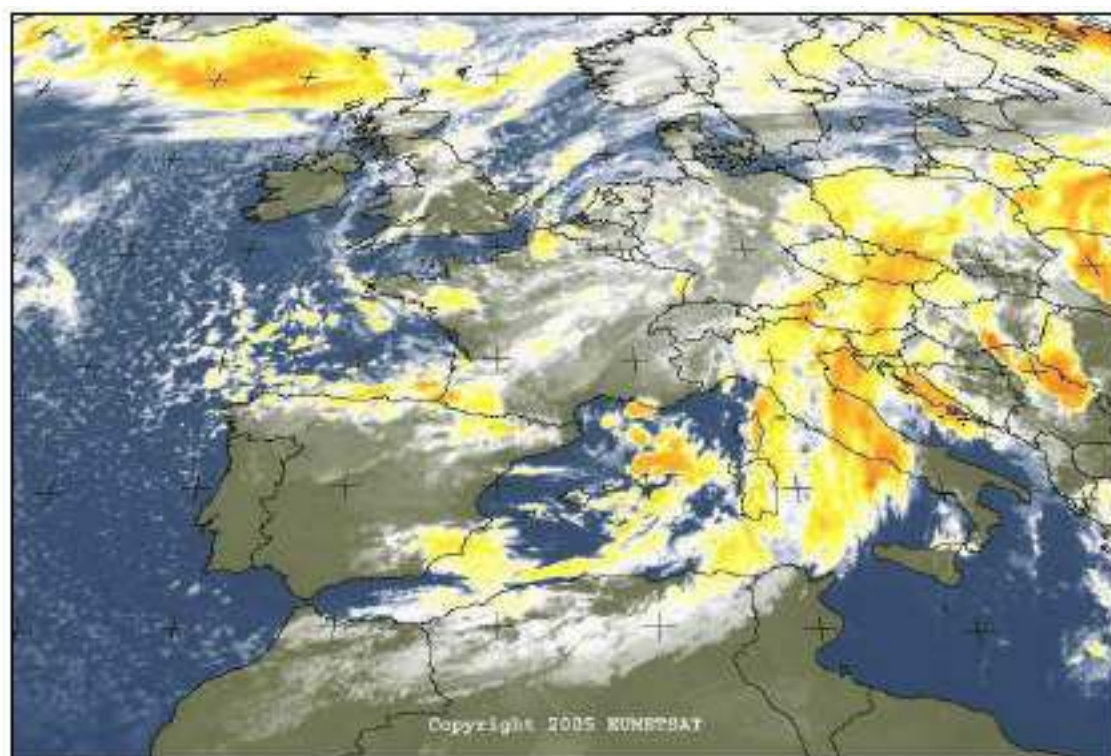


Figura 7. 27/11/05 ore 00.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.

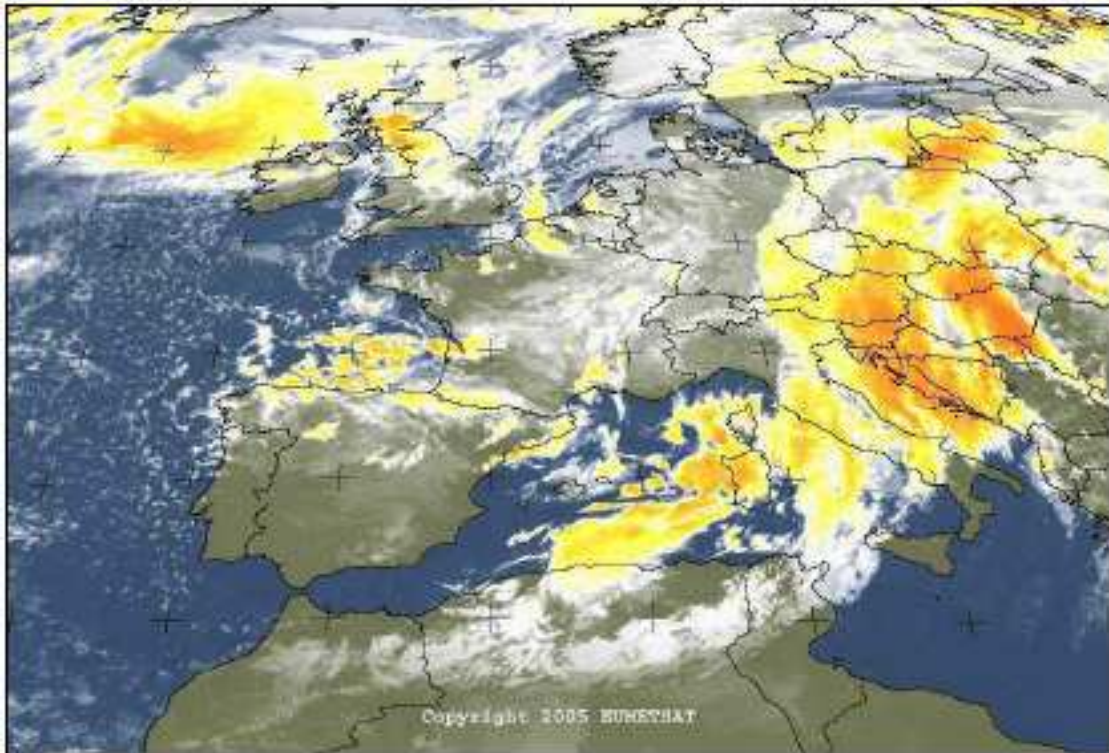


Figura 8. 27/11/05 ore 06.00 UTC – Satellite Meteosat-8, canale IR 8.7.

A completamento della descrizione delle condizioni meteorologiche che hanno generato l'evento di piena, si riportano nelle Figure 9-12 le carte della pressione al suolo relative rispettivamente alle ore 00.00 del 25, 26, 27 e 28 Novembre 2005.

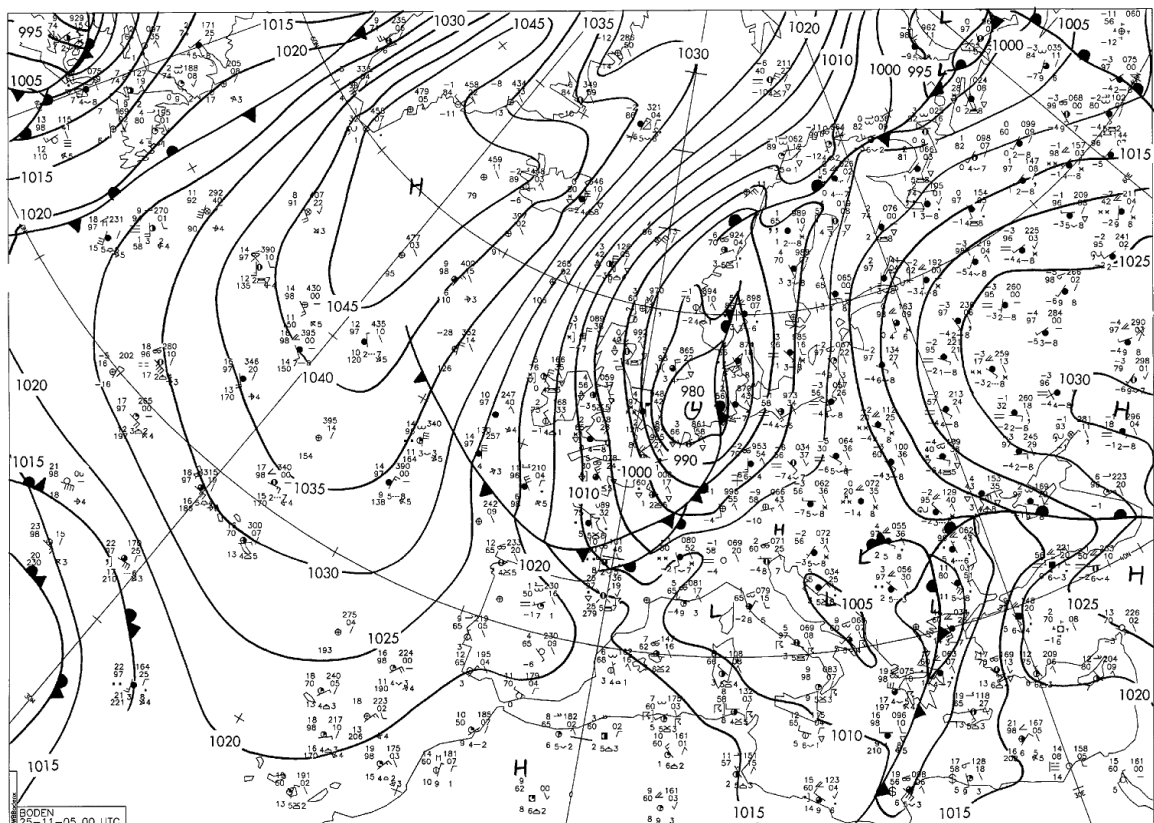


Figura 9. Carta di pressione al suolo relativa al 25/11/05 ore 00.00 UTC.

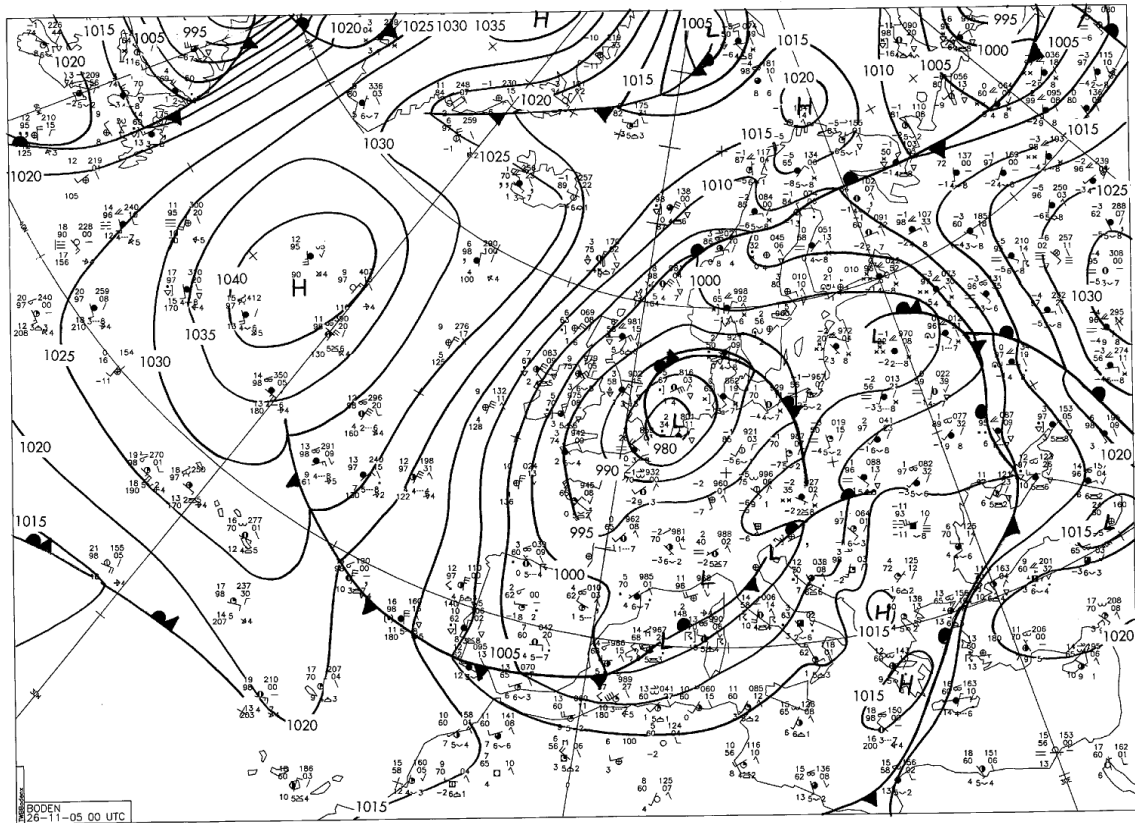


Figura 10. Carta di pressione al suolo relativa al 26/11/05 ore 00.00 UTC.

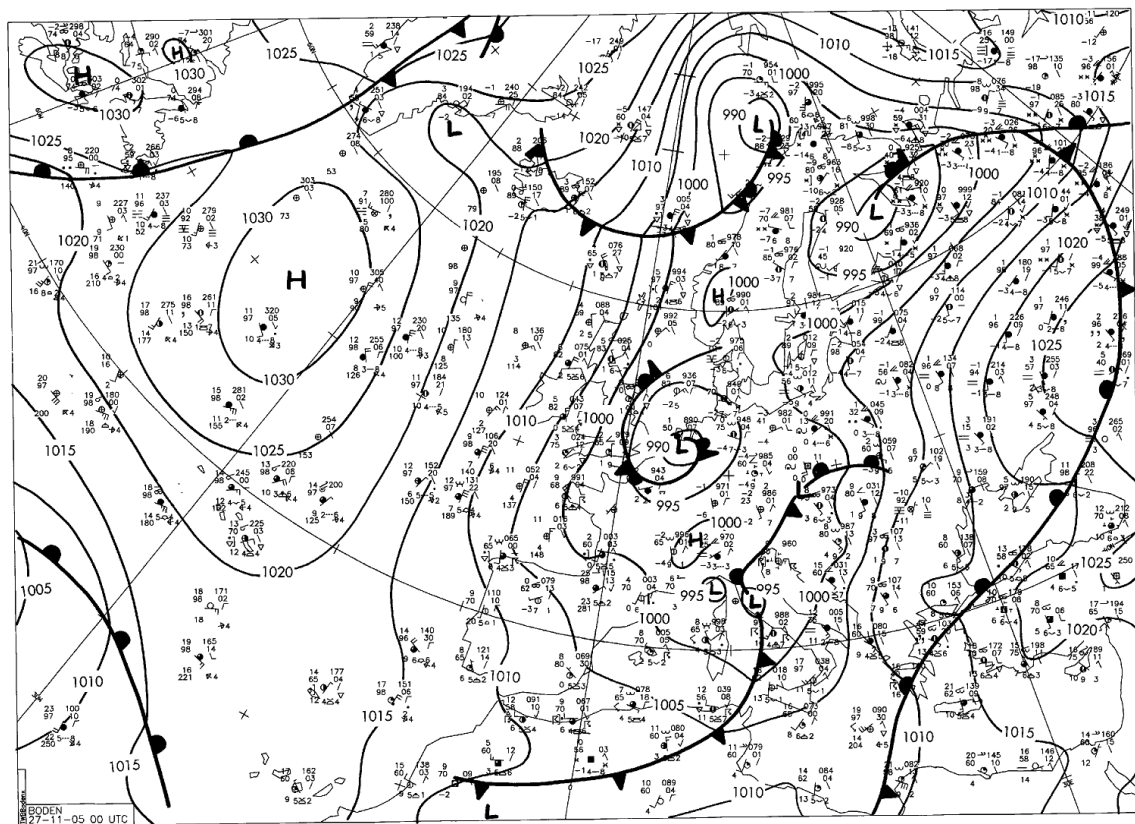


Figura 11. Carta di pressione al suolo relativa al 27/11/05 ore 00.00 UTC.

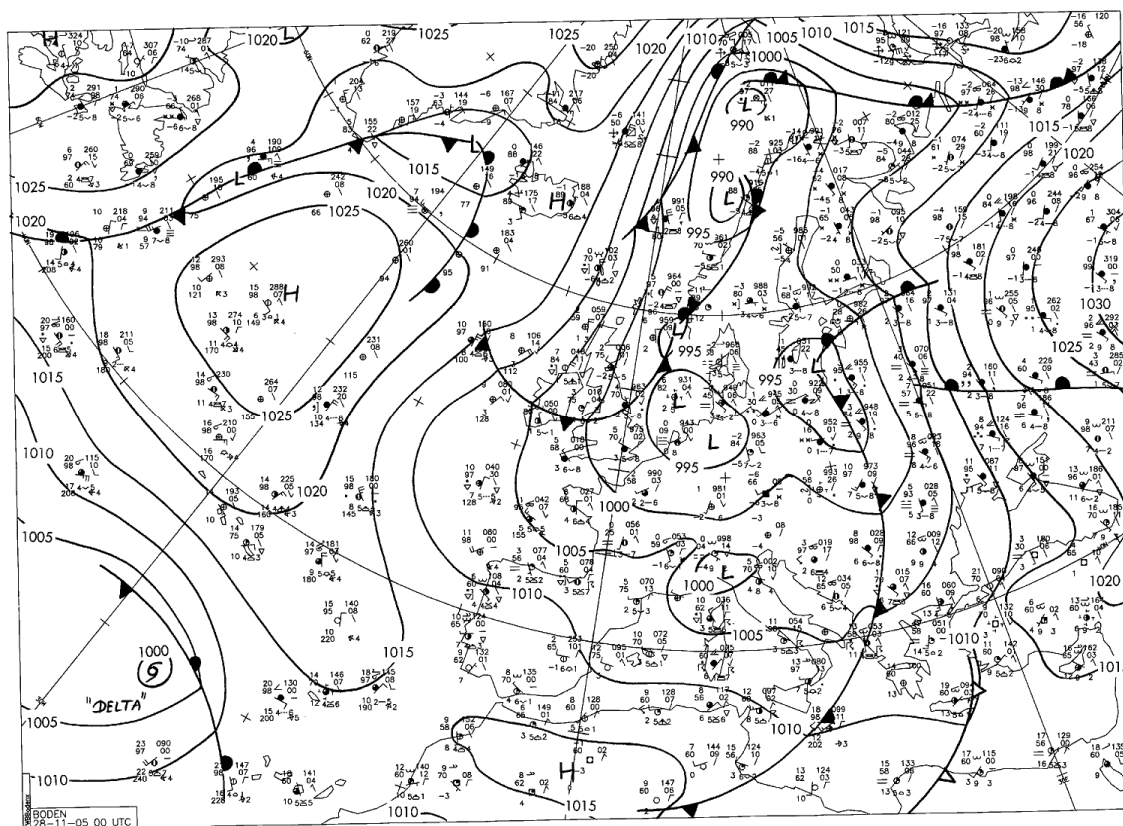


Figura 12. Carta di pressione al suolo relativa al 28/11/05 ore 00.00 UTC.

4. ANALISI TERMOMETRICA

Visto il periodo dell'anno in cui si è verificato l'evento meteorico, risulta fondamentale l'analisi dell'andamento temporale della temperatura dell'aria per valutare sia il tipo di precipitazione sia il possibile contributo della neve presente sui rilievi appenninici.

Per quanto riguarda il primo aspetto, nella Figura 13 sono mostrati i valori della temperatura e della precipitazione registrate dalle due stazioni più in quota, Monte Cucco (1090 m s.l.m.) e Verghereto (1060 m s.l.m.), per il periodo 22-29 Novembre del 2005. Come è ben evidente, durante le ore in cui la zona è stata interessata dall'evento, la temperatura si è mantenuta prevalentemente al di sopra di 3°C che rappresenta una temperatura soglia sopra la quale tutta la precipitazione è assunta di tipo piovoso (U.S. Army Corps of Engineers, 1956). Per quanto riguarda il secondo aspetto, la Figura 14 mostra l'andamento della temperatura media giornaliera in Umbria (ricavata in prima approssimazione come valor medio delle temperature medie giornaliere di tutte le stazioni) nel quale è evidente un brusco innalzamento, pari a circa 6 °C, tra il 25 ed il 26 Novembre. Nella Figura 15 è illustrata la distribuzione spaziale delle temperature medie giornaliere nei giorni 24, 25 e 26 Novembre 2005 che, viste in sequenza, rendono l'idea della rapidità e direzione delle correnti atmosferiche caldissime che hanno probabilmente comportato un parziale o totale scioglimento della neve caduta nei giorni precedenti sui rilievi appenninici. Questo fenomeno può aver fornito un apporto alla formazione delle onde di piena anche se non è possibile quantificarne il contributo a causa della mancanza di informazioni utili. Va evidenziato tuttavia che l'analisi idrologica degli

eventi più significativi occorsi negli ultimi anni fa supporre che tale contributo sia stato non significativo in relazione alle precipitazioni piovose occorse (si veda Paragrafo 6).

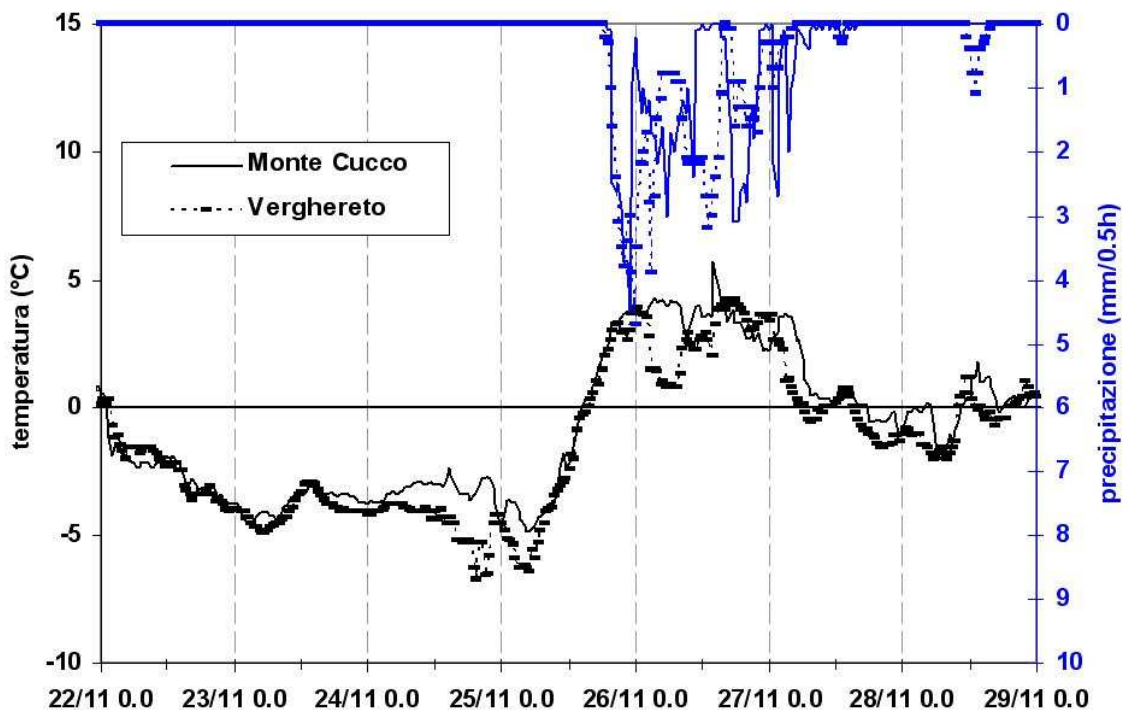


Figura 13. Andamento delle temperature e delle precipitazioni registrate alla stazione di Monte Cucco (1090 m s.l.m.) e Verghereto (1060 m s.l.m.) alla fine di Novembre del 2005.

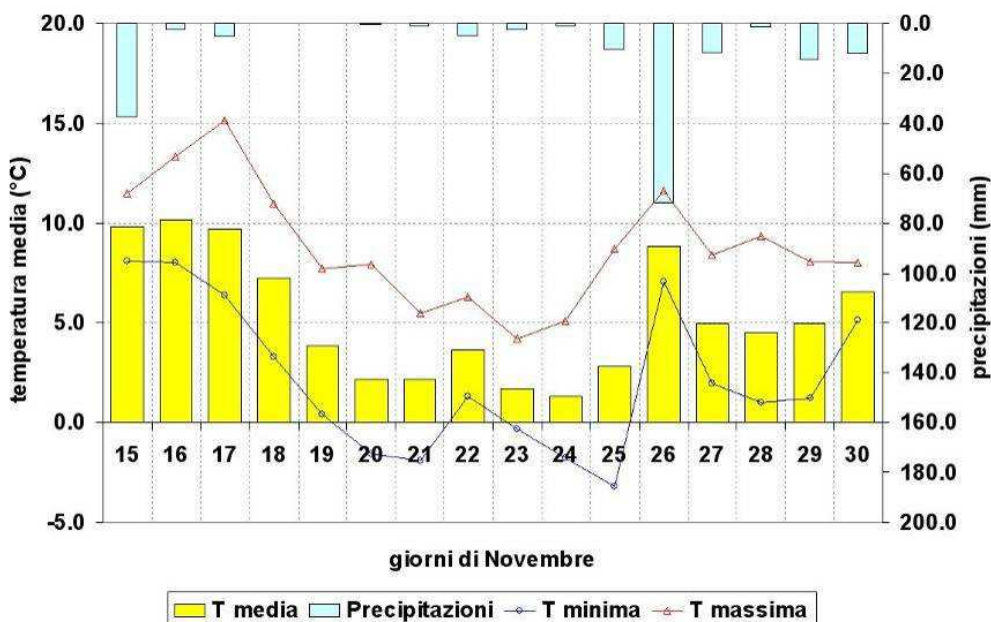


Figura 14. Andamento del valor medio della temperatura media, massima e minima giornaliera tra il 15 e il 30 Novembre 2005 per il bacino dell'Alto-Medio Tevere. In figura è anche mostrato l'andamento delle precipitazioni giornaliere.

5. ANALISI PLUVIOMETRICA

Per quanto concerne il bacino dell'Alto-Medio Tevere l'evento pluviometrico ha avuto globalmente una durata di 54 ore dalle 15.30 del 25/11 alle 21.30 del 27/11. La Figura 16 fornisce un'immagine immediata della distribuzione areale delle precipitazioni mostrando la pioggia cumulata per l'intero evento insieme all'ubicazione delle stazioni pluviometriche utilizzate in questo studio (per un totale di 95 stazioni). Come si può vedere le stazioni sono maggiormente concentrate sul bacino del Chiascio e Topino dove è ubicata la quasi totalità della rete del CNR-IRPI. Si evince chiaramente che a scala di evento la pioggia caduta è risultata distribuita in modo abbastanza uniforme sul bacino con uno spessore pari a circa 100 mm. Valori più bassi sono stati registrati nella zona del Lago Trasimeno (~60 mm), mentre i massimi di precipitazione sono stati registrati nell'area compresa tra Spoleto e Terni (200 mm a Pompagnano), nella zona del Subasio (130 mm ad Armenzano) e tra Nocera Umbra e Cerreto di Spoleto (160 mm a Casenove). Per comprendere come tali precipitazioni sono distribuite sui vari sottobacini, la Tabella 1 riporta le precipitazioni medie areali cumulate per i sottobacini aventi una sezione di chiusura strumentata. Dall'analisi di tale tabella risulta ancor più chiaramente quale sia stato il contributo al deflusso diretto della precipitazione piovosa. Infatti, anche se un'uniformità delle precipitazioni è ancora riscontrabile per la maggior parte dei bacini, la Tabella 1 evidenzia che l'evento meteorico è stato meno intenso (75-80 mm) per i tributari in destra idrografica (T. Niccone e T. Nestore) nel tratto a valle di Umbertide e più significativo (~120 mm) sul bacino del Topino-Marroggia, caratterizzato tuttavia da un'elevata permeabilità e quindi bassa capacità di deflusso.

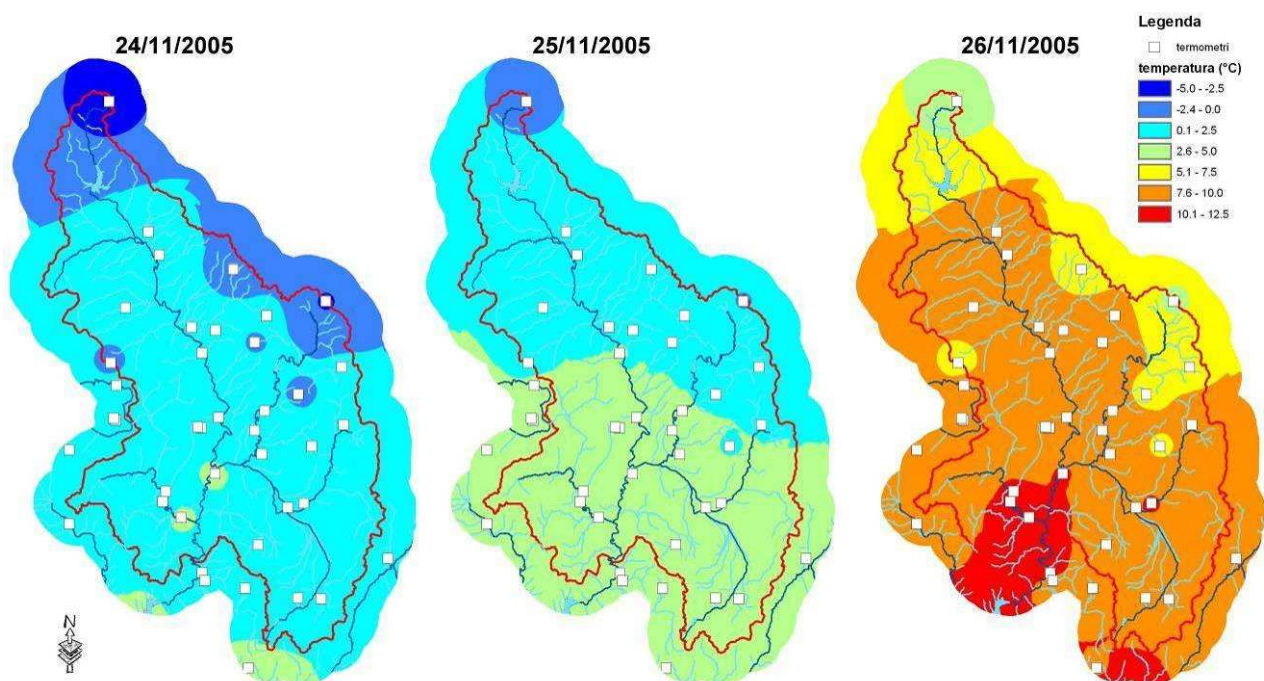


Figura 15. Distribuzione spaziale delle temperature medie giornaliere registrate nei giorni 24, 25 e 26 Novembre 2005.

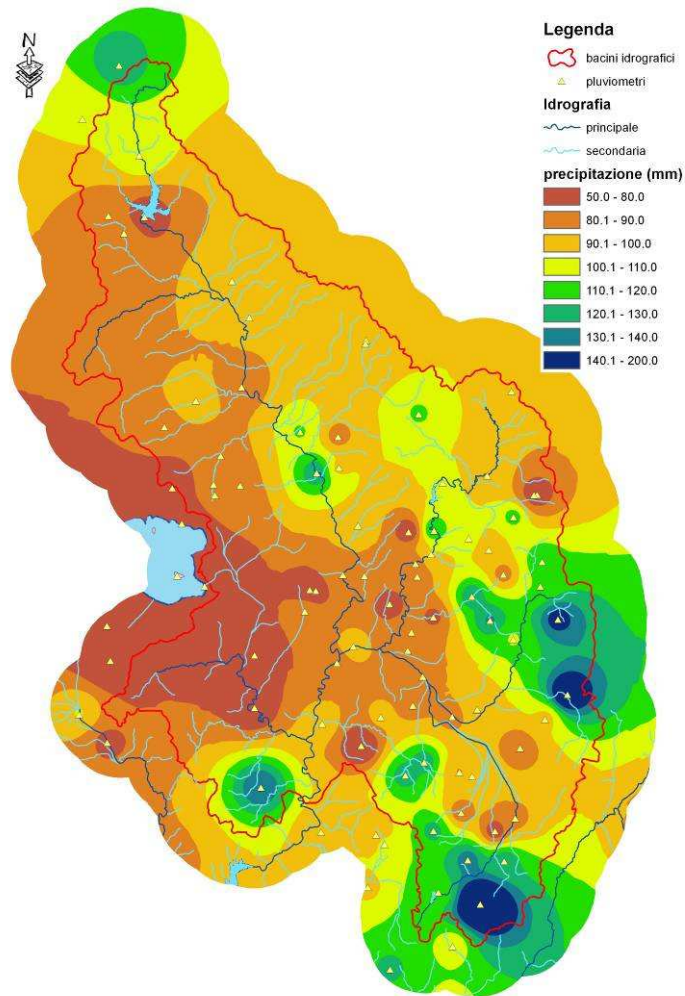


Figura 16. Distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate (in mm) per l'intero evento.

Tabella 1. Precipitazioni medie areali per i sottobacini strumentati dell'Alto-Medio Tevere.

Idrometro	Corso d'acqua	Area Bacino (km ²)	Pioggia media areale		
			cumulata (mm)	massima (mm/0.5h)	media (mm/0.5h)
Santa Lucia	Tevere	933.3	97.0	6.53	0.43
Pierantonio	Tevere	1805.2	94.7	4.96	0.42
Pte Felcino	Tevere	2039.8	95.4	4.62	0.42
Pte Nuovo	Tevere	4145.3	99.9	2.90	0.44
Mte Molino	Tevere	5279.3	97.2	3.08	0.43
Branca	Chiascio	166.0	93.5	3.71	0.41
LaChiusa	Chiascio	403.7	98.7	4.53	0.44
Barcaccia	Chiascio	463.1	99.5	4.59	0.44
Pianello	Chiascio	525.1	100.0	4.69	0.44
Petrignano d'Assisi	Chiascio	547.0	99.3	4.67	0.44
Pte Rosciano	Chiascio	1955.3	105.8	3.66	0.47
Pale	Menotre	118.4	126.4	5.20	0.56
Bevagna	Topino	442.0	120.0	4.79	0.53
Cannara	Topino	1105.0	112.6	4.52	0.50
Pte Bettona	Topino	1221.7	110.5	4.43	0.49
Azzano	Marroggia	257.9	130.6	5.85	0.58
Cantalupo	Timia	549.3	110.2	4.37	0.49
Pistrino	Sovara	128.8	99.0	7.20	0.44
Lupo	Cerfone	283.8	96.4	6.31	0.43
Montone	Carpina	130.8	95.2	4.39	0.42
Mocaiana	Assino	102.3	100.7	4.48	0.45
Serrapartucci	Assino	165.3	95.6	4.56	0.42
Migianella	Niccone	137.3	81.3	4.35	0.36
Monticelli	Caina	230.2	73.7	3.68	0.33
Palazzetta	Genna	89.2	75.6	5.01	0.33
Marsciano	Nestore	724.8	78.1	4.18	0.35

Ancor più interessante risulta l'analisi dell'evoluzione temporale dell'evento pluviometrico. A tale scopo la Tabella 2 riporta le precipitazioni cumulate ogni 6 ore a partire dalle ore 12 del 25 Novembre suddivise per le Macro Aree di seguito riportate (Figura 17):

1. Alto Tevere;
2. Alto-Medio Tevere – sinistra idrografica (Carpina e Assino);
3. Alto-Medio Tevere – destra idrografica (T.Nestore e Niccone);
4. bacino del Chiascio;
5. bacino del Topino;
6. bacino del Timia-Marroggia;
7. bacino del Fiume Nestore;
8. Medio Tevere.

La Figura 18 mostra invece la distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate ogni 6 ore a partire dall'inizio della pioggia. L'analisi della figura evidenzia che si sono succedute due fasi di pioggia: la prima ha interessato principalmente la parte sud-orientale del bacino ed è terminata intorno alle 12:00 del 26/11; la seconda, con un'evoluzione della perturbazione da Nord-Ovest in direzione Sud-Est, si è concentrata sul bacino del Chiascio e Medio Tevere a partire dalle 10.00 del 26/11. Questa seconda fase è stata sicuramente la più critica. Muovendosi lungo la direzione dell'asta principale del Tevere ha trovato terreni maggiormente saturi e, inoltre, come si vedrà in dettaglio nel paragrafo successivo, ha provocato la quasi coincidenza dei picchi di piena per le onde provenienti dal Chiascio-Topino e dal Tevere.

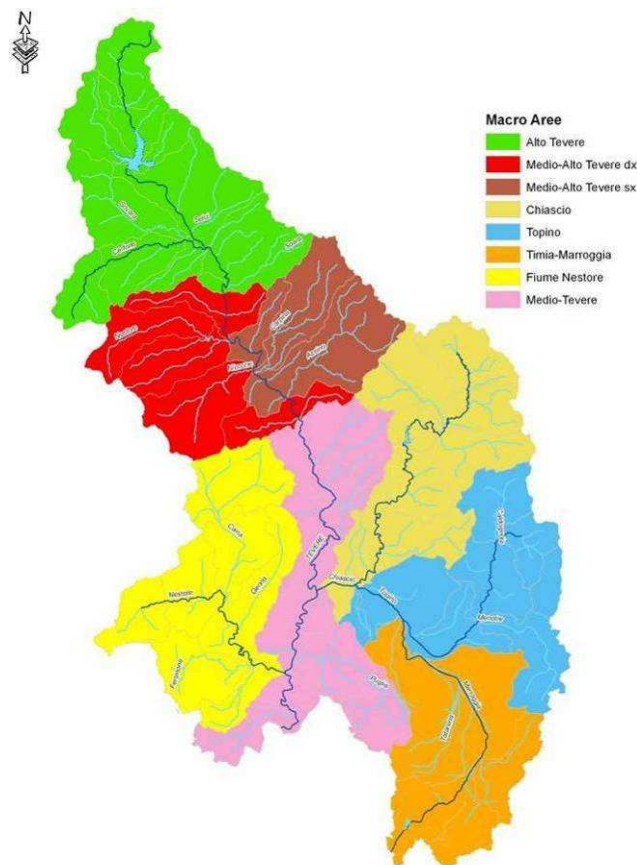


Figura 17. Suddivisione del Alto-Medio bacino del Tevere in Macro Aree.

Tabella 2. Precipitazioni cumulate (mm) ogni 6 ore registrate dai pluviometri durante l'evento di Novembre 2005.

N°	Pluviometri	25/11	26/11	26/11	26/11	26/11	27/11	27/11	27/11	27/11	28/11	28/11	Totale (mm)	Macro Area
		18.00	0.00	6.00	12.00	18.00	0.00	6.00	12.00	18.00	0.00	6.00		
1	Pieve Santo Stefano	10.7	21.1	9.7	30.6	9.5	11.7	0.5	0.0	2.7	0.7	0.8	98.0	Alto Tevere
2	Diga Montedoglio	1.7	13.4	6.4	17.8	15.0	5.5	4.3	0.3	0.9	1.9	0.8	68.0	
3	Cerbara	0.6	9.3	12.1	29.9	28.6	11.3	4.0	0.5	2.3	0.4	0.0	99.0	
4	Ponte alla Piera	6.7	16.1	14.1	25.1	10.3	8.3	2.0	0.0	1.5	0.3	1.1	85.5	
5	Diga Sovara	3.4	16.1	13.4	18.6	16.1	5.8	3.7	0.0	3.3	3.0	1.1	84.5	
6	Citta'di Castello	0.6	8.7	13.9	27.8	22.4	10.5	3.7	0.3	1.9	0.5	0.0	90.3	
7	Verghereto	0.0	26.2	27.8	18.8	20.4	14.3	3.9	0.0	0.7	0.0	0.0	112.1	
8	La Verna	0.0	12.9	28.2	19.7	21.7	14.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	100.7	
9	Trestina	0.0	7.9	13.2	25.0	20.6	7.8	3.8	0.2	2.5	0.7	0.9	82.6	
10	Petrelle	0.1	7.6	15.8	27.6	30.2	10.5	2.1	0.0	2.7	0.1	0.0	96.7	
11	Teverina	0.3	4.9	14.2	24.0	22.0	13.2	3.9	0.0	2.5	1.2	2.1	88.3	
12	Molino	0.0	2.9	11.3	25.6	25.8	9.4	4.7	0.1	2.4	1.1	0.2	83.5	
13	V.di Rosa	0.0	0.8	10.4	25.2	29.8	10.0	6.0	0.0	5.0	0.8	0.0	88.0	
14	Colorso	0.0	1.0	10.4	19.0	26.4	12.4	7.0	0.0	6.2	1.0	0.2	83.6	
15	Montelovesco	0.9	2.6	14.8	18.6	12.1	24.6	7.6	0.4	3.9	0.2	0.0	85.7	
16	Pierantonio	0.0	5.8	18.8	32.4	21.8	32.2	14.0	0.4	4.2	0.2	0.0	129.8	
17	Preggio	0.0	1.4	11.8	20.8	25.8	17.4	7.2	0.0	2.2	0.2	0.2	87.0	
18	La Cima	1.6	0.6	6.6	22.2	20.8	6.2	2.4	0.2	1.4	0.0	0.0	62.0	
19	Passignano	0.0	0.4	7.8	16.2	21.8	8.0	4.0	0.0	3.6	0.0	0.0	61.8	
20	S.Benedetto Vecchio	0.0	5.1	15.2	24.2	12.4	21.1	9.3	0.2	2.1	0.5	0.0	90.1	
21	Umbertide	0.0	3.4	15.0	31.4	24.2	22.0	10.8	0.2	3.4	0.2	0.0	110.6	
22	Badia S.Benedetto	0.0	5.1	15.2	24.2	12.4	21.1	9.3	0.2	2.1	0.6	0.4	90.6	
23	Monte Cucco	0.0	23.5	18.0	16.9	6.3	19.7	10.0	1.3	0.7	0.0	0.0	96.4	
24	Gubbio	0.0	6.6	18.8	20.8	18.0	31.4	10.6	1.2	3.4	0.0	0.0	110.8	
25	Branca	0.0	3.6	21.2	18.0	10.4	29.8	9.0	2.6	1.8	1.4	1.4	99.2	
26	Colpalombo	0.0	6.4	19.0	14.4	18.6	31.8	6.8	1.4	1.4	1.4	0.8	102.0	
27	Casa Castalda	0.0	3.5	23.9	17.2	14.6	31.4	8.7	2.8	1.2	2.0	0.0	105.3	
28	Gualdo Tadino	0.0	2.4	14.4	15.0	5.4	25.2	6.2	3.0	1.6	1.2	0.0	74.4	
29	Gualdo Tadino	0.0	2.4	14.4	15.0	5.4	25.2	6.2	3.0	1.6	1.2	0.0	74.4	
30	Grello	0.0	4.0	26.8	20.4	10.4	36.4	8.2	4.2	1.6	1.6	0.4	114.0	
31	Montemezzo	0.0	4.8	19.6	16.2	9.2	26.0	8.0	3.8	1.2	0.8	0.6	90.2	
32	Biscina	0.0	5.2	19.8	19.1	20.4	39.4	12.4	1.9	2.0	1.5	0.0	121.7	
33	Valfabbrica	0.0	4.4	13.2	13.8	16.4	33.6	11.6	2.6	4.0	0.4	0.2	100.2	
34	Pianello	0.0	4.4	12.0	10.2	15.4	26.8	10.4	2.4	3.2	0.6	0.0	85.4	
35	Podere Soderi	0.0	3.0	11.0	9.4	14.4	27.6	10.6	3.2	2.2	2.6	0.2	84.2	
36	Cateuccio	0.0	2.4	22.0	16.8	6.2	32.2	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	
37	Petrignano	0.0	1.6	10.2	8.0	16.8	21.0	7.4	3.6	4.8	0.2	0.0	73.6	
38	Piano alla Pieve	0.0	3.0	13.6	24.4	9.2	52.2	11.6	5.6	3.2	1.4	5.0	129.2	
39	Assisi	0.0	0.6	9.5	11.4	8.7	28.2	6.4	4.9	2.8	4.2	0.0	76.7	
40	Rosciano	0.0	2.0	13.2	12.6	25.2	28.2	8.8	4.0	3.6	0.2	0.0	97.8	
41	Salette	0.0	5.6	25.4	24.0	5.6	32.4	11.2	6.4	3.4	2.4	2.4	118.8	
42	Nocera Umbra	0.0	6.7	27.9	24.3	3.4	26.9	10.1	6.1	3.1	1.5	0.0	110.0	
43	Sorifa	0.3	12.6	28.0	36.6	3.7	33.3	14.7	6.4	6.3	3.1	1.2	146.2	
44	Armenzano	0.0	6.6	24.0	31.0	5.0	38.4	10.2	6.8	6.8	2.8	0.0	131.6	
45	Pasano	0.0	6.4	25.0	25.4	2.6	23.6	12.0	6.8	6.0	1.2	0.2	109.2	
46	Bastia Umbra	0.0	0.8	13.9	11.3	13.5	28.7	5.5	4.0	3.2	2.2	0.0	83.1	
47	Cannara	0.0	3.8	16.8	16.8	7.3	27.0	4.7	6.6	1.3	1.0	0.0	85.3	
48	Tor d'Andrea	0.0	2.0	15.4	12.6	12.8	27.0	6.0	3.4	4.2	0.8	0.0	84.2	
49	Bevagna	3.8	4.8	9.8	18.0	6.0	25.8	5.0	8.0	3.8	0.4	0.0	85.4	
50	Foligno	2.6	5.3	8.8	25.3	3.8	29.2	5.9	9.8	3.1	0.8	0.0	94.6	
51	Casenove	7.4	10.8	38.4	40.8	1.6	36.0	13.2	4.4	5.2	0.6	3.0	161.4	
52	Azzano	2.2	5.9	17.1	19.3	1.8	27.2	6.4	3.5	3.7	0.0	0.0	87.1	
53	Castel Buono	1.4	4.2	17.2	16.2	7.2	23.4	4.8	7.0	3.6	0.6	0.2	85.8	
54	Cancelli	2.4	4.2	20.0	23.6	1.4	22.0	10.0	2.4	8.2	0.4	2.2	96.8	
55	Manciano	2.8	3.0	18.0	26.0	0.0	12.2	6.6	6.8	2.6	0.0	3.4	81.4	
56	Turrita	2.0	3.0	12.0	24.0	3.4	24.2	6.0	9.4	3.2	0.2	2.0	89.4	
57	Castel Ritaldi	2.6	4.4	18.8	29.4	0.0	17.2	4.8	2.6	2.6	0.0	0.6	83.0	
58	Monte Martano	6.0	5.5	21.1	32.5	4.5	33.8	7.2	4.5	7.1	0.0	1.3	123.5	
59	Ponte Bari	1.0	5.4	13.6	15.2	2.0	25.8	4.4	1.4	2.6	0.0	0.2	71.6	
60	Fsso Impiccati	2.2	2.0	14.6	24.2	2.8	25.0	7.8	8.4	3.8	0.0	5.2	96.0	
61	S.Silvestro	2.0	10.4	27.1	33.1	5.7	38.4	7.7	3.7	7.5	0.0	0.0	135.6	
62	Diga d'Arezzo	1.6	7.2	17.0	24.6	4.8	41.0	4.8	3.0	5.8	0.0	0.2	110.0	
63	Spoleto	0.6	12.2	27.6	25.6	4.4	41.6	7.4	3.0	3.8	0.2	0.0	126.4	
64	Pompagnano	2.7	26.3	52.4	34.3	4.5	58.4	11.1	3.3	7.1	0.1	0.1	200.3	
65	Polvese 2 La Villa	0.0	0.4	6.2	23.2	26.6	15.2	7.0	0.0	4.8	0.2	0.0	83.6	
66	S.Savino	0.0	1.6	7.8	12.6	11.4	12.8	5.0	0.2	1.8	0.0	0.0	53.2	
67	Strada Prov.302	0.0	1.0	5.0	14.6	17.4	7.2	3.6	0.0	2.4	0.0	0.0	51.2	
68	Compignano	0.3	2.3	13.9	13.3	16.0	13.9	6.2	0.4	4.7	0.1	0.0	71.1	
69	G.S.Giuliana	0.2	3.2	10.6	11.0	14.8	19.2	14.0	1.2	3.6	0.2	0.0	78.0	
70	Perugia Sede	0.0	2.4	8.3	12.0	13.5	18.4	13.5	0.8	2.4	0.7	0.0	72.0	
71	Pg P.Pietra	0.0	3.8	8.2	16.0	15.0	19.2	18.6	0.6	3.2	0.6	0.2	85.4	
72	S.Biagio della Valle	0.0	4.2	7.8	13.0	14.0	15.4	11.8	0.5	3.6	0.1	0.0	70.4	
73	Villastrada	0.0	1.4	5.8	24.0	32.8	7.2	2.4	0.2	3.6	0.2	0.0	77.6	
74	Ponte S.Maria	2.6	5.6	7.0	19.8	18.2	12.6	7.0	0.2	5.0	0.0	0.0	78.0	
75	Ponticelli	1.6	6.8	13.4	21.0	37.4	10.0	5.2	0.6	4.2	0.2	0.0	100.4	
76	Moiano	0.2	1.0	5.0	22.2	22.6	8.2	3.4	0.4	2.8	0.0	0.0	65.8	
77	Ripalvella	6.3	7.1	21.1	22.9	37.3	27.6	6.1	5.9	5.3	0.1	0.0	139.7	
78	Pietramelina	0.0	4.6	14.2	19.4	16.4	24.4	11.8	0.8	3.4	1.4	1.8	98.2	
79	Ramazzano	0.0	4.2	13.4	13.6	16.6	30.4	15.4	1.4	1.6	1.0	0.0	97.6	
80	Fratticiola	0.0	1.6	10.2	9.4	12.4	23.0	10.2	0.8	1.4	0.2	0.0	69.2	
81	Ponte Felcino	0.0	3.8	15.8	11.6	17.2	24.0	11.6	1.6	3.0	0.2	0.0	88.8	
82	Pontevalleceppi	0.0	3.2	17.0	12.2	18.4	24.0	10.4	2.2	2.4	0.2	0.0	90.0	
83	Ponte Nuovo	0.0	1.6	8.8	11.2	23.6	24.2	7.4	3.2	3.2	0.2	0.0	83.4	
84	Collepepe	0.6	3.4	11.0	14.1	25.5	25.2	6.0	5.2	4.5	0.1	0.0	95.6	
85	Saragano	5.6	2.8	11.2	8.4	10.6	19.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0	
86	Pomonte	1.6	4.2	19.6	13.6	12.8	27.6	4.8	5.2	2.6	0.2	0.0	92.2	
87	Bastardo	9.2	7.8	18.4	28.0	8.9	37.6	5.7	7.8	3.5	0.0	0.0	126.9	
88	Cantinone	7.0	6.2	20.6	29.4	9.6	35.2	6.2	9.4	2.0	0.2	1.8	127.6	
89	Todi	3.6	5.5	16.2	14.3	16.1	22.4	5.4	4.6	2.5	0.1	0.0	90.7	
90	Casigliano	4.7	5.0	15.0	25.1	3.6	27.6	5.4	5.8	5.5	0.0	0.0	97.7	
91	Massa Martana	5.2	5.2	15.2	23.0	6.0	29.6	4.8	9.4	3.8	0.0	0.0	102.2	
92	Castel Rinaldi	4.2	6.1	12.1	17.3	5.7	21.5	4.3	12.3	3.4	0.0	4.5	91.4	
93	Corbara	3.4	8.0	20.2	10.8	21.6	20.0	4.6	5.2	4.0	0.2	0.0	98.0	
94	Poggio Lavarino	2.4	14.6	22.2	21.0	1.4	24.8	7.8	1.8	5.8	0.4	0.0	102.2	

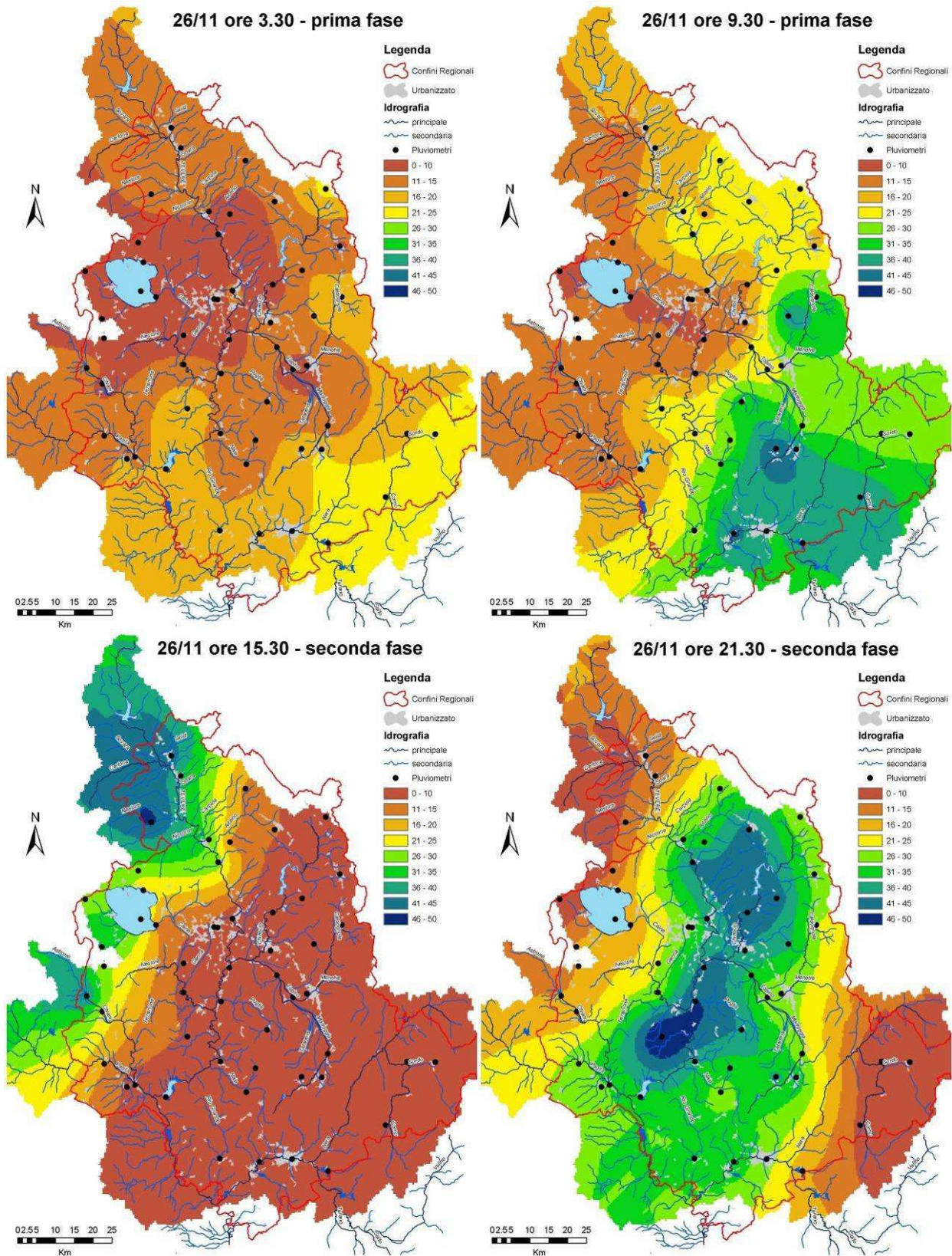
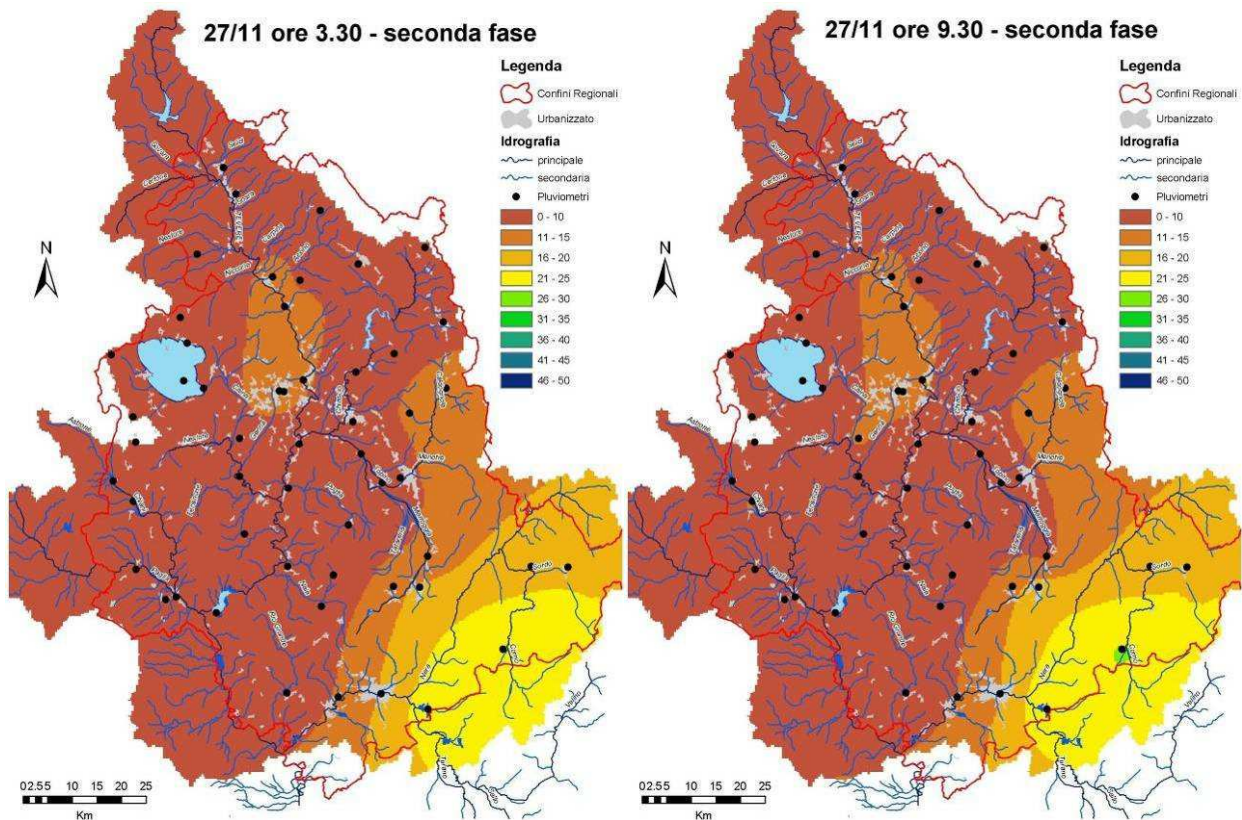


Figura 18. Distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate (mm) ogni 6 ore per l'evento di Novembre 2005.



(Continua **Figura 18**)

Un'ulteriore conferma delle fasi di pioggia è mostrata in Figura 19 dove sono riportati gli ietogrammi semiorari per quattro stazioni dislocate nella parte Nord, Sud, Est e Ovest del bacino. Si osserva chiaramente un unico nucleo di pioggia per le stazioni a Nord ed Ovest (Città di Castello e La Cima), mentre due fasi sono facilmente distinguibili per le altre due stazioni (Bastardo e Pianello). Per gli altri pluviometri ubicati nelle stesse aree sono stati osservati andamenti del tutto simili.

Oltre al contributo delle piogge deve essere considerato il contributo dello scioglimento della neve già presente sui rilievi appenninici. Purtroppo quest'ultimo è difficilmente quantizzabile non essendo disponibile sul bacino alcuna informazione sul manto nevoso. Sicuramente un contributo non trascurabile può essere ipotizzato per il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio. Infatti, in base al confronto tra il volume affluito ($\sim 20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) e la pioggia osservata durante l'evento ($\sim 100 \text{ mm}$), si ottiene un elevato valore del coefficiente di deflusso (0.72). Tuttavia, tale valore potrebbe essere legato anche ad una stima non corretta della pioggia media areale a causa dell'esiguo numero di stazioni pluviometriche per un territorio con orografia molto complessa e della loro ubicazione limitata pressoché alla zona valliva.

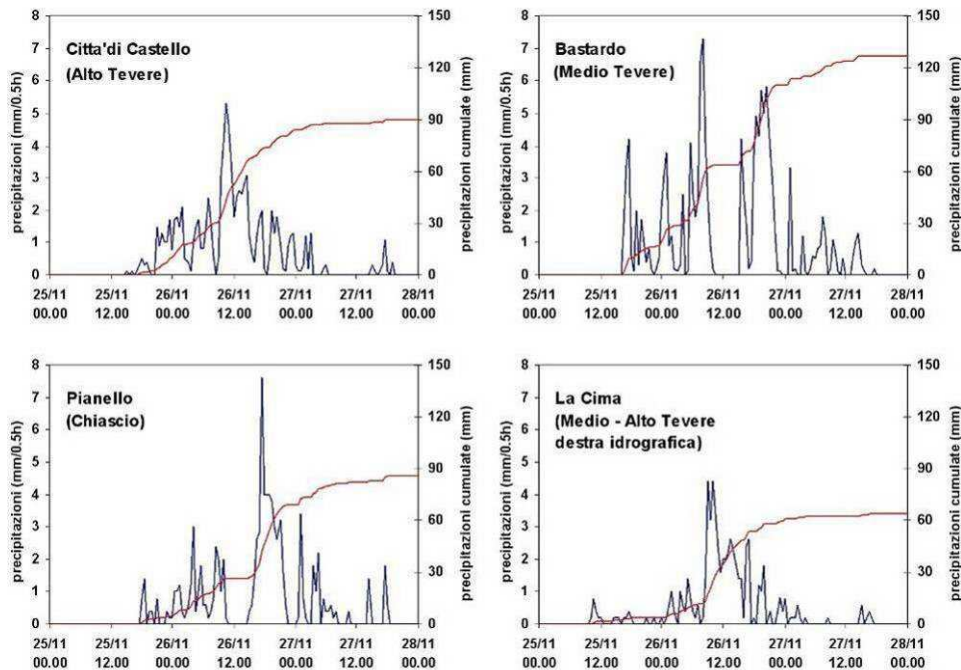


Figura 19. Ietogrammi di pioggia per alcune stazioni significative durante l’evento di Novembre 2005 (tra parentesi è indicata la macro area di appartenenza).

Analisi statistica delle precipitazioni massime con durate prefissate

Un’analisi più approfondita dell’evento pluviometrico richiede la stima dei tempi di ritorno alle diverse aggregazioni temporali. In Tabella 3 si riassumono, per alcune delle stazioni pluviometriche, le altezze di pioggia massime cumulate sulle finestre temporali di 1, 3, 6, 12, 24, 36 e 48 ore; gli stessi dati sono riportati in forma grafica in Figura 20. Tali dati coprono la variabilità totale delle precipitazioni di massima intensità osservate durante l’evento. Per la stima dei tempi di ritorno sono state utilizzate le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) sviluppate dalla Regione Umbria (Quaderni della Regione Umbria n°7, 1996). Queste sono state elaborate con un approccio scala invariante, adottando il modello di Gumbel con parametri regionalizzati per l’intero territorio regionale. La Figura 21 riporta il confronto tra i dati osservati e le LSPP per 12 stazioni uniformemente distribuite sul bacino. Come si può vedere, l’evento pluviometrico non è stato particolarmente intenso per le brevi durate (inferiori a 12 ore) ma è stato significativo per la durata di 12 e soprattutto di 24 ore in corrispondenza delle stazioni presenti sull’Alto Tevere a Nord di Ponte Felcino e nell’area Sud-Orientale della regione. In particolare, per la durata di 24 ore sono stati registrati valori con tempi di ritorno pari anche a 25 anni per la stazione di Umbertide e pari a 10 anni per le stazioni di Terni e Spoleto.

Si può affermare quindi che localmente l’evento pluviometrico non ha avuto caratteristiche di elevata eccezionalità ($T_r=10\div 25$) mentre è stato significativo a scala di bacino in quanto una precipitazione di ~ 100 mm ha interessato la quasi totalità del bacino. Questo può essere verificato considerando le LSPP per il bacino del Tevere con chiusura a Ponte Felcino e Corbara, pubblicate nel “Piano Direttore del Bacino del Fiume Tevere” (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 1998) e riportate in Figura 22. In particolare, per la massima pioggia osservata in un intervallo di 24 ore durante l’evento, il tempo di ritorno risulta pari a circa 40 anni.

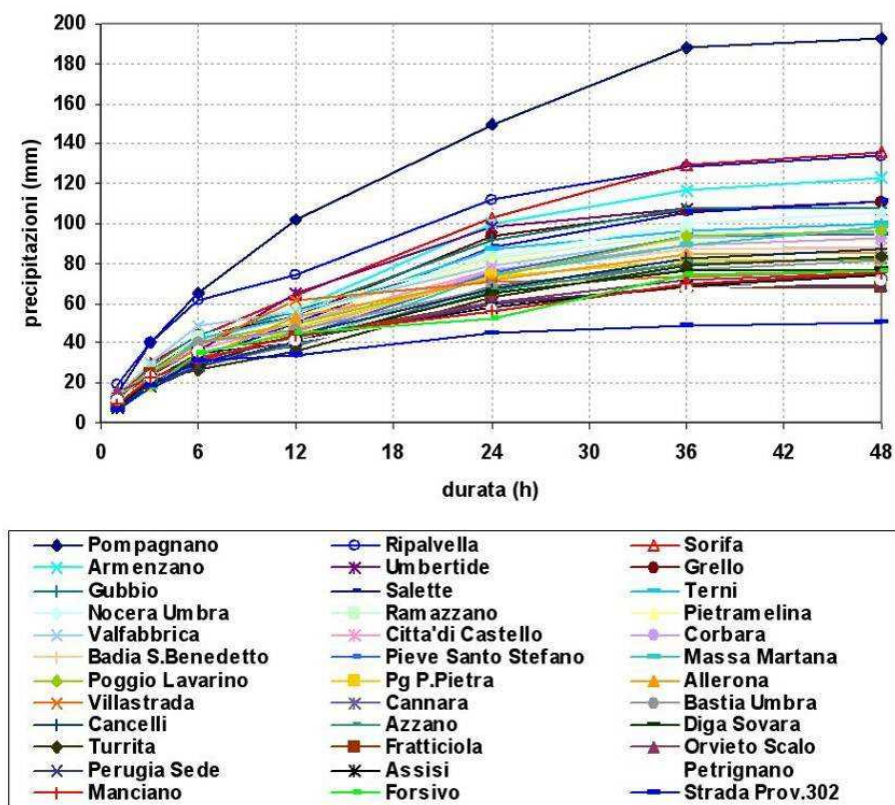


Figura 20. Altezze di pioggia massima dell'evento per durate comprese tra 1 e 48 ore.

Tabella 3. Altezza di pioggia massima cumulata (in mm) sulle finestre temporali di 1, 3, 6, 12, 24, 36 e 48 ore registrate durante l'evento di Novembre 2005.

Stazione	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	36 ore	48 ore
Pompagnano	14.3	40	65.3	102.1	149.7	188.3	192.9
Ripalvella	19.1	40.3	61.9	73.9	112	128.3	134
Sorifa	12.2	30.3	43	64.6	102.4	128.9	135.6
Armenzano	12.2	26	39.2	56.6	99.6	116.8	123
Umbertide	10.6	22.8	35.8	65	98.2	107	107.6
Grello	10.2	25.6	43.8	53	94	106.6	110.6
Gubbio	10.6	28.4	44.2	56.4	91.8	107.2	107.4
Salette	7.8	20.2	32.4	50.2	88.2	105.8	110.6
Terni	9.4	24.2	41.8	53	86.8	96.2	100.4
Nocera Umbra	7.5	18.5	31.8	52.8	83.5	99.6	105.4
Ramazzano	10.4	27.4	43.2	57.6	82.4	94.8	95
Pietramelina	8.4	22.2	35.8	53.2	80.4	91.2	91.6
Valfabbrica	13.4	30.4	48.2	56.4	78.8	93	95.6
Citta'di Castello	10	22.2	36.8	50.2	77.4	87.3	87.9
Corbara	9.4	22.2	40.8	46.2	76.4	88.6	92.8
Badia S.Benedetto	8.6	18	28.9	43.7	75.4	87.4	87.5
Pieve Santo Stefano	6.8	18.7	32.3	42.7	75.2	93.3	94.2
Massa Martana	9	23.8	30.6	39.6	74.6	89	98.2
Poggio Lavarino	13.4	25.6	40	49.2	73.8	93.8	96
Pg P.Pietra	11.4	18.8	30.6	47.6	73	81.2	82
Allerona	14.4	22.8	32.4	52.8	71.4	84.6	85.2
Villastrada	9.6	21.2	38.2	61.6	70.8	73.6	76.6
Cannara	9.4	20.6	31.5	38.3	68.8	80.1	83
Bastia Umbra	9.2	23.9	40.4	46.4	67.6	77.1	81.4
Cancelli	8.6	20	29.6	44	67	82.6	87.6
Azzano	8.8	20.8	28.1	39.2	65.9	79.4	82.5
Diga Sovara	7	17.5	28.3	41.7	65.4	75.7	77.1
Turrita	8.6	20.8	26.8	36	63.6	79	83.8
Fratticiola	10	24.6	35	43	60.8	67.6	67.6
Orvieto Scalo	15.6	23	32.6	41.6	60.2	71.6	74.8
Perugia Sede	7	18	28.2	40.5	59.5	68.6	69
Assisi	7.5	21.6	35	41.5	58	69.2	74.3
Petrignano	11.4	23	36	41.4	56.8	67.4	71.8
Manciano	9.2	22.8	31.6	44.4	56.2	69.6	75.4
Forsivo	6.8	17.7	34.8	45.4	52.6	74.1	75.7
Strada Prov.302	6.8	18	30.8	34.2	45	48.8	50.2

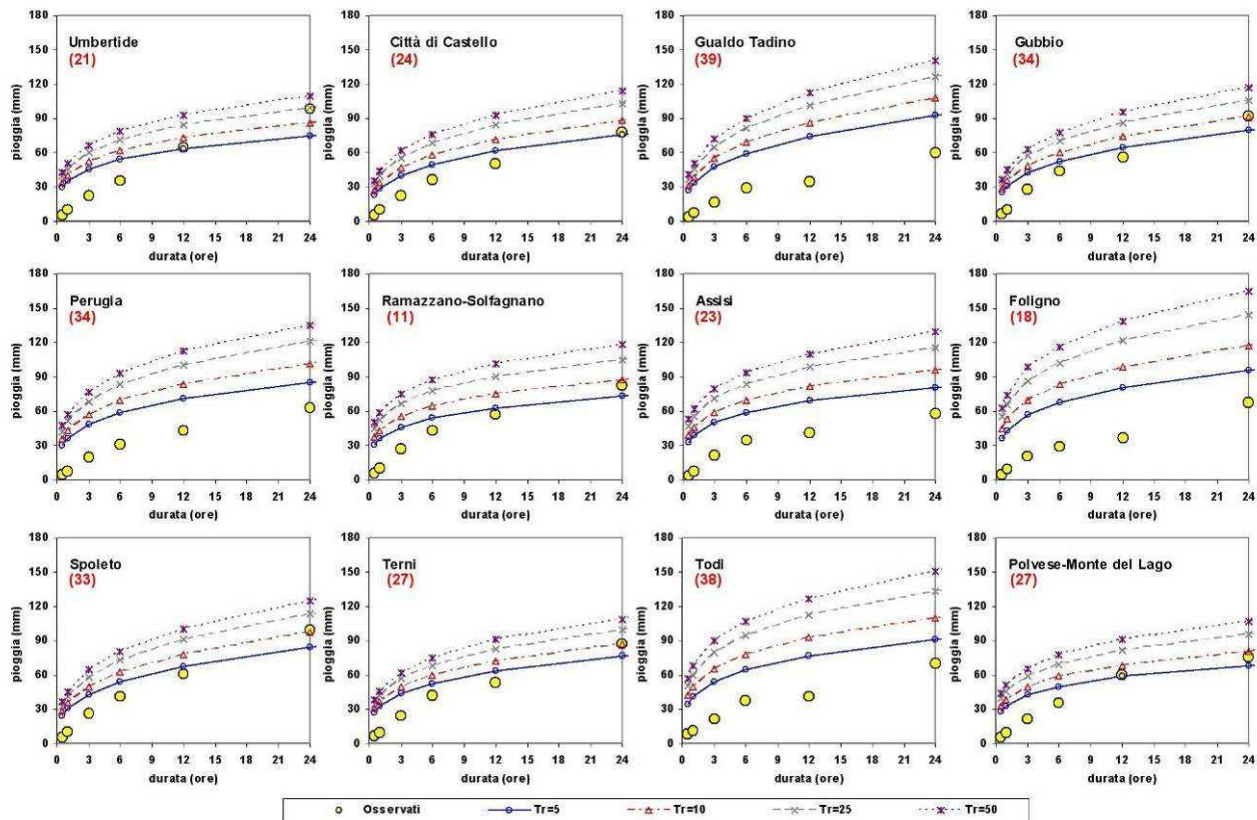


Figura 21. Confronto della massima intensità di pioggia con differenti durate osservata per l'evento di Novembre 2005 con quella determinata dalle Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) relative ai tempi di ritorno di 5, 10, 25 e 50 anni per alcuni pluviometri dell'Alto-Medio Tevere. È anche indicato (tra parentesi) il numero di anni di dati utilizzato per la definizione delle LSPP.

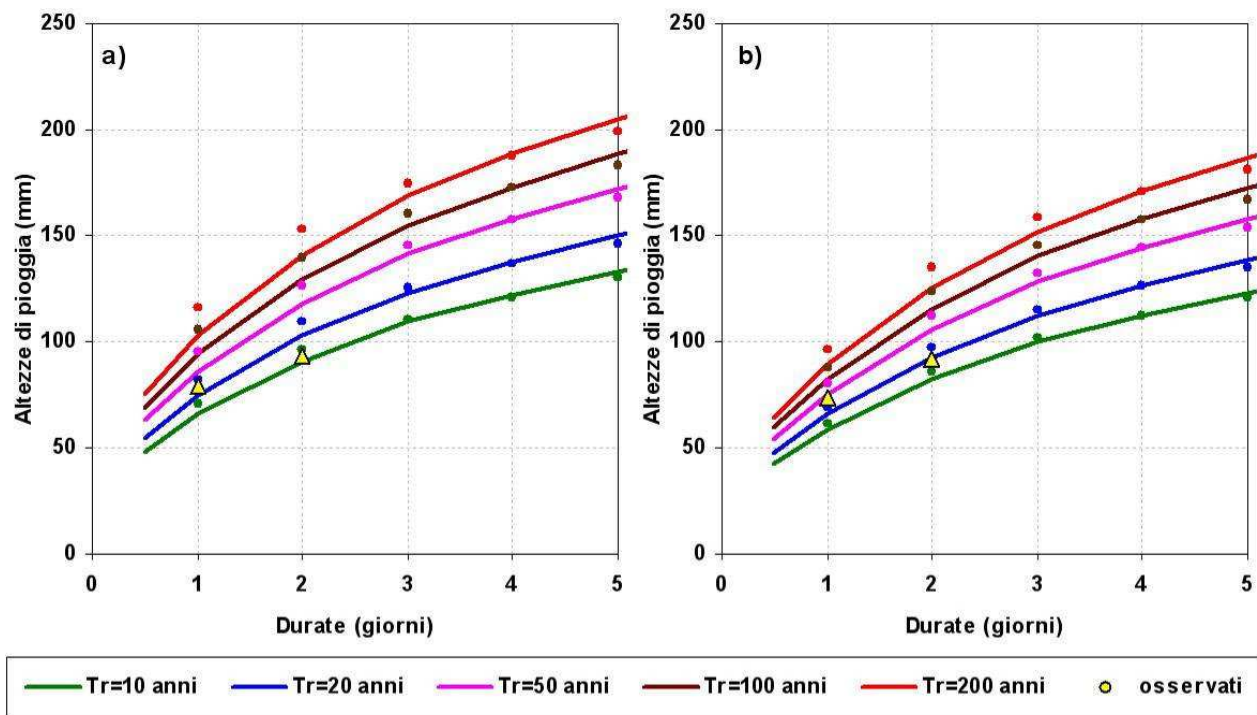


Figura 22. Curve di possibilità pluviometrica ragguagliate sul bacino del Tevere a Ponte Felcino (a) e Corbara (b) per durate da 1-10 giorni (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 1998). I cerchietti gialli indicano i dati osservati dell'evento.

6. ANALISI IDROMETRICA

La persistenza, l'ampia regione interessata e l'andamento temporale dalle precipitazioni, insieme probabilmente allo scioglimento nivale, hanno generato significative onde di piena sul reticolo principale e secondario dell'Alto-Medio Tevere. In particolare, confrontando il massimo livello idrometrico osservato durante l'evento con i valori massimi annuali registrati da quando la rete in telemisura della Regione Umbria ha iniziato a funzionare (circa 20 anni), si ottiene immediatamente una fotografia d'insieme della significatività dell'evento di piena. Tale confronto mostrato in Tabella 4 evidenzia come l'evento sia stato significativo per tutto il reticolo fluviale umbro determinando in molte sezioni idrometriche un livello idrico superiore al valore massimo del periodo di osservazione.

Tabella 4. Confronto tra i massimi livelli idrometrici osservati durante l'evento e durante tutto il precedente periodo di funzionamento della rete delle Regione Umbria. In grassetto-corsivo sono riportati i valori che hanno superato il massimo livello osservato prima dell'evento di Novembre 2005.

Idrometro	corso d'acqua	Livello massimo evento (m)	Massimo precedente		Inizio funzionamento	Anni di osservazione
			Livello (m)	Data		
Santa Lucia	Tevere	5.6	5.5	10/12/1990	1987	19
Pierantonio	Tevere	6.7	5.5	28/12/2000	1996	10
Ponte Felcino	Tevere	6.9	5.5*	11/02/1991	1987	19
Ponte Nuovo	Tevere	8.2	7.2*	08/12/1992	1988	18
Monte Molino	Tevere	9.0	7.1	16/12/1999	1996	10
Pianello	Chiascio	3.4	4.4	14/12/1990	1985	21
Petrignano	Chiascio	4.1	5.2	14/12/1990	1985	21
Ponte Rosciano	Chiascio	5.6	5.4	16/12/1999	1987	19
Bevagna	Topino	2.1	2.7	10/12/1990	1985	21
Cannara	Topino	4.0	4.4	05/12/1992	1992	17
Ponte Bettona	Topino	5.2	5.8	16/12/1999	1987	19
Mocaiana	Assino	2.9	1.9	05/12/1992	1992	14
Serrapartucci	Assino	3.7	3.3	11/02/1991	1988	18
Pistrino	Sovara	3.5	4.0	14/12/1996	1996	10
Lupo	Cerfone	5.5**	4.6	05/12/2004	1992	14
Azzano	Marroggia	3.0	3.4	05/12/1992	1985	19
Cantalupo	Timia	4.3	4.6	05/12/1992	1985	21
Montone	Carpina	3.8	3.1	27/12/2000	1994	12
Monticelli	Caina	4.0	3.3	18/11/1996	1996	10
Marsciano	Nestore	4.0	3.8	01/02/1996	1985	21
Palazzetta	Genna	4.1	4.2	01/02/1986	1985	21
Migianella	Niccone	3.4***	3.3	27/12/2000	1994	12

* riferito alla sezione idrometrica attuale

** zero idrometrico traslato di 1m verso il basso nel 1998

*** idrometro spostato a monte del ponte nel 2005

Per quanto concerne l'andamento temporale dell'evento di piena le Figure 22 e 23 riportano gli idrogrammi di livello e portata osservati suddivisi per bacino idrografico. Una prima analisi

conferma la presenza di due fasi di pioggia consistenti per i bacini in sinistra idrografica (Chiascio-Topino, Carpina e Assino) dove gli idrogrammi presentano la forma a doppio picco. Per tali bacini il primo picco di piena si è verificato tra le 12.00 e le 17.00 del 26/11. Inoltre, per il bacino del Chiascio a valle della diga di Casanuova tale onda è stata laminata in modo dinamico (vedi paragrafo successivo), rendendo gli idrogrammi di tipo monopicco. Per i bacini dell'Alto Tevere e in destra idrografica l'idrogramma presenta un singolo picco legato principalmente alla seconda fase di pioggia (vedi paragrafo precedente). L'occorrenza dei valori massimi del livello idrico sono legati, oltre ovviamente ai tempi di risposta dei bacini, alla propagazione delle perturbazioni da Nord-Ovest a Sud-Est. I primi valori sono stati registrati a partire dalle 23.00 del 26/11 alle stazioni idrometriche di Lupo e Santa Lucia. Analizzando in particolare l'evoluzione della piena lungo l'asta principale del Tevere (Figura 23 prima riga) si osserva che l'idrogramma registrato a Santa Lucia è dovuto al contributo del solo interbacino tra l'invaso di Montedoglio e S.Lucia stessa in quanto, come deducibile dalle osservazioni di Gorgabuia, i rilasci dell'invaso sono iniziati tra le 17.30-18.00 del giorno 28/11 quando l'onda di piena era quasi totalmente esaurita. Muovendosi verso valle una prima deformazione dell'idrogramma di piena è presente per la sezione di Ponte Felcino legata sicuramente all'esondazione avvenuta a monte di tale sezione. Un'altra importante caratteristica dell'evento è la concomitanza dei massimi valori del Tevere e del Chiascio a monte della confluenza. L'onda di piena ha cominciato a decrescere intorno alle 6.00 del 27/11 alla sezione di Santa Lucia e soltanto 18 ore più tardi alla sezione di Monte Molino.

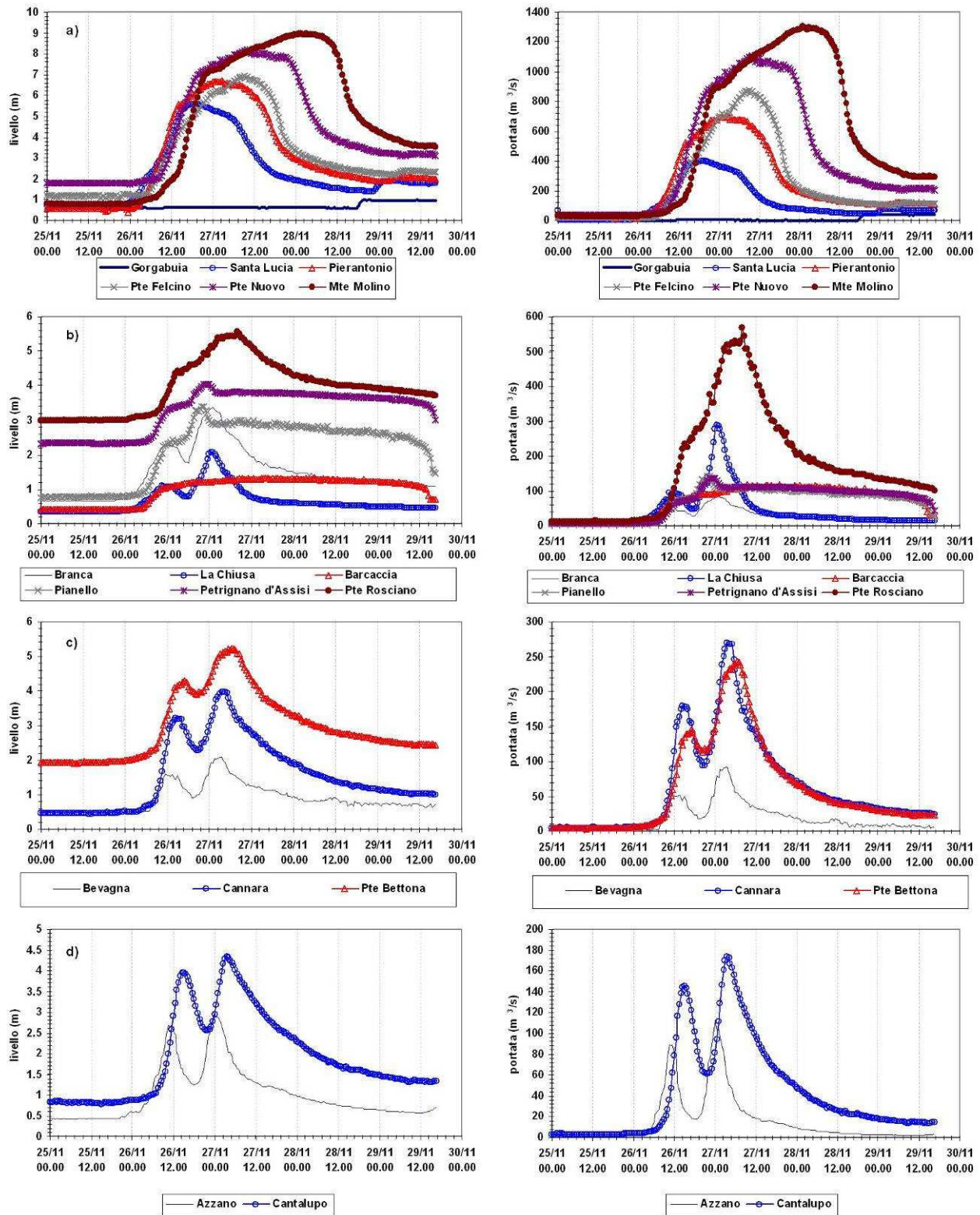


Figura 23. Andamento dei livelli idrometrici e delle portate durante l'evento di Novembre 2005 per i bacini del: a) Tevere, b) Chiascio, c) Topino e d) Marroggia.

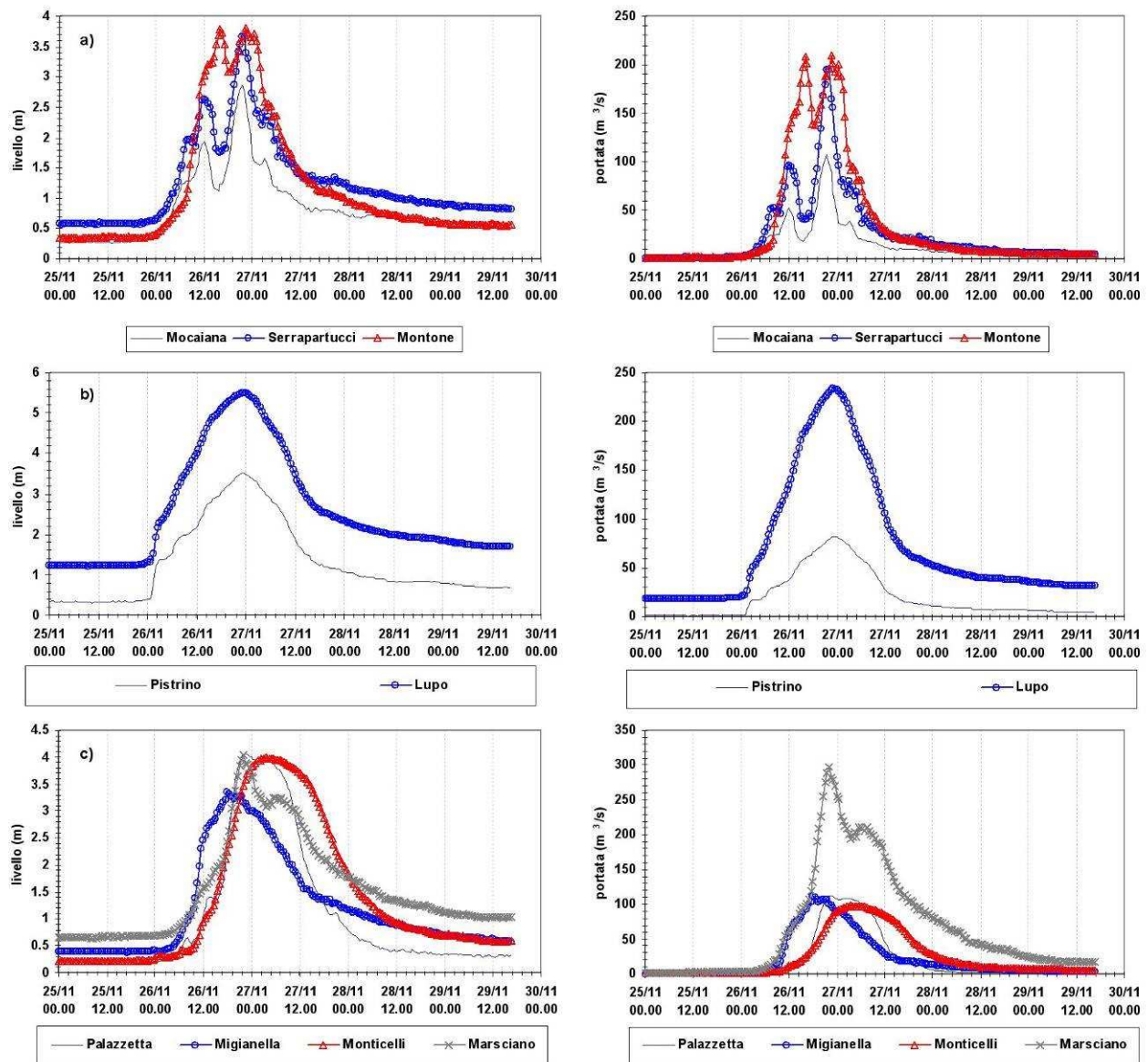


Figura 24. Come da Figura 23 ma per i bacini del: a) Assino e Carpina, b) Niccone e c) Nestore.

Volumi di piena

Di particolare interesse risulta l'analisi dei volumi defluiti durante l'evento (vedi Tabella 5), anche per una verifica delle scale di deflusso che, tuttavia, sono quelle relative al 2001. Per tale analisi sono stati considerati i contributi legati al deflusso superficiale e ipodermico, e non quelli del deflusso di base, stimati sulla base degli idrogrammi delle portate disponibili. Considerando in particolare l'asta del Tevere la Tabella 5 mostra che procedendo verso valle, il volume di piena risulta correttamente crescente con contributo unitario mediamente pari a $0.036 \cdot \text{Mmc}/\text{km}^2$. Tale contributo è stato calcolato escludendo l'area sottesa dalla diga di Montedoglio che ha invasato completamente il volume affluito, stimato pari a circa 20 Mmc. Sommando tale volume con quello osservato a S.Lucia si ha un contributo unitario per il bacino totale del Tevere a S.Lucia di $0.055 \text{ Mmc}/\text{km}^2$. In generale, il contributo unitario per l'evento analizzato è risultato molto elevato e di gran lunga superiore a quello stimato per gli eventi di piena occorsi negli ultimi 20 anni (per esempio, per il bacino del Tevere a Ponte Nuovo è risultato almeno il doppio).

Un'ulteriore verifica sui volumi di piena è stata eseguita analizzando le principali confluenze presenti nel reticolo idrografico mostrate nella Figura 25 dove sono riportati anche gli idrogrammi di piena per le sezioni di interesse. In particolare, per la confluenza Chiascio-Topino il volume defluito a Rosciano risulta superiore di circa 8·Mmc rispetto alla somma dei volumi di Petrignano e Bettona. Tale differenza è comunque compatibile con il contributo dell'interbacino di dimensioni non trascurabili (187 km²) e assumendo un contributo unitario pari a 0.040·Mmc/km² stimato per le altre sezioni del Chiascio. Analizzando la confluenza Chiascio-Tevere gli idrogrammi ben evidenziano gli effetti significativi della laminazione legata all'esondazione. Infatti, la differenza di volume tra gli idrogrammi nella fase di picco (pari a circa 16·Mmc) risulta semplicemente restituita nella fase di recessione. Pertanto, si può affermare che se non ci fosse stata esondazione la portata di picco transitata a Ponte Nuovo sarebbe risultata pari a circa 1400 m³/s, valore molto più elevato di quello effettivamente osservato (~1100 m³/s).

Tabella 5. Principali caratteristiche dell'evento di Novembre 2005 per i sottobacini strumentati dell'Alto-Medio Tevere. API₅ indica la pioggia osservata nei 5 giorni precedenti.

Idrometro	Corso d'acqua	Area bacino (km ²)	Precipitazione cumulate (mm)	Volume deflusso diretto (10 ⁶ m ³)	Volume deflusso diretto (mm)	Portata massima (m ³ /s)	Livello massimo (m)	Data e ora del picco	Coefficiente di deflusso ()	API ₅ (mm)
Santa Lucia	Tevere	661.3*	94.1	29.8	45.0*	403.0	5.6	26/11 19.00	0.479*	19.2
Pierantonio	Tevere	1533.2*	91.3	65.9	43.0*	702.4	6.7	27/11 02.30	0.471*	17.4
Pte Felcino	Tevere	1767.8*	92.0	73.1	41.4*	879.0	6.9	27/11 09.00	0.450*	16.8
Pte Nuovo	Tevere	3873.3*	95.6	122.3	31.6*	1109.8	8.2	27/11 10.00	0.330*	11.1
Mte Molino	Tevere	5007.3*	93.0	180.2	36.0*	1305.0	9.0	28/11 01.00	0.387*	9.6
Branca	Chiascio	166.0	91.3	5.3	32.2	83.2	3.4	27/11 01.00	0.353	7.0
LaChiusa	Chiascio	403.7	95.6	11.3	27.9	291.1	2.1	27/11 00.30	0.292	11.2
Barcaccia	Chiascio	463.1	96.4	23.3	50.3	118.5	1.3	27/11 09.30	0.522	11.1
Pianello	Chiascio	525.1	96.7	22.1	42.2	142.7	3.4	26/11 22.00	0.436	10.7
Petrignano	Chiascio	547.0	96.0	21.7	39.7	137.3	4.1	26/11 23.30	0.413	10.5
Pte Rosciano	Chiascio	1955.3	100.4	46.8	23.9	569.0	5.6	27/11 08.00	0.239	5.6
Bevagna	Topino	442.0	112.3	5.3	12.0	92.5	2.1	27/11 03.30	0.107	5.0
Pte Bettona	Topino	1221.7	104.2	17.0	13.9	244.0	5.2	27/11 06.30	0.133	3.7
Mocaiiana	Assino	102.3	97.5	3.8	37.6	107.1	2.9	26/11 21.30	0.386	14.6
Serrapartucci	Assino	165.3	92.1	7.5	45.7	195.3	3.7	26/11 21.30	0.496	13.6
Pistrino	Sovara	128.8	96.3	5.9	45.6	81.5	3.5	26/11 23.00	0.474	24.9
Lupo	Cerfone	283.8	93.0	16.4	57.8	234.1	5.5	26/11 23.00	0.622	22.7
Azzano	Marroggia	257.9	125.0	5.0	11.7	113.1	3.0	27/11 00.00	0.094	3.0
Cantalupo	Timia	549.3	104.5	11.7	12.78	173.5	4.3	27/11 03.30	0.122	2.8
Monticelli	Caina	230.2	70.5	7.5	32.5	97.9	4.0	27/11 03.30	0.462	8.9
Marsciano	Nestore	724.8	74.3	18.1	25.0	297.5	4.0	26/11 22.00	0.336	5.0

* per l'asta principale del Tevere non viene considerata l'area sottesa dalla diga di Montedoglio perché non ha contribuito alla piena

Analisi statistica delle portate al colmo di piena

Allo scopo di valutare la significatività dell'evento sono stati individuati i tempi di ritorno delle portate di picco per alcuni siti idrometrici storici. L'analisi statistica relativa ai valori del colmo di piena è stata effettuata sulla base sia dei valori storici pubblicati utilizzando la distribuzione Lognormale e la Gumbel sia delle piene di assegnato tempo di ritorno così come definite nel Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2002).

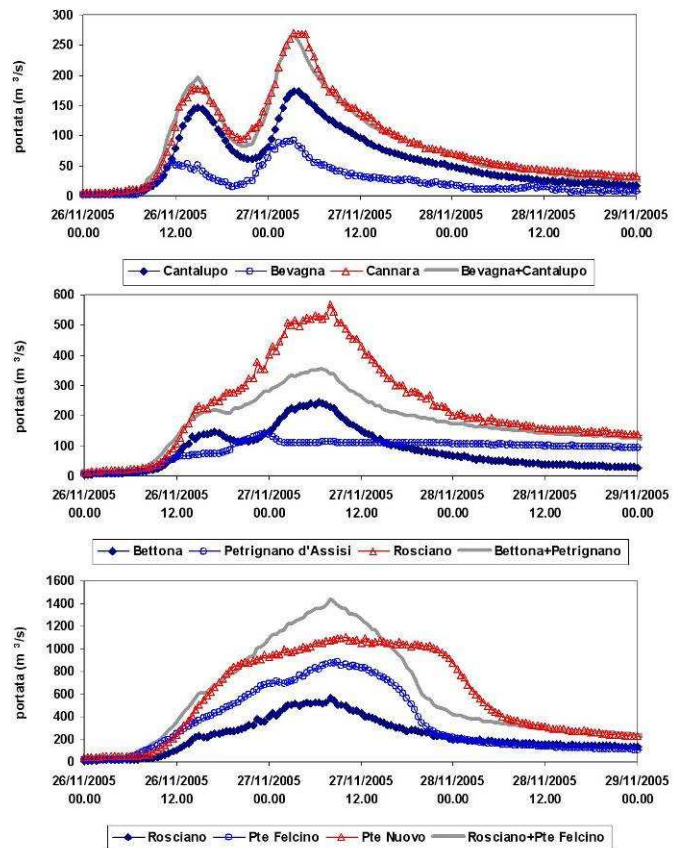
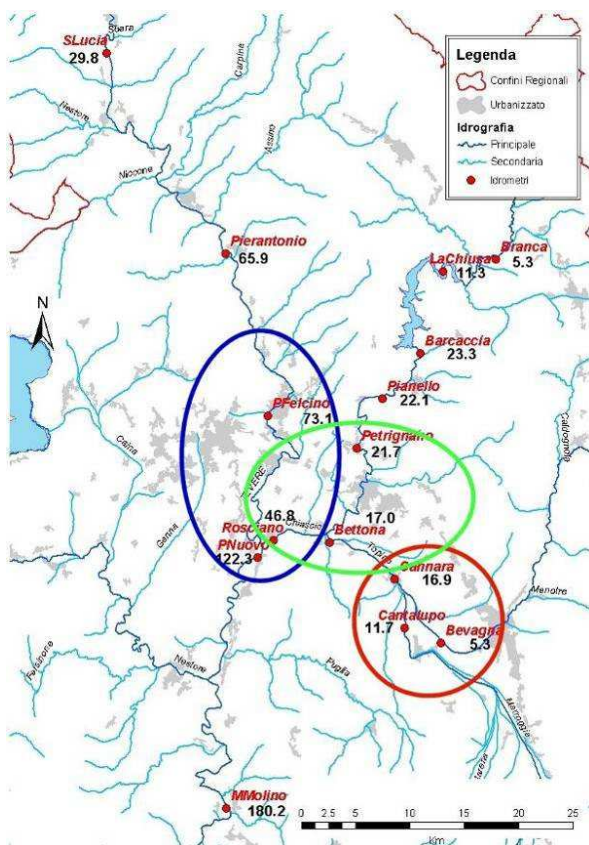


Figura 25. Volumi di piena defluiti durante l'evento, idrogrammi di piena per le principali confluenze del reticolo idrografico e bilancio dei volumi.

Tabella 6. Portate al colmo (in m³/s) in funzione del tempo di ritorno, T_r, per le principali sezioni idrometriche calcolate attraverso la distribuzione Lognormale e Gumbel, e definite nel Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2002).

Sezione Idrometrica	S.Lucia	P.Felcino	P.Nuovo	Petignano	Rosciano
Portata osservata	403*	879*	1110*	137*	569*
Numero anni	58	45	60	22	40
Distribuzione Lognormale					
T _r =10	443	763	1178	198	586
T _r =25	556	955	1426	248	755
T _r =50	644	1105	1614	287	889
T _r =100	735	1259	1804	327	1029
Distribuzione Gumbel					
T _r =10	397	717	1077	186	593
T _r =25	473	865	1263	224	738
T _r =50	529	974	1401	253	845
T _r =100	585	1082	1538	281	951
Piano di Assetto Idrogeologico					
T _r =50	490	1018	1650	/	950
T _r =100	550	1182	1905	/	1100

* evento di Novembre 2005

Confrontando i valori così ottenuti con la portata di picco stimata per l'evento di Novembre 2005 (Tabella 6) si ottengono tempi di ritorno inferiori a 10 anni per tutte le sezioni tranne quella di

Ponte Felcino, per la distribuzione Lognormale, mentre adottando la distribuzione di Gumbel il tempo di ritorno risulta tra 10 e 25 anni per le sezioni di S.Lucia e Ponte Nuovo, superiore a 25 anni per la sezione di Ponte Felcino. Per entrambe le distribuzioni le portate osservate per le sezioni di Petignano e Rosciano sul Chiascio i tempi di ritorno risultano inferiori a 10 anni. Globalmente si può quindi affermare che le portate al colmo osservate sono state abbastanza contenute grazie principalmente all'effetto degli invasi che hanno laminato notevolmente la piena. Infatti, senza la presenza e la gestione effettuata per l'invaso di Montedoglio, la portata di picco nella sezione di S.Lucia avrebbe avuto un livello di eccezionalità molto elevato, come anche per le altre sezioni idrometriche di valle del Tevere.

Coefficienti di deflusso e tempi di risposta

Per le sezioni di maggior interesse è stata svolta un'analisi dei coefficienti di deflusso e dei tempi di risposta dei relativi bacini per l'evento oggetto dell'analisi. L'analisi, tuttavia, non ha potuto tener conto dei volumi esondati in quanto, al momento, non vi è una perimetrazione completa delle aree inondate dell'Alto Tevere. I coefficienti di deflusso, sono mostrati in Tabella 5 e si riferiscono al solo deflusso diretto. Tenendo conto delle incertezze legate sia alla stima del campo di precipitazione sia alla relazione livello-portata nonché ai volumi esondati, si può comunque affermare che coefficienti più elevati (~0.45) sono stati ottenuti per i bacini della parte Nord, mentre quelli meno consistenti per i sottobacini del Topino (~0.10). Valori elevati sono stati stimati per i bacini sottesi dalle sezioni del fiume Chiascio a valle della diga di Casanuova per le quali il calcolo dei volumi di piena è stato effettuato fino a quando il livello dell'invaso non ha raggiunto il suo valore iniziale. Sempre per il Chiascio, valori più contenuti del coefficiente di deflusso sono stati calcolati per le sezioni di Branca e La Chiusa, ubicate a monte della diga. Questo può essere dovuto all'incertezza sulla scala di deflusso, soprattutto per la seconda sezione dove si è verificata una parziale asportazione della sommità della soglia a monte della quale è installato il misuratore di livello.

Come è ben noto, il coefficiente di deflusso dipende dalla pioggia, dalle caratteristiche geolitologiche e di uso del suolo e dalle condizioni iniziali di imbibimento del terreno. Poiché l'evento è caratterizzato da un totale di pioggia pressoché uniforme, si può supporre che la variabilità del coefficiente di deflusso sia dovuta maggiormente agli altri due fattori. Per quanto riguarda le caratteristiche geolitologiche e di uso del suolo, esse vengono rappresentate globalmente attraverso il parametro adimensionale CN (Curve Number) con valori compresi tra 0 e 100. Come si può vedere in Figura 26, per l'evento del Novembre 2005 esiste una consistente dipendenza del coefficiente di deflusso dal parametro CN, evidenziando sia che tale parametro è in grado di rappresentare le caratteristiche del suolo utili per la stima delle perdite a scala di bacino, sia che le condizioni iniziali dei bacini non dovrebbero essere molto dissimili.

Nella pratica idrologica, tali condizioni vengono frequentemente determinate attraverso un indice, denominato API (Antecedent Precipitation Index), basato sulla pioggia cumulata in un periodo precedente l'evento stesso. In particolare, l'indice adottato nel metodo del Soil Conservation Service americano (SCS-CN) usa la pioggia totale caduta nei 5 giorni precedenti, API_5 . In Tabella 5 sono riportati i valori dell'indice API_5 per l'evento di Novembre 2005, dove si

evince che le piogge antecedenti sono pressoché trascurabili (< 5.0 mm) per il bacino del Topino e abbastanza elevate per i bacini dell'Alto Tevere (ad esempio per il Cerfone a Lupo e Pistrino e per il Tevere a Santa Lucia). In particolare, nei 5 giorni precedenti si sono verificati due eventi di pioggia di cui il secondo, occorso nel giorno 23/11, ha interessato soprattutto la regione a Nord. Questo supporta che i valori più elevati del coefficiente di deflusso sono stati ottenuti per il bacino del Cerfone (vedi Tabella 5) e per quello sotteso dalla diga di Montedoglio in base ai 20 Mmc invasati nel corso dell'evento.

Confrontando infine i coefficienti di deflusso per l'evento del Novembre 2005 e quelli ottenuti per gli eventi più significativi occorsi negli ultimi 10 anni (vedi Tabella 7), si osserva che valori comparabili si hanno per l'evento di Dicembre 1996, caratterizzato tuttavia da una pioggia totale nettamente inferiore.

Per quanto concerne invece i tempi di risposta dei bacini questi sono stati calcolati come differenza tra i centroidi della pioggia totale e della portata diretta, pertanto rispecchiano solo in prima approssimazione (per eccesso) gli effettivi tempi di risposta poiché per essi si dovrebbero utilizzare gli ietogrammi di pioggia effettiva. Comunque, i valori ottenuti sono risultati generalmente dipendenti dall'area del bacino secondo una relazione di tipo potenza precedentemente ricavata da Melone et al. (2002). Come era da aspettarsi valori anomali sono stati stimati per le sezioni di Barcaccia, Petrignano e Pianello a causa della laminazione dell'onda di piena operata dalla diga di Casanuova.

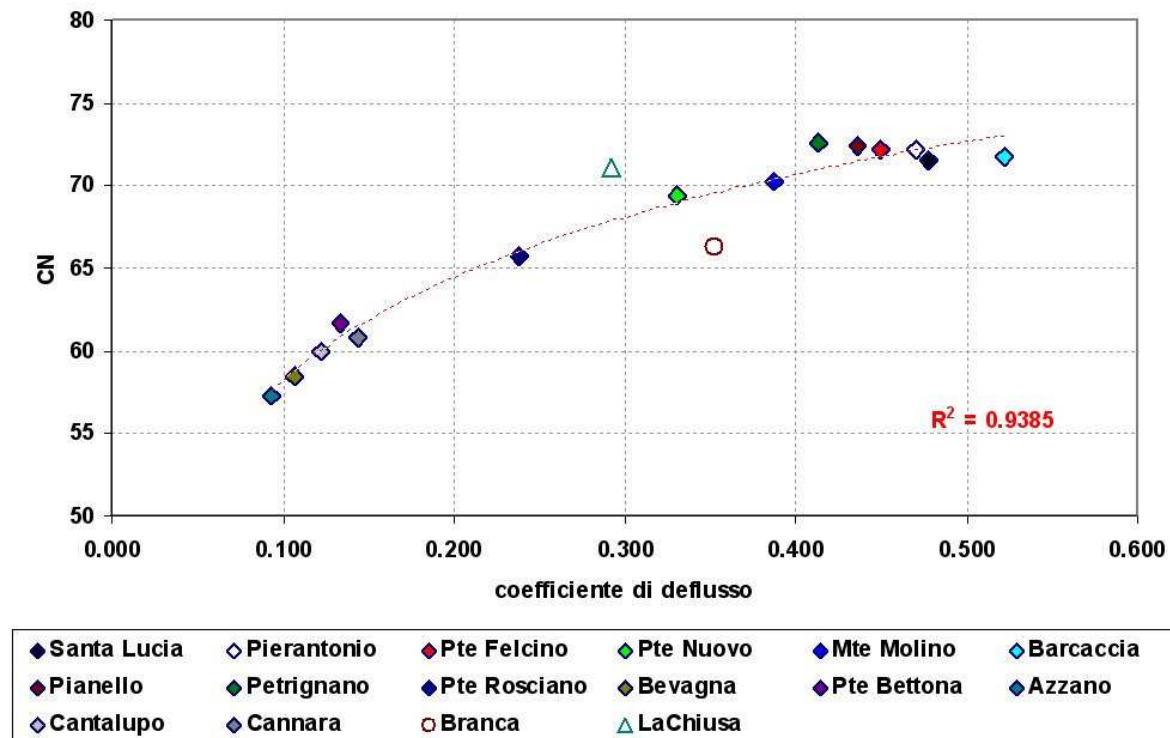


Figura 26. Relazione tra il parametro CN stimato dalle caratteristiche di uso del suolo e litologia e il coefficiente di deflusso per alcuni sottobacini del Fiume Tevere durante l'evento occorso nel Novembre 2005.

Tabella 7. Precipitazioni medie areali cumulate (P_{tot}) e coefficienti di deflusso (C_d) osservati per alcuni degli eventi più consistenti occorsi sull'Alto-Medio Tevere. Per l'asta principale del Tevere non viene considerata l'area sottesa dalla diga di Montedoglio in quanto non ha mai contribuito in modo significativo alla piena.

Idrometro	corso d'acqua	P_{tot}	C_d	P_{tot}	C_d	P_{tot}	C_d	P_{tot}	C_d	P_{tot}	C_d	P_{tot}	C_d
		(mm)	0	(mm)	0	(mm)	0	(mm)	0	(mm)	0	(mm)	0
		25/11/05		13/12/96		27/12/00		01/06/97		14/12/99		04/12/98	
Santa Lucia	Tevere	94.1	0.48	33.4	0.40	71.7	0.21	91.5	0.30	/	/	17.4	0.23
Pierantonio	Tevere	91.3	0.47	29.3	0.47	69.3	0.30	82.4	0.29	24.0	0.24	27.1	0.21
Pte Felcino	Tevere	92.0	0.45	29.0	0.44	67.7	0.22	79.1	0.25	26.0	0.25	30.8	0.19
Pte Nuovo	Tevere	95.6	0.33	34.5	0.34	62.1	0.20	84.3	0.18	50.0	0.31	44.1	0.15
Mte Molino	Tevere	93.0	0.39	33.1	0.37	58.0	0.14	81.4	0.21	48.6	0.38	/	/
Petrignano	Chiascio	96.0	0.41	40.5	0.30	61.1	0.19	80.0	0.01	59.8	0.34	/	/
Pianello	Chiascio	96.7	0.44	39.8	0.28	61.9	0.20	80.9	0.01	59.7	0.35	61.6	0.03
Pte Rosciano	Chiascio	100.4	0.24	40.1	0.21	57.6	0.12	91.4	0.09	74.9	0.27	56.1	0.11
Marsciano	Nestore	74.3	0.34	25.9	0.28	37.4	0.13	61.4	0.09	40.6	0.37	/	/
Cantalupo	Timia	104.5	0.12	35.0	0.10	53.5	0.12	89.4	0.12	79.4	0.28	45.2	0.10
Bevagna	Topino	112.3	0.11	50.0	0.12	59.9	0.07	111.7	0.05	93.4	0.11	49.8	0.07
Cannara	Topino	112.6	0.14	41.2	0.13	57.0	0.11	97.6	0.09	86.0	0.22	/	/
Pte Bettona	Topino	104.2	0.13	40.4	0.13	57.4	0.10	98.0	0.10	83.1	0.20	51.1	0.10

Stato iniziale dei bacini idrografici

L'analisi della criticità di un evento di piena non può prescindere dalla valutazione dello stato iniziale di imbibimento del terreno. Infatti, molti autori hanno evidenziato che esso è uno dei fattori principali nella determinazione dell'idrogramma di piena, soprattutto per bacini dell'area Mediterranea (Brocca et al., 2005).

Come già detto nel paragrafo precedente, lo stato iniziale viene spesso assegnato attraverso l'indice API_5 sulla base del quale è stato evidenziato che per l'evento di Novembre 2005 le piogge antecedenti sono risultate pressoché trascurabili per la parte Sud-Est (bacino del Topino) ed abbastanza elevate per i bacini dell'Alto Tevere. In particolare, il valore di API_5 individua una delle tre classi di "Antecedent Moisture Conditions" che insieme al parametro adimensionale CN (Curve Number), permette di determinare la massima ritenzione potenziale del suolo S attraverso la quale viene stimato il volume di deflusso diretto. Seguendo quindi il metodo SCS-CN del Soil Conservation Service tutti i bacini erano caratterizzati da condizioni iniziali secche tranne i sottobacini del Tevere a monte di Ponte Felcino. Poiché il metodo SCS-CN è prettamente empirico è necessario verificarne l'affidabilità in aree geografiche differenti da quelle usate per il suo sviluppo anche per quanto concerne la stima delle condizioni iniziali.

A tale scopo, sono qui analizzati gli eventi di piena più significativi registrati alla stazione idrometrica di Ponte Nuovo negli ultimi 15 anni, le cui caratteristiche principali sono riportate in Tabella 8. Per ciascun evento sono mostrati nella tabella sia il valore di API_5 che del parametro S, S_{ev} , determinato attraverso il volume di pioggia e di deflusso diretto. Va evidenziato che i valori di API_5 stimati fanno riferimento anche ad eventi di pioggia intermittenti precedenti l'evento di piena. Questo spiega, per alcuni eventi, i valori consistenti del parametro rispetto alla precipitazione cumulata osservata durante l'evento stesso. Assumendo la variabilità dell'uso del suolo trascurabile, la variabilità di S_{ev} da evento a evento deve essere rappresentata quindi da quella di API_5 . La

dipendenza tra queste due quantità per il bacino del Tevere a Ponte Nuovo è mostrata in Figura 27, dove si osserva una debole relazione che è fisicamente consistente, con valori di S_{ev} tendenti a decrescere all'aumentare di API_5 .

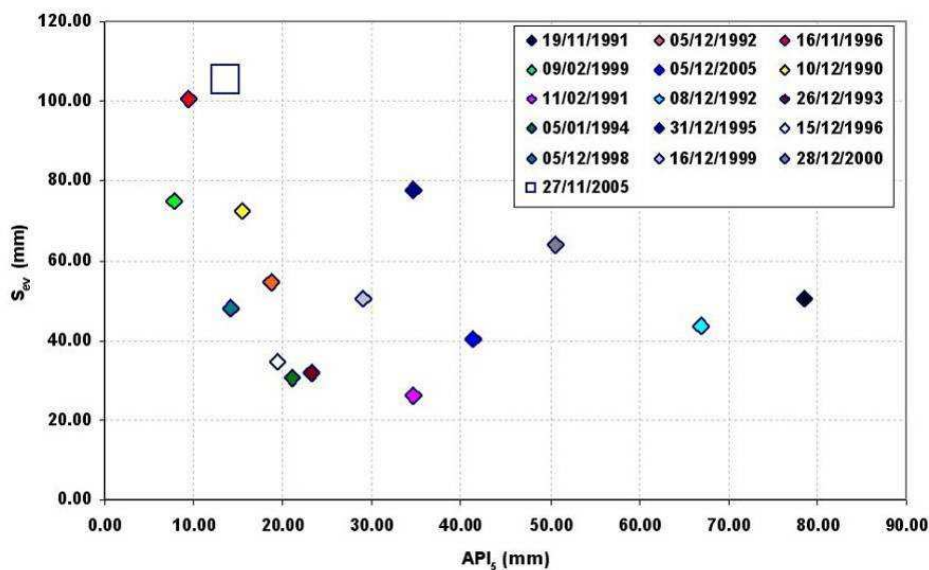


Figura 27. Relazione tra la massima ritenzione potenziale del suolo stimata da evento, S_{ev} , e l'indice API_5 per gli eventi di piena più significativi registrati a Ponte Nuovo negli ultimi 15 anni.

Da tale figura si evince, inoltre, che per l'evento di Novembre del 2005 le condizioni di umidità antecedenti risultano essere tra le più basse tra quelle degli eventi analizzati. Infatti, dalla Tabella 8 risulta che solo per l'evento del 3/6/1997 si ha un valore di S_{ev} molto più elevato. Va messo in evidenza che il valore di S_{ev} così come calcolato dal metodo SCS-CN dipende oltre che dalle condizioni iniziali del suolo anche dallo spessore di pioggia, che nel caso dell'evento di Novembre 2005 è alquanto consistente. Per ovviare a questo inconveniente, per gli stessi eventi è stata applicata la formulazione di Green-Ampt per l'infiltrazione, meno empirica di quella dell'SCS-CN. Utilizzando tale approccio è stato ricavato per ciascun evento il parametro legato alle condizioni iniziali di contenuto d'acqua, θ_i , che è mostrato nella Tabella 8. Anche in questo caso per l'evento in esame il valore di θ_i risulta essere al di sotto della media rispetto all'insieme di eventi analizzati. Su tali basi si può affermare che in termini assoluti, cioè svincolandoci da un approccio per la stima delle perdite, le condizioni iniziali per il bacino del Tevere a Ponte Nuovo per l'evento in oggetto possono essere stimate tra basse e intermedie.

La Tabella 8 mette inoltre in evidenza l'importante ruolo delle condizioni iniziali del bacino per la determinazione non soltanto del volume di piena ma anche della portata di picco. Ad esempio, confrontando le caratteristiche dell'evento oggetto di analisi con quelle dell'evento del Giugno 1997 si osserva come pur essendo il totale di pioggia circa coincidente, la portata di picco nel Novembre 2005 risulta essere superiore del 66 %, tale fatto è sicuramente ascrivibile alle differenti condizioni iniziali del suolo per i due eventi. Infatti θ_i è risultato pari rispettivamente a 0.05 e 0.28 per l'evento di Giugno 1997 e quello di Novembre 2005. Confrontando altre coppie di eventi si possono fare considerazioni del tutto analoghe (ad esempio considerando gli eventi di Novembre e Dicembre del 2005).

Tabella 8. Principali caratteristiche degli eventi di piena più significativi registrati a Ponte Nuovo negli ultimi 15 anni. È anche riportato il valore della pioggia osservata nei 5 giorni antecedenti, API_5 , della massima ritenzione potenziale del terreno, S_{cv} , del metodo SCS-CN e il valore del contenuto d'acqua iniziale, θ_i , della formulazione di Green-Ampt.

DATA	Livello massimo (m)	Portata massima (m^3/s)	Precipitazione cumulata (mm)	Volume di deflusso diretto (mm)	Coefficiente di deflusso ()	API_5 (mm)	S_{cv} (mm)	θ_i (cm^3/cm^3)
09/12/1990	6.94	831	54.8	14.4	0.26	15.45	72.43	0.32
10/02/1991	6.91	825	27	9.9	0.37	34.59	25.9	0.41
19/11/1991	6.36	715	37.8	9.9	0.26	78.55	50.27	0.37
05/12/1992	6.89	821	47.7	14.9	0.31	18.76	54.31	0.34
07/12/1992	7.31	909	41.7	14.3	0.34	66.96	43.39	0.38
25/12/1993	5.27	520	22.3	5.4	0.24	23.19	31.7	0.4
04/01/1994	5.09	491	19.3	4	0.21	20.96	30.54	0.39
30/12/1995	5.76	604	51.8	11.5	0.22	34.62	77.88	0.32
17/11/1996	6.32	707	66.1	14.4	0.22	9.45	100.38	0.2
13/12/1996	6.43	728	30.8	9.8	0.32	19.46	34.5	0.38
01/06/1997	6.12	669	99.8	13.8	0.14	2.35	199.78	0.05
04/12/1998	6.37	717	29.5	5.9	0.2	14.18	47.9	0.35
09/02/1999	6.61	764	46.6	9.4	0.2	7.78	74.88	0.34
14/12/1999	6.62	766	44.9	14.2	0.32	28.97	50.62	0.39
27/12/2000	7.17	879	48.7	13	0.27	50.68	63.67	0.36
25/11/2005	8.19	1110	99.9	27.5	0.28	11.10	105.52	0.28
05/12/2005	7.13	871	35	10.8	0.31	41.4	40.29	0.39

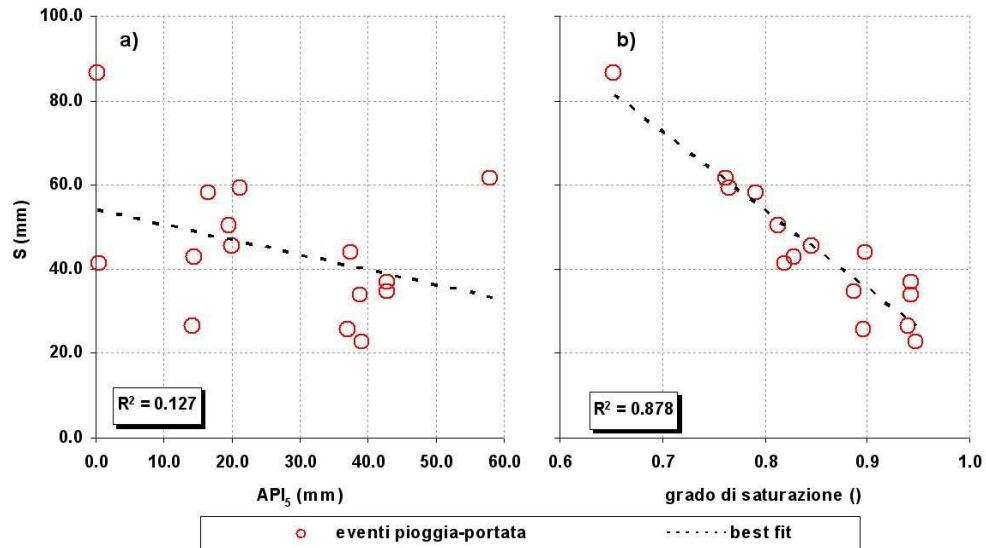


Figura 28. Capacità di assorbimento del terreno stimata da eventi in funzione delle condizioni antecedenti di umidità del suolo per il bacino del Torrente Colorso ($13 km^2$).

La problematica della scarsa affidabilità degli indici basati sulle piogge antecedenti nel determinare le condizioni antecedenti è stata approfondita attraverso l'analisi di alcuni eventi afflussi-deflussi osservati in un piccolo sottobacino del Torrente Niccone di area $12.9 km^2$ (Brocca et al., 2007). Per tale area sono disponibili i dati di 4 pluviometri, 1 idrometro e 18 celle conduttimetriche che misurano il contenuto d'acqua in continuo in 6 siti di una parcella sperimentale di un ettaro, a tre differenti profondità. In particolare, il valor medio delle osservazioni

dei 6 sensori posti ad una profondità di 10 cm è stato assunto come il contenuto d'acqua superficiale. Per gli eventi osservati, la Figura 28 mostra la relazione tra il parametro S_{ev} , e le condizioni antecedenti determinate dall'indice API_5 e dalle osservazioni di contenuto d'acqua della parcella. Come si può vedere nel primo caso si ha una debole relazione, mentre i dati di contenuto d'acqua di una minima porzione del bacino hanno fornito un coefficiente di determinazione di 0.879. Tale risultato, anche se necessita di un ulteriore approfondimento su bacini di dimensioni più elevate, mette in evidenza la necessità e l'utilità di implementare la rete idrometeorologica con sensori di contenuto d'acqua superficiale anche su porzioni limitate del bacino.

7. SIMULAZIONE CON MODELLISTICA MONODIMENSIONALE E BIDIMENSIONALE A PONTE NUOVO

Gli effetti della piena del Novembre 2005 a Ponte Nuovo sono stati analizzati mediante modellistica idraulica sulla base delle registrazioni del misuratore di velocità di flusso ad ultrasuoni ubicato alla sezione della teleferica e dei livelli osservati al sito idrometrico di Ponte Nuovo. L'analisi idraulica è stata eseguita sia con approccio monodimensionale, impiegando il modello MIKE11 (DHI, 2003), che bidimensionale, con il modello FLOOD2D (Molinari et al., 1992).

Analisi monodimensionale, MIKE11

È stato considerato il tratto del Fiume Tevere di lunghezza pari a circa 4 km comprendente la zona di Ponte Nuovo, dalla sezione della teleferica all'area posta a valle del ponte sulla SS 3bis delimitata a valle dalla sezione n. 682, come mostrato in Figura 29.

Come condizione al contorno di monte è stata considerata, in maniera cautelativa, una portata costante pari a $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ leggermente superiore al valore osservato dal misuratore di portata alla teleferica ed al sito di Ponte Nuovo. La schematizzazione geometrica del corso è stata definita utilizzando rilievi topografici eseguiti per la realizzazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, integrati da rilievi effettuati dall'IRPI in prossimità della stessa teleferica. La struttura di attraversamento, dove è alloggiato il misuratore di livello di proprietà della Regione Umbria, è stata considerata nell'analisi insieme alla briglia a valle del suddetto ponte e al ponte sulla strada SS 3 bis. La scabrezza del tratto di alveo considerato è stata diversificata per il canale principale e le aree spondali e golenali assumendo per il coefficiente di Manning, n , un valore pari rispettivamente a 0.038 e $0.06 \text{ m}^{-1/3}$. Il valore stimato per l'alveo principale è congruente con l'analisi delle misure correntometriche alla teleferica e all'idrometro di Ponte Nuovo. Come condizione al contorno di valle, definita ad una distanza di circa 3 km da Ponte Nuovo, è stata assunta la scala di deflusso di Manning. Comunque, la lunghezza del tratto che separa l'area di interesse dalla sezione di valle rende l'influenza di tale condizione trascurabile.

Il massimo livello registrato in corso d'evento dall'idrometro ad ultrasuoni, alloggiato sul lato valle del ponte, è pari a 8.2 m sullo zero idrometrico che corrisponde ad una quota di 170.24 m s.l.m. Il massimo livello raggiunto dall'acqua subito a monte del ponte è stato stimato pari a circa 170.5 m s.l.m. sulla base delle evidenze lasciate dalla piena sulle pile della struttura e denotato da qui in avanti con 'osservato'.

In fase di simulazione, tali valori di livello sono stati ottenuti assumendo un'ostruzione delle luci del ponte pari a circa il 18% dell'area disponibile per il deflusso. In particolare, la Figura 30 mostra il confronto tra il massimo livello osservato e simulato a monte del ponte corrispondente alla sezione idrometrica. Tale risultato sembra essere compatibile con la presenza di materiale flottante accumulatosi durante il passaggio dell'onda di piena a monte del ponte in corrispondenza delle pile e di materiale precedentemente allocato sotto la seconda luce in destra idrografica (si veda Figura 31). Inoltre, il livello simulato nella prima sezione a valle della struttura, posta a circa 60 metri dal misuratore di livello, è risultato pari a 169.84 m s.l.m. congruente con il massimo livello osservato.

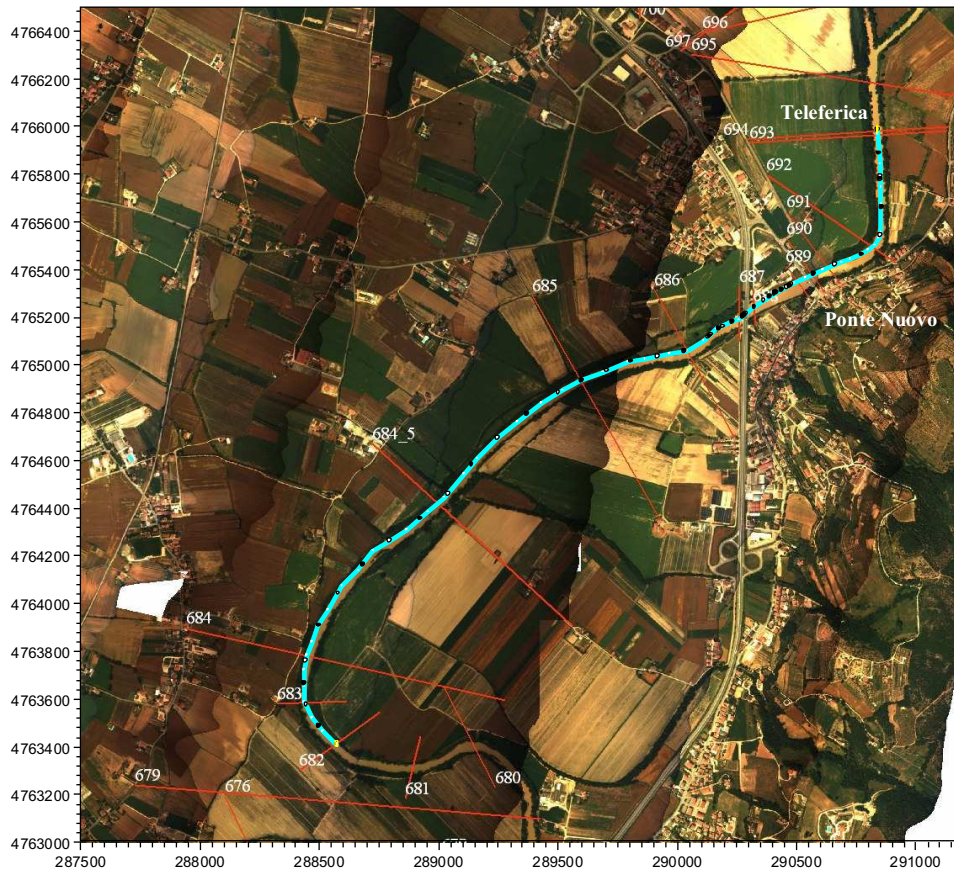


Figura 29. Planimetria del tratto del Fiume Tevere nella zona di Ponte Nuovo oggetto di studio.

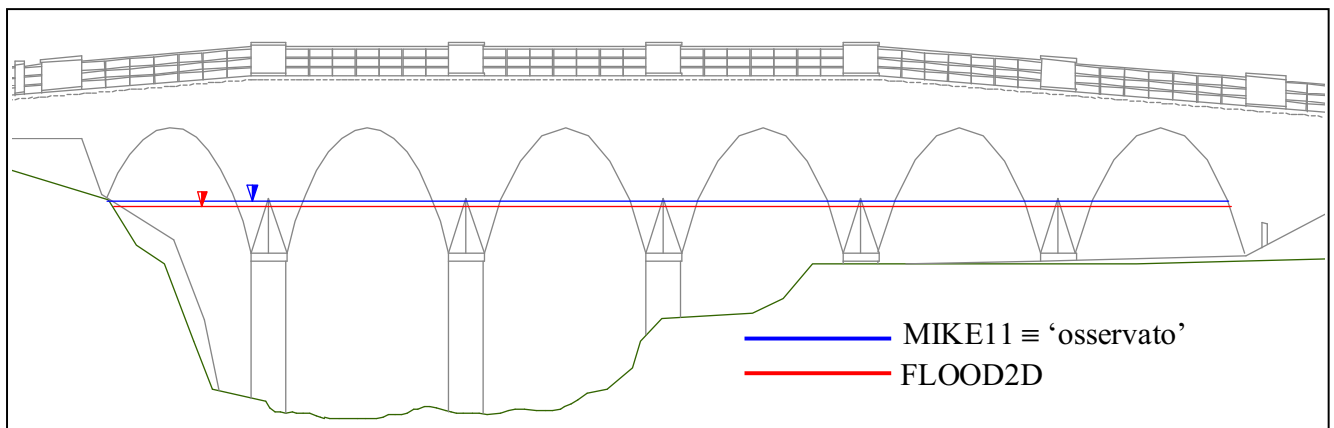


Figura 30. Ponte Nuovo: confronto del massimo livello osservato e simulato dalla modellistica idraulica a monte della struttura durante la piena del Novembre 2005.

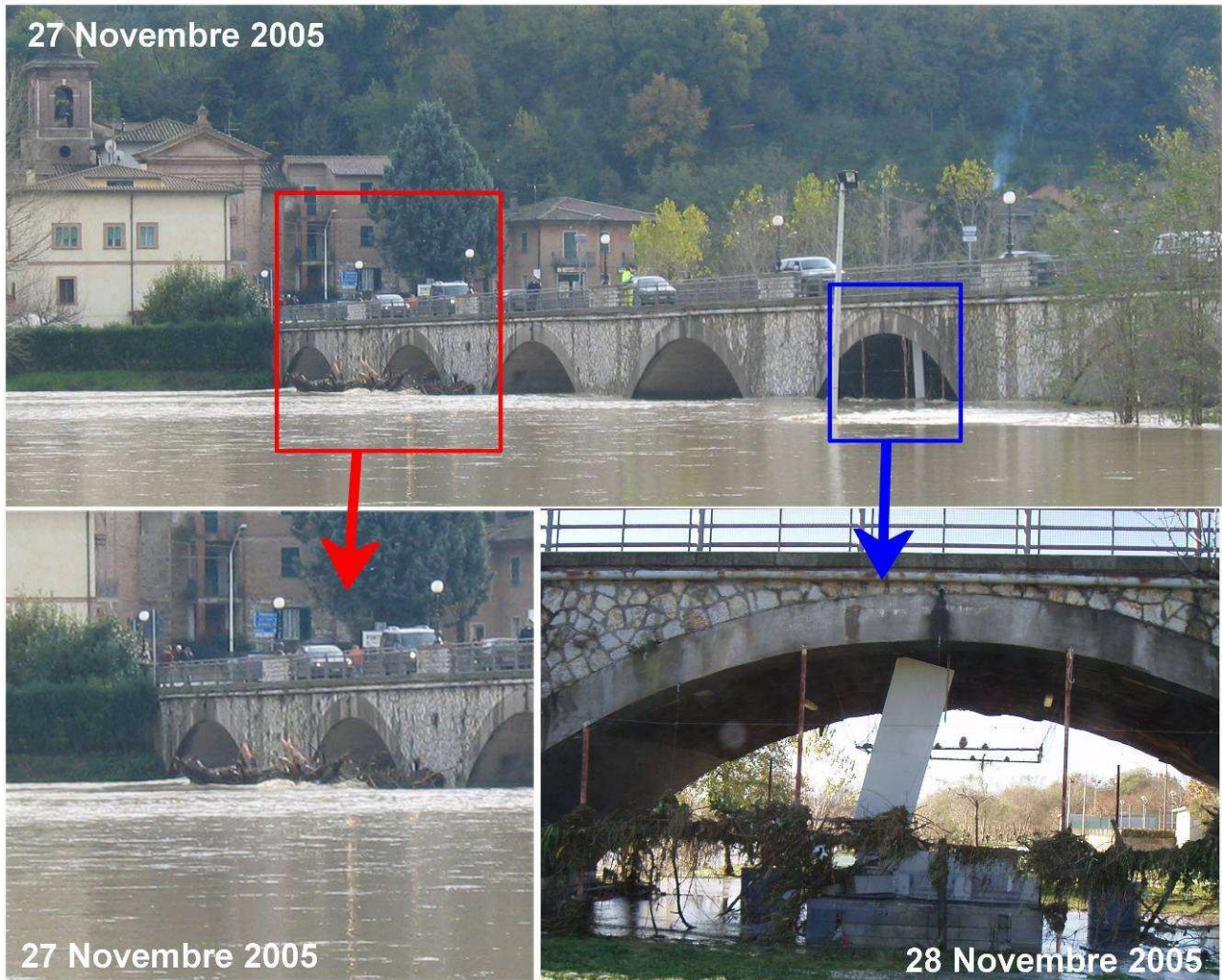


Figura 31. Documentazione fotografica della struttura di attraversamento a Ponte Nuovo: parziale ostruzione dell'area libera delle luci del ponte per la presenza di materiale flottante accumulato durante la piena del Novembre 2005 e di materiale precedentemente posizionato sotto le luci.

In tale configurazione, il modello MIKE11 ha stimato presso la sezione della teleferica, dove è presente il misuratore di portata ad ultrasuoni, una velocità media di 2.63 m/s molto simile al valore registrato dalla suddetta strumentazione e pari a 2.56 m/s. Allo stesso modo, il livello simulato in tale sezione riproduce con ottima accuratezza il massimo valore osservato dal misuratore di livello presente e pari a 7.66 m sullo zero idrometrico, corrispondente ad una quota di 170.82 m s.l.m. (si veda Figura 32). In particolare, le evidenze lasciate dall'acqua esondata confermano che il massimo livello ha superato il basamento in calcestruzzo della cabina della teleferica non invadendo comunque l'interno della cabina stessa.

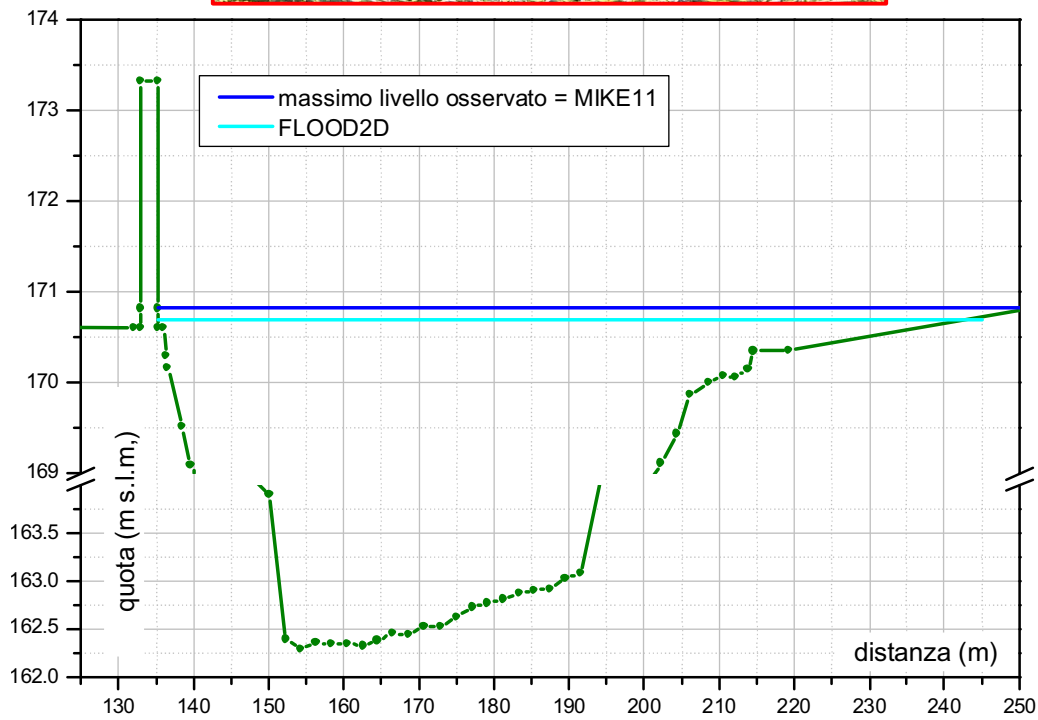


Figura 32. Sezione della teleferica di Ponte Nuovo - Novembre 2005: evidenze lasciate dall'acqua esondata sul terreno e confronto tra il massimo livello osservato dall'idrometro a pressione e simulato dalla modellistica idraulica monodimensionale (MIKE11) e bidimensionale (FLOOD2D).

Analisi bidimensionale, FLOOD2D

Durante l'evento di piena in destra idrografica si è verificata una rotta d'argine immediatamente a monte della confluenza con il Fiume Chiascio, che ha creato dei flussi trasversali, i quali sono stati simulati mediante approccio bidimensionale. Per tale analisi è stato considerato il tratto del Fiume Tevere compreso tra le sezioni idrometriche di Torgiano e di Ponte Nuovo, per una lunghezza complessiva di circa 6 km. La simulazione è stata effettuata utilizzando il modello idraulico bidimensionale FLOOD2D (Molinari et al., 1992) in grado di simulare l'allagamento di aree a topografia complessa anche in presenza di zone urbanizzate ed infrastrutture come argini, ponti, traverse, sifoni, canali, etc. Il dominio di calcolo è stato caratterizzato sulla base della topografia derivante dall'integrazione del rilievo topografico delle sezioni fluviali del Tevere con il Modello Digitale del Terreno (DTM) 2m x 2m, entrambi effettuati per la redazione del PAI da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT). Il Modello Digitale del Terreno è stato opportunamente modificato, utilizzando anche i rilievi topografici forniti dalla Provincia di Perugia relativi al tratto fluviale interessato dalla rotta arginale. Per le condizioni iniziali si è supposto che nelle aree inondabili le celle fossero inizialmente con fondo asciutto, mentre per le celle dell'alveo la condizione è individuata dal deflusso di base. Per la stima dell'idrogramma in ingresso nella sezione di Torgiano, non avendo dati di livello disponibili in corso d'evento, è stato ricostruito l'idrogramma di portata mediante traslazione non-lineare dell'idrogramma osservato nella sezione di Ponte Felcino, collocata 21 km a monte (Moramarco e Singh, 1999). Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, è stata utilizzata la scala di deflusso di Manning sia per la sezione del corso d'acqua che per le aree adiacenti, avendo considerato un valore del coefficiente di Manning stimato mediante calibrazione di alcuni eventi di piena osservati sia alla sezione idrometrica di Ponte Nuovo che alla teleferica.

Non avendo informazioni sulla modalità di accadimento della rotta arginale, è stato supposto che questa si verificasse durante la fase di crescita della piena.

È stata così determinata l'area allagata causata anche dalla rotta arginale. Per il sito idrometrico di Ponte Nuovo, è stato verificato che il massimo livello osservato è riproducibile solo ipotizzando una parziale ostruzione delle luci del ponte, come per l'approccio monodimensionale. Inoltre, in tale configurazione il modello FLOOD2D riproduce con buona accuratezza il massimo livello registrato alla sezione della teleferica (si veda Figura 32) simulando anche l'esondazione che ha interessato l'area golenale in sinistra idrografica in prossimità della teleferica stessa (si veda Figura 33), testimoniata dalle evidenze lasciate dall'acqua sul terreno. I risultati ottenuti in termini di perimetrazione dell'area inondata sono in buon accordo sia con l'area ricostruita utilizzando la ripresa aerea effettuata dai Vigili del Fuoco di Perugia la mattina del 27 Novembre 2005 (si veda Figura 33) sia con l'area inondabile del PAI relativa ad un tempo di ritorno di 50 anni. Va evidenziato, tuttavia, che in quest'ultimo caso la portata per la quale è stata perimetrata l'area inondabile è circa il 33% più elevata di quella osservata.

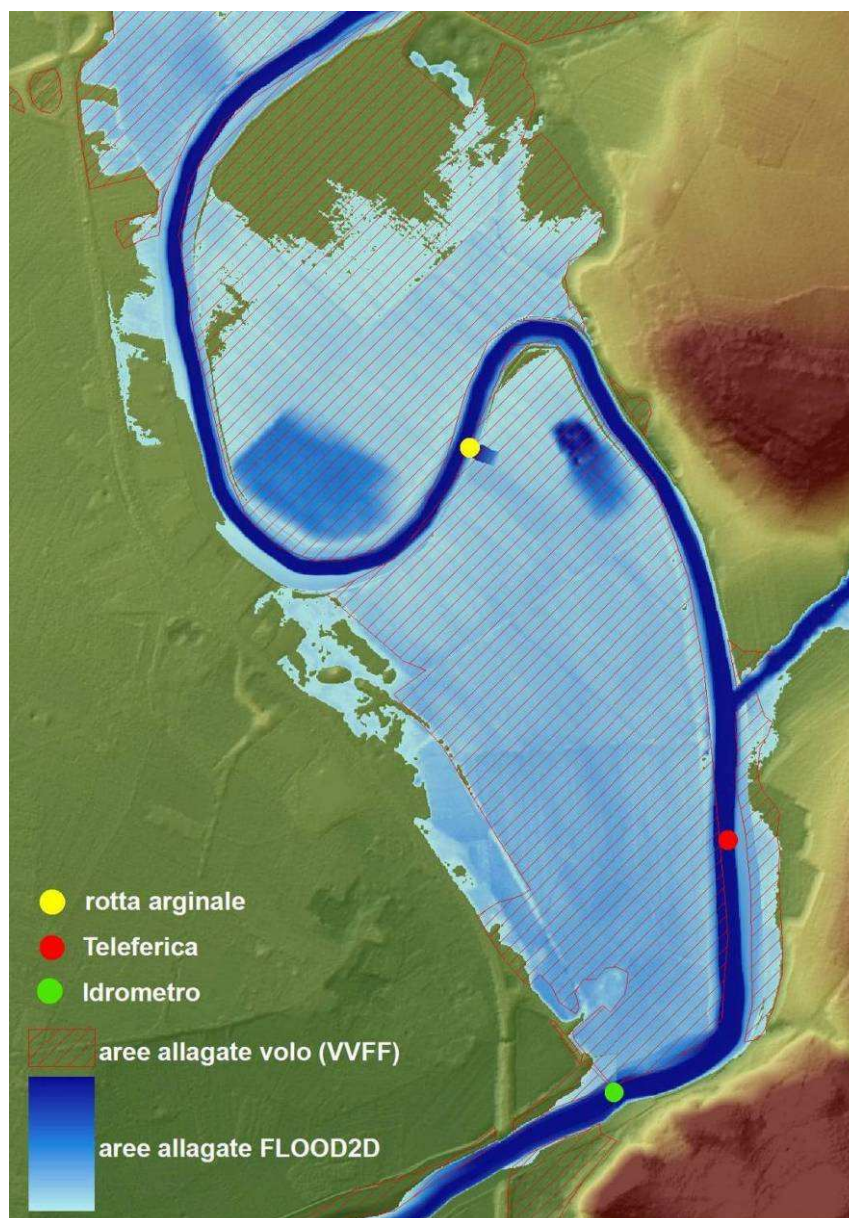


Figura 33. Fiume Tevere: tratto fluviale Torgiano - Ponte Nuovo: confronto tra l'area inondata delimitata sulla base della ripresa aerea effettuata dai Vigili del Fuoco (VVFF) e simulata dalla modellistica bidimensionale (FLOOD2D).

8. MONITORAGGIO DELLA PORTATA IN CORSO D'EVENTO

Al fine di quantificare la portata transitante in corso d'evento nei siti idrometrici di chiusura dell'Alto e Medio bacino del Fiume Tevere e nonché di verificare l'affidabilità delle rispettive scale di deflusso, è stata effettuata un'analisi idrologica basata:

- sulle misure correntometriche realizzate dai tecnici della Regione Umbria (RU) in corso d'evento nel sito di Ponte Nuovo (Alto Tevere) e di Monte Molino (Medio Tevere);
- sull'applicazione del modello Rating Curve Method (RCM) che consente di ricostruire la relazione funzionale livello-portata alla sezione di chiusura di un tratto fluviale strumentato anche quando vi sono effetti non stazionari della corrente ed il contributo degli afflussi laterali lungo il tratto è significativo (Moramarco et al., 2005).

Misure Correntometriche

La prima misura è stata eseguita nel sito strumentato di Monte Molino il 28 Novembre tra le ore 11 e le ore 12 durante la fase iniziale di recessione dell'onda, mentre la seconda misura è stata effettuata a Ponte Nuovo il 28 Novembre tra le ore 13:00 e le ore 14:00 in fase di recessione avanzata della piena.

La misura correntometrica durante un contesto di piena è realmente difficoltosa sia per il campionamento dei punti di velocità nella porzione inferiore dell'area liquida sia per i pericoli a cui sono sottoposti gli operatori. Tuttavia, durante eventi di piena eccezionali è possibile eseguire senza eccessive difficoltà il campionamento della massima velocità puntuale che generalmente si manifesta nella porzione superiore dell'area liquida. Pertanto, la possibilità di ricostruire con una procedura semplice ed accurata il solido di velocità a partire dai punti campionati nella porzione superiore dell'area liquida è estremamente rilevante per la risoluzione delle problematiche legate al monitoraggio della portata con tecniche tradizionali durante eventi estremi. Questo consentirebbe di contenere in modo significativo i tempi necessari per l'esecuzione della misura e di limitare notevolmente i pericoli cui sono esposti gli operatori stessi.

A tal fine, Moramarco et al. (2004) hanno sviluppato un approccio per la ricostruzione del solido di velocità della corrente a partire dalla conoscenza della velocità massima campionata, u_{max} , con la corrispondente profondità, h_{max} , e dell'area bagnata corrispondente al livello idrometrico osservato. In particolare, viene impiegata una distribuzione del profilo di velocità derivata dal principio dell'entropia (Chiu, 1987) e viene adottata una legge di distribuzione della velocità media e massima lungo le verticali campionate nell'area liquida di tipo parabolico. Il modello si basa su una formulazione semplificata del profilo entropico di velocità, sviluppato da Chiu (1986), che, per un canale naturale, può essere scritto nella forma (Moramarco et al., 2004):

$$u_i = \frac{u_{max_i}}{M} \ln \left(1 + (e^M - 1) \frac{y}{D_i - h_i} \exp \left(1 - \frac{y}{D_i - h_i} \right) \right) \quad i=1,2, \dots, N_v \quad (1)$$

dove:

- u_i e D_i sono rispettivamente la componente della velocità lungo la direzione di flusso e l'altezza d'acqua lungo l'i-esima verticale;
- y è la distanza verticale misurata dal fondo del canale;
- h_i è la profondità al di sotto della superficie liquida dove si verifica la massima velocità campionata, u_{max_i} ;
- N_v è il numero delle verticali campionate nella sezione liquida.

M è il parametro entropico caratteristico della sezione idrometrica, stimato dalla relazione lineare tra la velocità media e massima campionata (Moramarco et al., 2004). L'approccio ipotizza anche che nell'area di flusso la u_{max_i} segue un andamento di tipo parabolico, descritto dalla seguente relazione:

$$u_{max_i}(x) = \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma \quad (2)$$

dove:

- α , β e γ sono parametri;
- x è la coordinata nella direzione trasversale ($x=0$ identifica la verticale dove si è osservata la massima velocità u_{\max}).

I parametri della curva parabolica possono essere stimati attraverso tre semplici condizioni (Moramarco et al., 2004). Le equazioni (1) e (2) insieme all'ipotesi di assumere h_i costante e pari ad h_{\max} (Burnelli et al., 2006) consentono di ricostruire il solido di velocità dal solo campionamento della velocità massima della sezione.

La procedura brevemente descritta è stata quindi applicata per la stima della portata transitante nella sezione idrometrica di Ponte Nuovo e Monte Molino sul Fiume Tevere durante l'evento di piena oggetto del presente rapporto.

Ponte Nuovo

In Figura 34 sono mostrate le verticali campionate durante la misura di velocità eseguita il 28 Novembre 2005 tra le ore 13:00 e le ore 14:00 con un'altezza idrometrica media pari a circa 3.85 m. La massima velocità è stata osservata in corrispondenza della verticale n. 8 con un valore di u_{\max} pari a 3.51 m/s ad una profondità $h_{\max}=0.1$ m. Conoscendo la massima velocità campionata e impiegando l'equazione (2) è stato possibile ricostruire l'andamento della $u_{\max i}$ e successivamente, per mezzo dell'equazione (1), sono stati individuati i profili di velocità nell'area di flusso, alcuni dei quali sono mostrati nella parte bassa della Figura 34.

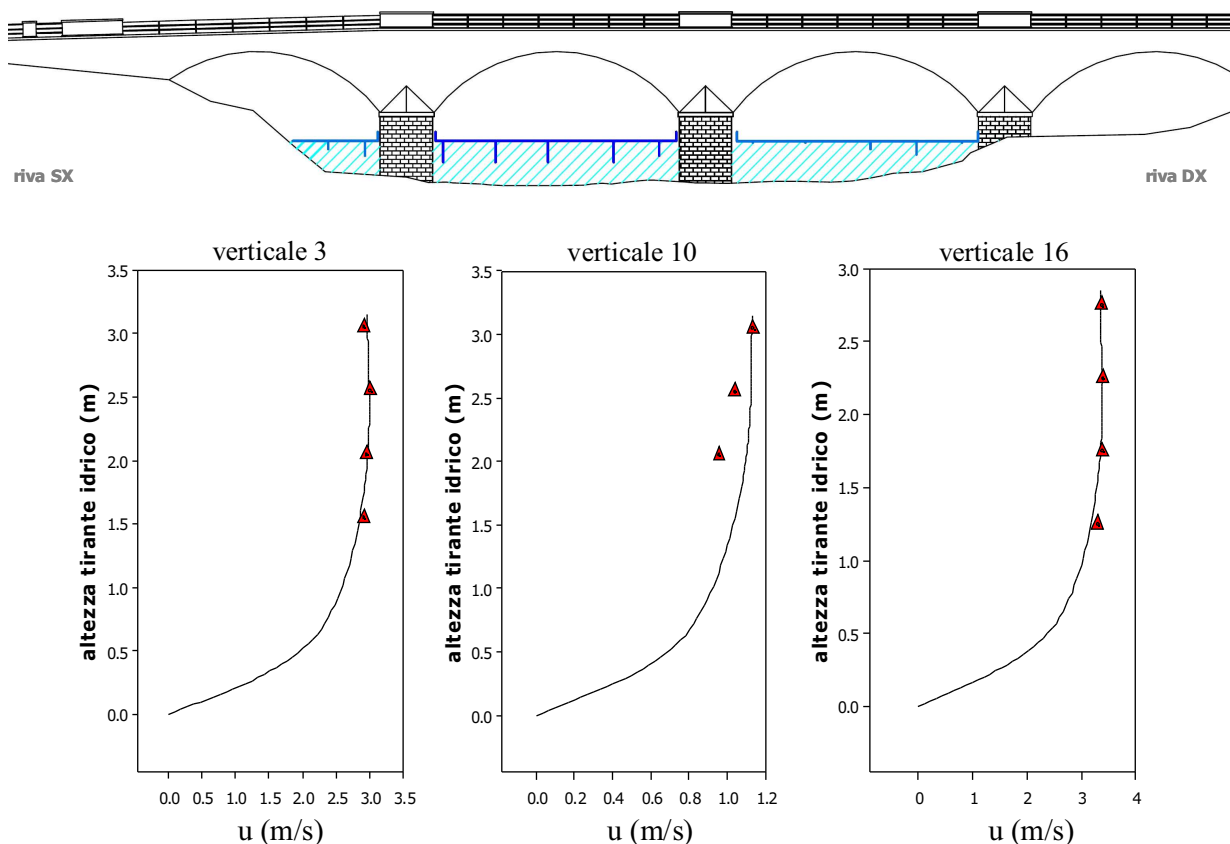


Figura 34. Misura correntometrica alla sezione di Ponte Nuovo sul fiume Tevere durante l'evento di piena del novembre 2005. Sono mostrate le verticali (profondità) ed i punti velocità campionati assieme ai profili ricostruiti.

Sulla base dei profili ottenuti ed applicando il metodo velocità-area è stato stimato un valore di portata pari a $310 \text{ m}^3/\text{s}$, congruente con quello derivabile dalla rispettiva scala di deflusso.

Monte Molino

Nella parte superiore della Figura 35 sono mostrate le verticali campionate durante la misura di velocità eseguita il 28 Novembre 2005 tra le ore 11:00 e le ore 12:00 con un'altezza idrometrica media pari a circa 8.25 m (si veda Figura 36). La massima velocità è stata osservata in corrispondenza della verticale n. 5 con un valore di u_{max} pari a 3.05 m/s ad una profondità $h_{\text{max}}=1.5$ m. Considerando la massima velocità campionata, l'impiego dell'equazione (2) ha consentito di ricostruire l'andamento della $u_{\text{max}i}$. Va evidenziato che il campionamento dei punti di velocità ha consentito di ottenere la massima velocità per ogni verticale e ciò ha permesso di valutare la buona correlazione tra le $u_{\text{max}i}$ stimate dall'equazione (2) e quelle osservate. Mediante l'equazione (1), sono stati individuati i profili di velocità nell'area di flusso, alcuni dei quali sono riportati in Figura 35.

Il valore di portata, stimato considerando i profili ottenuti ed applicando il metodo velocità-area, è risultato pari a $1030 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche in questo caso, tale valore è congruente con quello derivabile dalla relazione funzionale livello-portata.

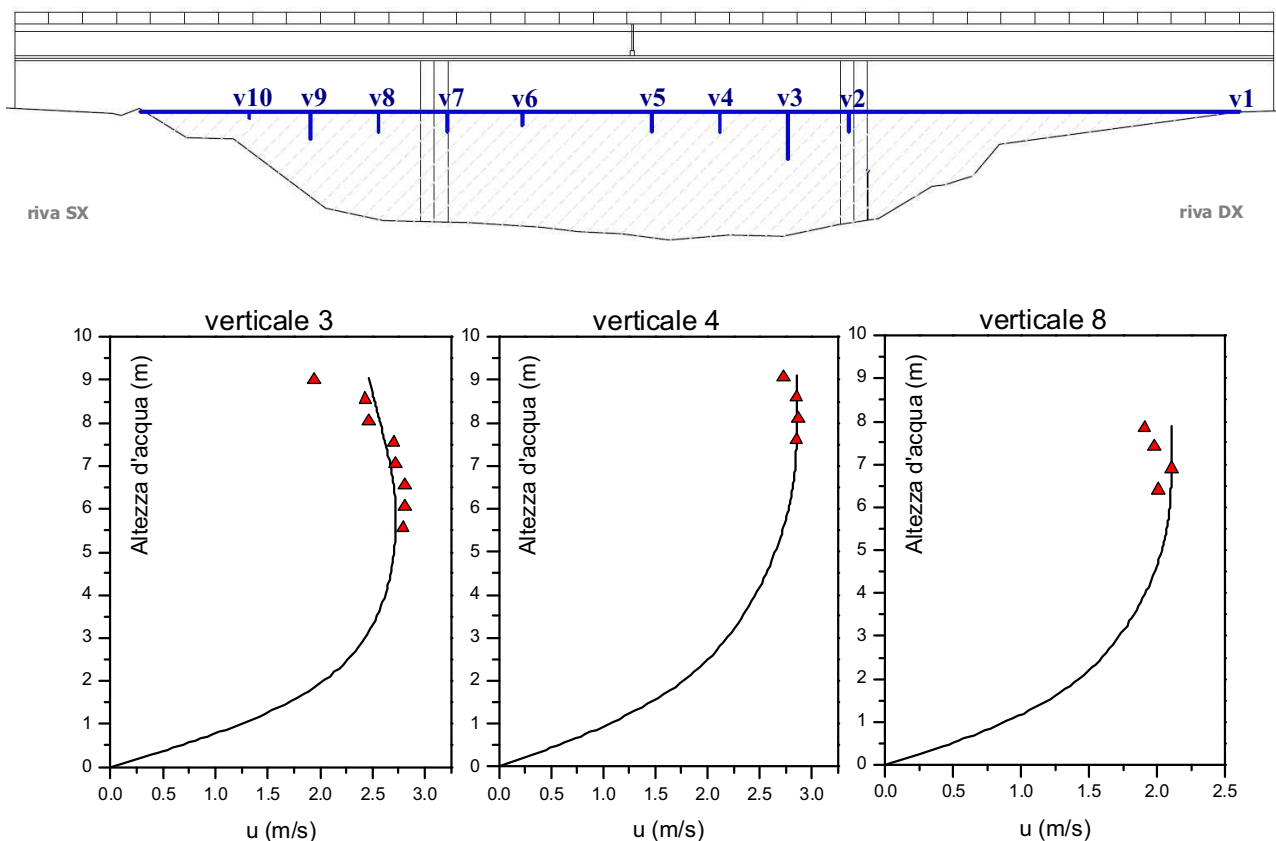


Figura 35. Misura correntometrica alla sezione di Monte Molino sul fiume Tevere durante l'evento di piena del novembre 2005. Sono mostrate le verticali (profondità) ed i punti velocità campionati assieme ai profili ricostruiti.



Figura 36. Misura correntometrica alla sezione di Monte Molino sul fiume Tevere eseguita il 28 Novembre 2005 dai tecnici delle Regione Umbria (RU).

Relazione funzionale livello-portata in corso d'evento

Per i due siti idrometrici di interesse, la relazione funzionale livello-portata per l'evento del Novembre 2005 è stata stimata attraverso un modello idrologico proposto recentemente da Moramarco et al. (2005), denominato di seguito RCM (Rating Curve Method), che nel sito idrometrico investigato consente di stimare la portata a partire dalle registrazioni di livello eseguite nel sito stesso e dalla conoscenza delle condizioni idrauliche (livello e portata) in un'altra sezione lungo l'asta fluviale. Tale metodo può essere applicato anche in presenza di significativi afflussi laterali e consente di ottenere una rapida stima della portata senza ricorrere a metodologie di trasferimento dell'onda di piena, richiedendo la stima di due soli parametri (Moramarco et al., 2005). L'applicazione di un approccio idrologico è necessario quando non si hanno a disposizione adeguati rilievi topografici e conoscenze delle caratteristiche idrauliche del tratto fluviale per l'uso di una modellistica idraulica e l'uso di approcci classici, come il metodo pendenza-atrito, può essere ritenuto non affidabile poiché la massima misura di portata è generalmente effettuata in corrispondenza di livelli idrometrici notevolmente inferiori rispetto ai livelli osservati durante eventi di piena salienti. Per maggior completezza viene di seguito riportata una breve descrizione del modello RCM e dei risultati ottenuti mediante la sua applicazione per l'evento di Novembre 2005.

Considerando un tratto fluviale di lunghezza L delimitato da due sezioni per le quali sono monitorati i livelli, mentre le portate sono note solo nella sezione di monte, il metodo RCM consente di stimare la portata nella sezione di valle come (Moramarco et al., 2005).

$$Q_d(t) = a \frac{A_d(t)}{A_u(t - T_L)} Q_u(t - T_L) + b \quad (3)$$

dove i pedici u e d sono riferiti alle sezioni di monte e di valle, rispettivamente. Q è la portata; A rappresenta l'area di flusso; t è il tempo; T_L è il tempo di trasferimento dell'onda di piena; a e b sono i parametri del modello.

Per un dato livello idrometrico, l'area di flusso viene determinata mediante rilievo topografico e tenendo conto della presenza di eventuali singolarità in prossimità delle due sezioni. Infatti, queste ultime possono determinare la formazione di zone di accumulo e ristagno dell'acqua con conseguente riduzione della porzione di sezione trasversale che contribuisce al deflusso della corrente. La determinazione di T_L è diversificata a seconda del contributo degli afflussi laterali. In particolare, nel caso in cui questi siano trascurabili, T_L viene calcolato considerando lo sfasamento tra i massimi valori di livello osservati nelle due sezioni (Moramarco e Singh, 2001). Viceversa, nel caso di contributi significativi dell'interbacino, T_L viene determinato come il tempo necessario per ottimizzare la sovrapposizione del ramo di risalita e della regione di picco dei due idrogrammi di livello resi adimensionali.

Per la stima dei parametri del modello, a e b, vengono considerate le condizioni di deflusso di base e portata al colmo (Moramarco e Singh, 2001). In particolare, la portata di picco nella sezione di valle viene quantificata come somma del contributo degli afflussi laterali e quello della portata di monte opportunamente sfasata e attenuata per il processo di trasferimento lungo il tratto di interesse (Moramarco et al., 2005). Per maggiori dettagli sulla stima dei parametri si rimanda alle due anzimenzionate pubblicazioni.

Ponte Nuovo - teleferica

Durante la piena di Novembre 2005 la strumentazione di misura ad ultrasuoni della velocità funzionante alla teleferica di Ponte Nuovo ha registrato un colmo di portata di circa 1070 m³/s ed ha mostrato un evidente cappio di piena per livelli idrometrici superiori a 5 metri (si veda Figura 37b).

Il modello RCM è stato utilizzato per ricostruire l'idrogramma dei deflussi e la relazione livello-portata alla teleferica durante la piena utilizzando come dati di ingresso l'idrogramma di portata osservato alla stazione idrometrica di Pierantonio, ubicata circa 40 km a monte e con un bacino intermedio di circa 2300 km². La Figura 37a mostra il confronto tra l'idrogramma registrato dal misuratore ad ultrasuoni e stimato con il modello RCM nella sezione della teleferica di Ponte Nuovo insieme all'idrogramma delle portate osservato alla stazione di Pierantonio. Nella Figura 37a è riportato anche l'idrogramma, denotato come osservato, ottenuto dalla scala di deflusso stimata sulla base delle misure correntometriche disponibili ed applicando una modellistica idraulica monodimensionale. Come si può vedere, il modello RCM riproduce in maniera accurata le registrazioni del misuratore, mentre la scala di deflusso tende a sovrastimare la portate nella fase di recessione. Infatti, dalla Figura 37b si evince che la scala di deflusso è compatibile con i dati registrati dal misuratore e con quelli forniti dal modello RCM solo per il ramo di risalita dell'idrogramma di piena. Questo è ovviamente legato agli effetti non stazionari della corrente, ascrivibili in gran parte ai fenomeni di inondazione occorsi, che la scala di deflusso, essendo una

relazione di tipo cinematico, non è in grado di considerare. Infine, viene mostrata anche la misura di portata effettuata a Ponte Nuovo durante la fase di recessione dell'onda di piena (pari a circa 310 m³/s) che si dispone in maniera soddisfacente sulla scala di deflusso e sulle registrazioni del misuratore ad ultrasuoni.

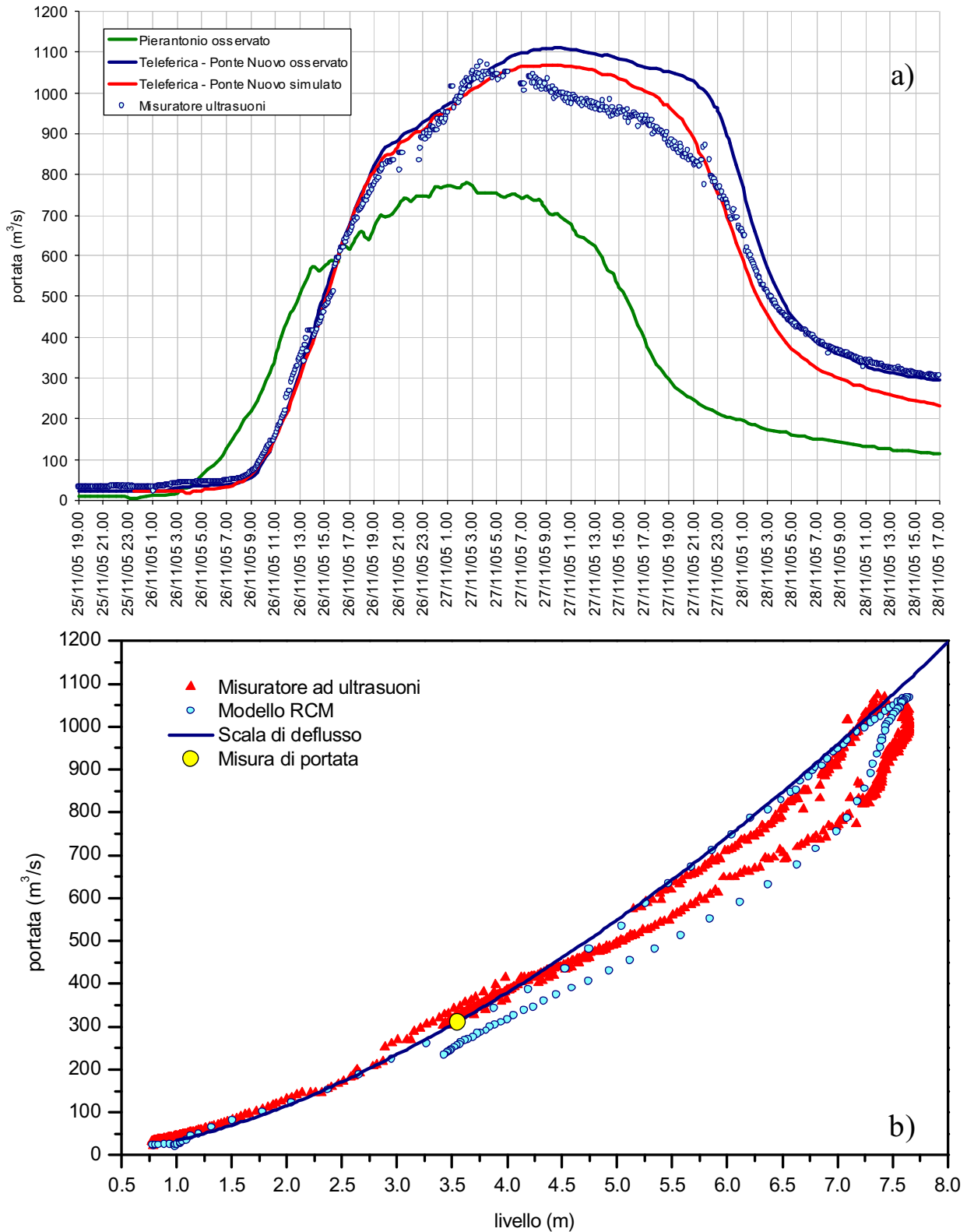


Figura 37. a) Confronto degli idrogrammi di portata e b) coppia di piena simulato ed osservato per l'evento del Novembre 2005 alla sezione della teleferica di Ponte Nuovo sul Fiume Tevere.

L'analisi globale della Figura 37 consente di affermare che il modello RCM stima in maniera appropriata i contributi dell'interbacino e allo stesso tempo riproduce con sufficiente accuratezza il ramo di risalita dell'onda di piena, la forma dell'idrogramma di portata e anche il coppia di piena registrato durante l'evento dal misuratore ad ultrasuoni.

Monte Molino

Per l'evento del Novembre 2005, il modello RCM è stato impiegato per ricostruire l'idrogramma delle portate nella sezione idrometrica di Monte Molino a partire dalla conoscenza dei livelli registrati dalla stazione di Ponte Nuovo, di proprietà della Regione Umbria e ubicata circa 31 km a monte, dove la scala di deflusso disponibile può essere ritenuta affidabile. Il tempo di trasferimento dell'onda di piena è stato stimato pari a 2.5 ore. In Figura 39 viene mostrato il confronto tra l'idrogramma delle portate osservato e simulato insieme all'idrogramma in ingresso a Ponte Nuovo. Come si può notare, il modello oltre a stimare in maniera adeguata gli afflussi laterali del tratto Ponte Nuovo - Monte Molino, riproduce con sufficiente accuratezza la forma dell'idrogramma, particolarmente il ramo di risalita e tende a sovrastimare leggermente il valore della portata osservata nella regione del colmo. La portata definita osservata a Monte Molino è stata determinata attraverso la scala di deflusso mostrata in Figura 38, stimata sulla base delle misure correntometriche disponibili ed applicando il metodo pendenza-attrito (Barbetta et al., 2004) nonché considerando la relazione livello-portata calcolato dal modello RCM per gli eventi di piena più significativi occorsi nel periodo 1996-2005.

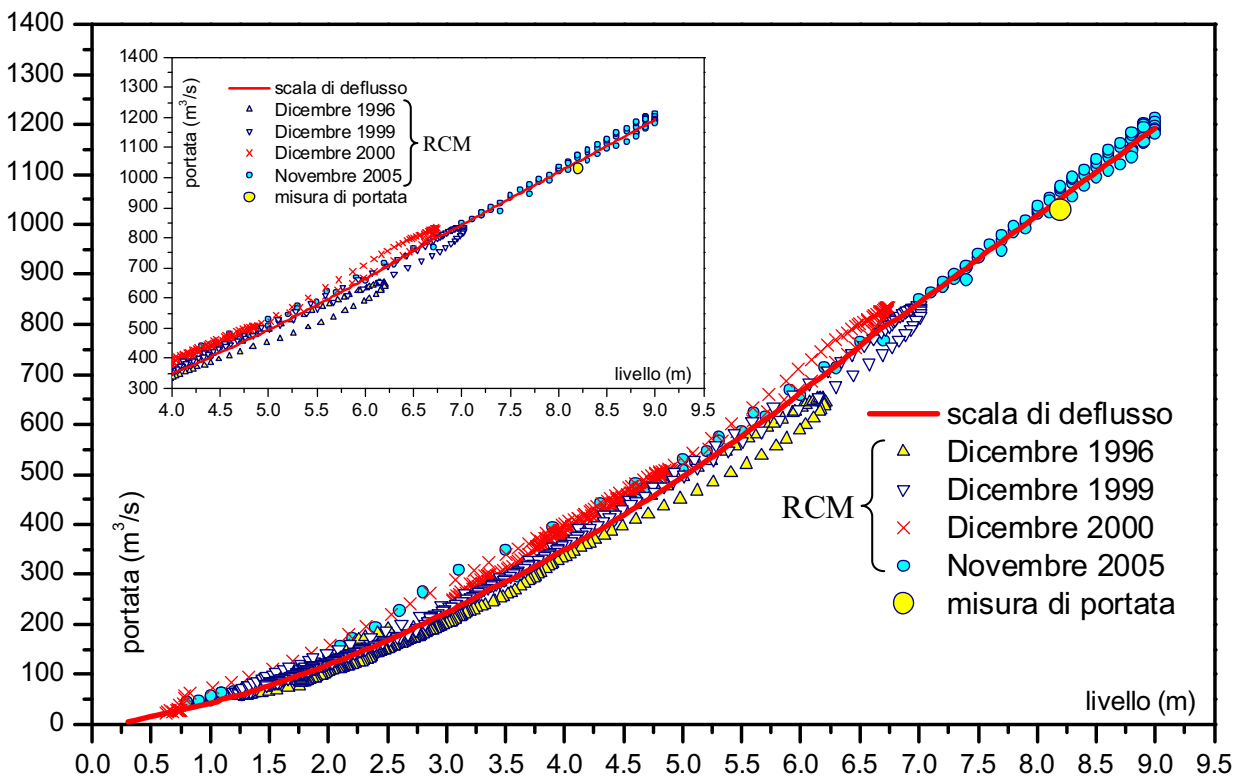


Figura 38. Monte Molino: confronto tra la scala di deflusso nota e l'andamento livello-portata calcolato dal modello RCM per gli eventi di piena più significativi occorsi nel periodo 1996-2005. Viene mostrata anche la misura di portata eseguita durante la fase di recessione della piena del Novembre 2005.

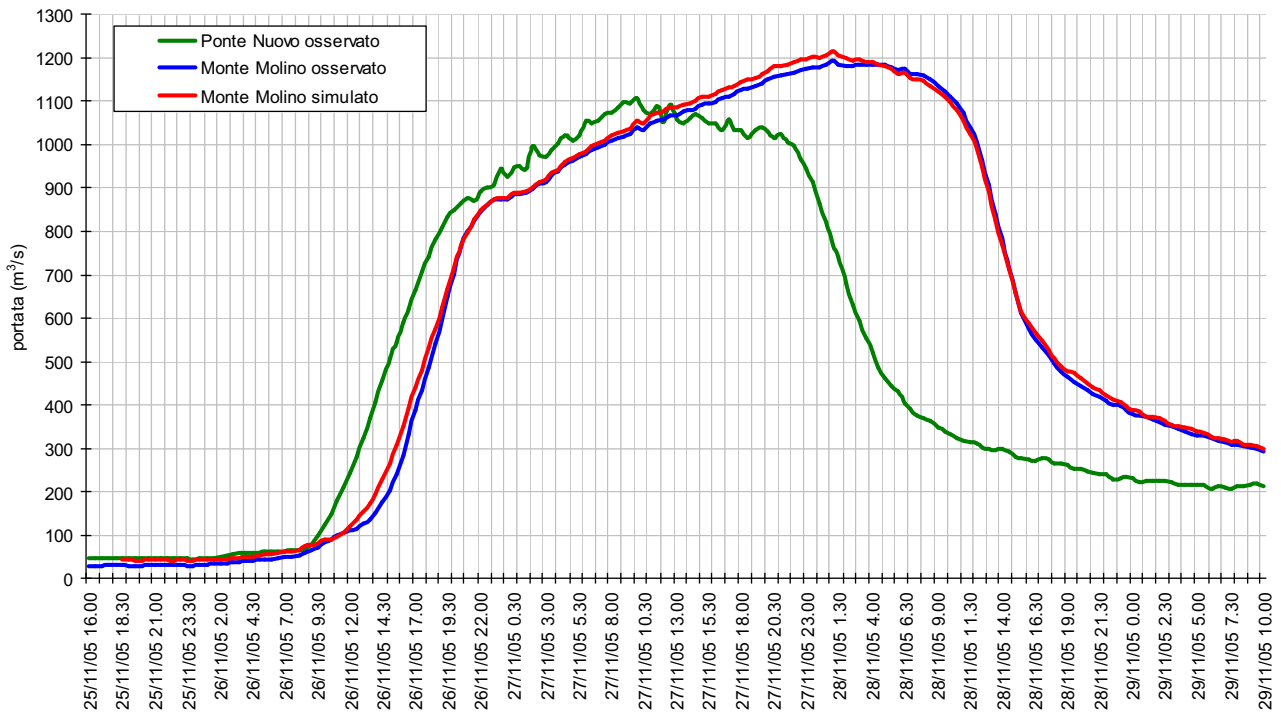


Figura 39. Monte Molino: confronto tra l'idrogramma delle portate osservato e simulato dal modello RCM per l'evento di Novembre 2005. Viene mostrato anche l'idrogramma dei deflussi osservato alla sezione di Ponte Nuovo che delimita a monte il tratto considerato per l'applicazione del modello.

In Figura 38 viene riportata anche la misura correntometrica eseguita durante la prima fase del ramo di recessione della piena del Novembre 2005 che, secondo quanto precedentemente esposto, è risultata pari a $1030 \text{ m}^3/\text{s}$. Come si può osservare, il modello RCM riproduce accuratamente tale valore di portata durante la fase di recessione dell'onda di piena. L'affidabilità del modello soprattutto per quanto concerne la riproduzione della forma dell'idrogramma è ulteriormente avvalorata dall'analisi della Figura 42 che mostra l'idrogramma in ingresso all'invaso di Corbara, determinato dalle informazioni sulla regolazione dell'invaso stesso (livello del lago e portata defluita).

Sulla base dei risultati ottenuti per l'evento in oggetto e della misura di portata effettuata, si può quindi affermare che per la sezione di Monte Molino si dispone di un'accurata scala di deflusso. I risultati mostrati in Figura 38 confermano anche la capacità del modello RCM di tener conto di eventuali effetti non stazionari della corrente poiché cappi di piena di ampiezza limitata e differente sono simulati per i quattro eventi considerati, tra i quali quello occorso nel Novembre 2005.

9. EFFETTO DEGLI SBARRAMENTI ARTIFICIALI SULL'EVOLUZIONE DELLA PIENA

Il bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere, come noto, è caratterizzato dalla presenza di una serie di invasi artificiali: oltre alla diga di Corbara, che sottende un bacino di circa 5781 km², l'evoluzione dell'onda di piena e la regimazione dei deflussi lungo il reticolo idrografico sono condizionate principalmente dalle presenza della diga di Montedoglio, ubicata sul Fiume Tevere a monte del centro urbano di Città di Castello (area bacino sotteso 276 km²), e dallo sbarramento di Casanuova localizzato sul maggiore affluente, il Fiume Chiascio, a monte dell'abitato di Valfabbrica (area bacino sotteso 471 km²). La dislocazione dei sopramenzionati invasi artificiali è mostrata in Figura 40.

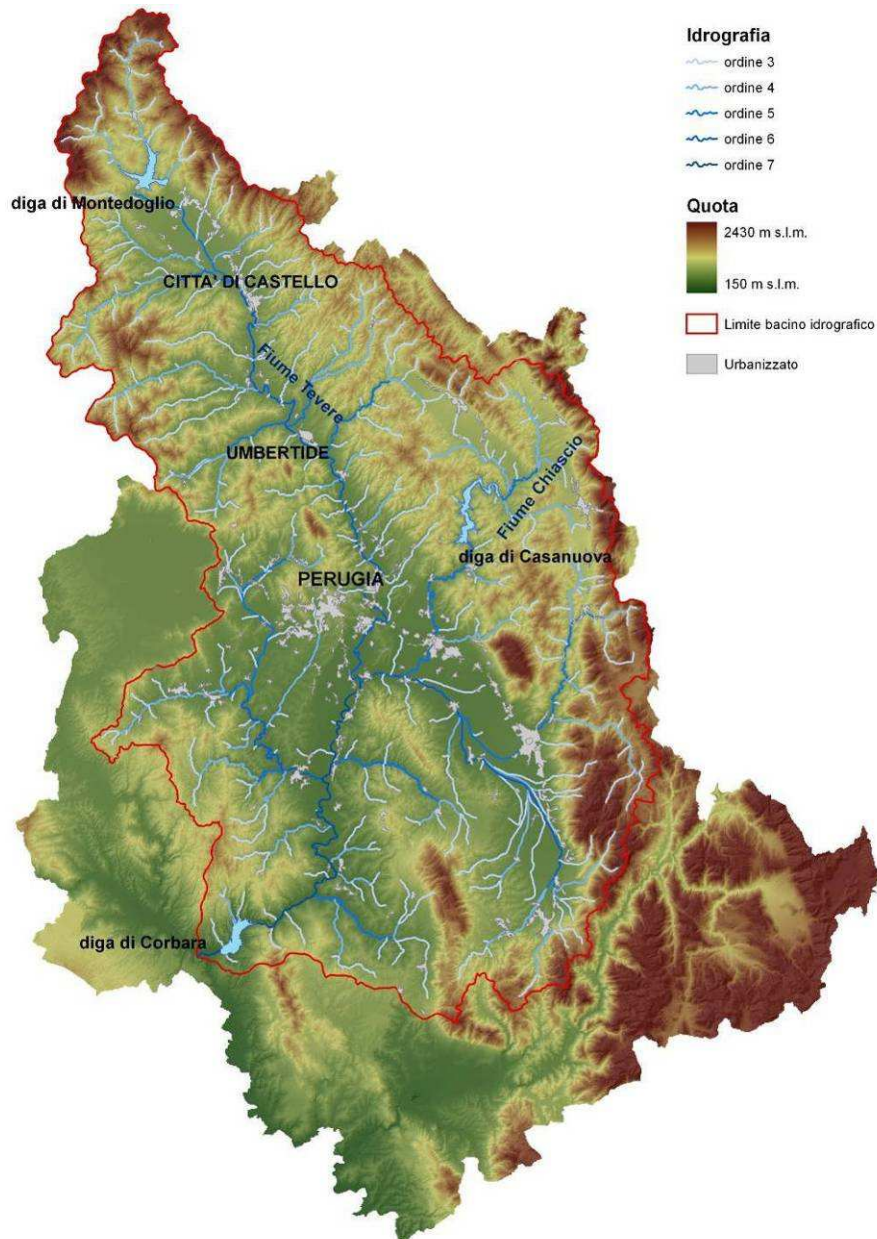


Figura 40. Localizzazione degli sbarramenti artificiali di Montedoglio, Casanuova e Corbara nell'ambito del territorio umbro. Viene mostrato anche il limite del bacino del Fiume Tevere alla diga di Corbara.

La diga di Corbara è caratterizzata da una quota di massimo invaso pari a 138 m s.l.m. e da un corrispondente volume utile di regolazione pari a 135 Mmc. La gestione di questo invaso, realizzato per la produzione di energia elettrica ed in esercizio fin dal 1963, consente di ottenere l'effetto di laminazione delle piene in ingresso al bacino artificiale proteggendo i territori vulnerabili posti a valle dello sbarramento.

Il bacino artificiale di Montedoglio (Arezzo) è stato realizzato con la finalità primaria di assicurare continuità nell'approvvigionamento idrico dei territori delle province di Arezzo, Perugia e Siena. Ovviamente, le manovre di regolazione eseguite possono essere finalizzate all'accumulo di volumi idrici transitanti nell'invaso durante eventi di piena così da produrre una riduzione del valore al colmo dell'idrogramma di portata che defluisce a valle rispetto a quello che caratterizza l'idrogramma in ingresso. Il volume totale di acqua accumulabile, fra la quota di massimo invaso (396.30 m s.l.m.) e la quota minima del terreno naturale (346.50 m s.l.m.), è di 168 Mmc, di cui 145.5 Mmc di regolazione, fra la quota di massima regolazione a 394.60 m s.l.m. e quella minima di regolazione a 362.20 m s.l.m., e 15 Mmc di laminazione, fra il massimo invaso e la quota di massima regolazione.

L'invaso di Casanuova è stato realizzato tra il 1980 e il 1993 per corrispondere alle esigenze idriche della maggior parte del territorio irriguo dell'Umbria, costituito da circa 65.000 ettari dislocati nella Valle Umbra fino a Spoleto, nella Valle del Tevere fino a Todi e nelle valli minori dei torrenti Nestore, Caina e Genna, oltrechè alle necessità idropotabili della città di Perugia e di altri centri minori. Il volume totale di acqua accumulabile, fra la quota di massimo invaso (332.50 m s.l.m.) e la quota minima del terreno naturale (265.27 m s.l.m.), è di 224 Mmc, 24 dei quali destinati alla laminazione, 14 agli interrimenti e 186 Mmc alla regolazione, fra la quota di massimo invaso di regolazione a 330 m s.l.m. e il minimo invaso di regolazione a 290.00 m s.l.m., con ampia elasticità nell'uso plurimo delle acque (irrigazione, uso civile, industriale, energetico ed ecologico). La diga sul Fiume Chiascio non è ancora funzionante a regime dal momento che non sono state espletate tutte le necessarie operazioni di collaudo regolamentate dal Servizio Nazionale Dighe; pertanto, allo stato attuale il massimo livello di invaso autorizzato è pari a 287 m s.l.m.

Invaso di Corbara

Durante l'evento di piena occorso nel Novembre 2005, le manovre idrauliche eseguite allo sbarramento di Corbara hanno reso possibile lo sfasamento dell'onda di piena generata dal contributo del bacino del Fiume Paglia, a valle dello sbarramento, e dell'onda proveniente dai bacini umbri. In particolare, la capacità d'invaso è stata utilizzata durante il passaggio della prima onda di piena proveniente dal Paglia (27 novembre 2005) per trattenere i deflussi provenienti da monte, generati dai bacini umbri. Quando il livello del lago è diventato prossimo al massimo valore consentito (138 m s.l.m.) sono iniziate le operazioni di rilascio, proseguite gradualmente per le due giornate successive (28 e 29 novembre 2005), che hanno generato una seconda onda di piena di entità massima pressoché uguale alla prima. In questo modo è stata evitata la sovrapposizione del contributo del bacino di monte (5781 km²) e del deflusso proveniente dal bacino del Paglia (1329 km²) riducendo in modo significativo il colmo di piena a valle e proteggendo le aree del Basso Tevere. In Figura 41 viene mostrato il confronto tra i livelli di piena registrati sul Fiume Paglia alla

stazione di Orvieto Scalo, all'invaso della diga di Corbara e sul Fiume Tevere a monte (stazione di Monte Molino) e a valle (stazione di Castiglione in Teverina) dello sbarramento. Dall'analisi risulta evidente l'effetto benefico della laminazione prodotta dalla regolazione dell'invaso stesso.

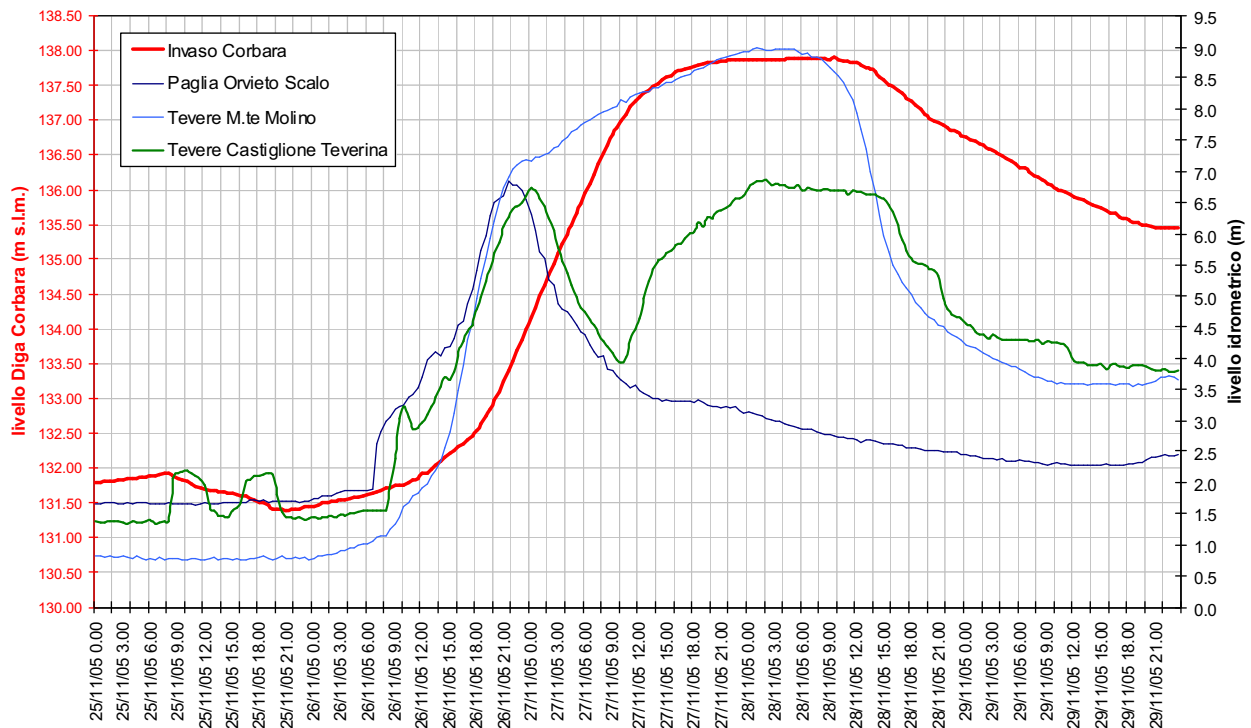


Figura 41. Confronto tra la piena osservata sul Fiume Paglia e sul Fiume Tevere a valle della diga di Corbara. Viene mostrato anche l'andamento dei livello del lago artificiale di Corbara.

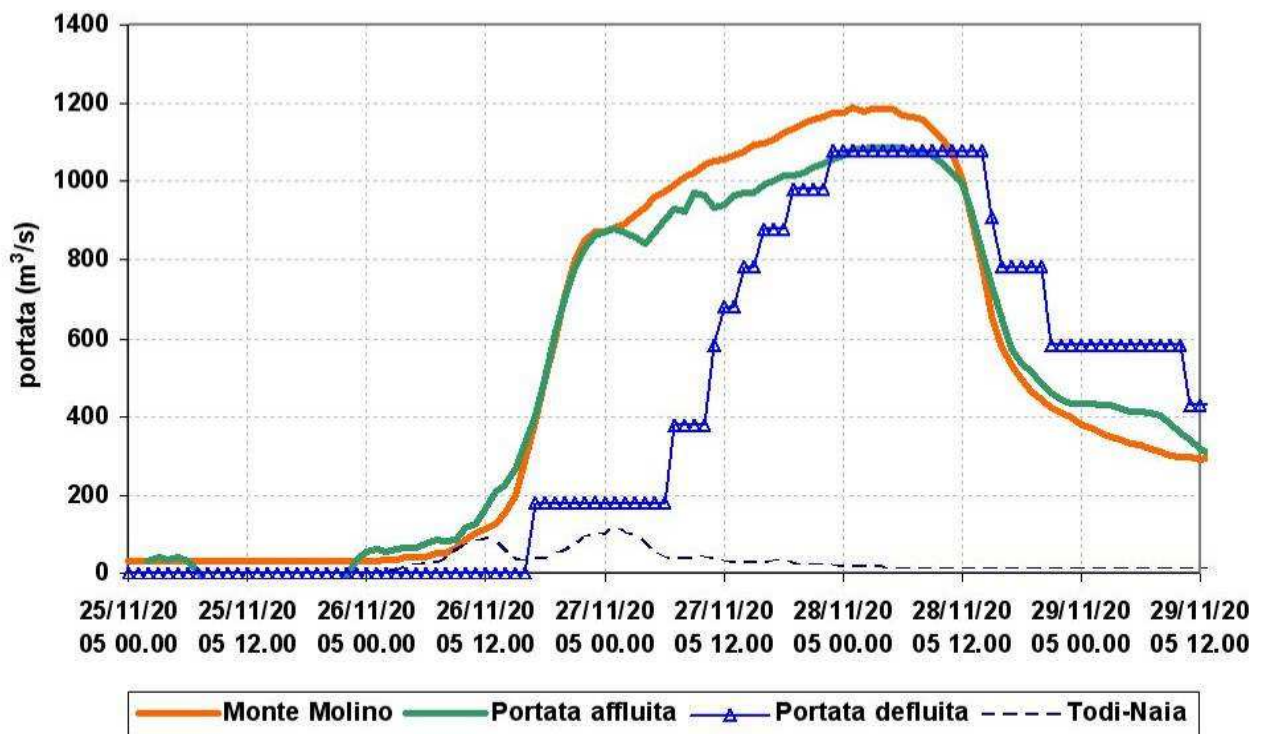


Figura 42. Confronto tra la piena osservata sul Fiume Paglia e sul Fiume Tevere a valle della diga di Corbara. Viene mostrato anche l'andamento del livello del lago artificiale di Corbara.

Infine, la Figura 42 mostra l'andamento delle portate affluite e defluite dall'invaso durante l'evento insieme all'idrogramma dei deflussi stimati alla stazione di Monte Molino, ubicata circa 30 km a monte dello sbarramento artificiale. In particolare, le portate in ingresso sono state ricostruite a partire dalla conoscenza della curva di invaso della diga, della variazione del livello del lago e del deflusso rilasciato. Come si può vedere, esiste una buona corrispondenza tra le portate stimate in ingresso all'invaso e i deflussi transitati nella sezione di Monte Molino anche se le portate nella regione del colmo risultano leggermente sovrastimate, probabilmente per i volumi esondati nel tratto di monte e/o per una sottostima delle portate rilasciate. Inoltre, va evidenziato che il contributo dell'interbacino Monte Molino–Corbara si manifesta principalmente nella fase di risalita dell'evento come deducibile dalla Figura 42 dove è mostrato il contributo del bacino del Naia a Todi (231 km²).

Invaso di Montedoglio

Per quanto riguarda il bacino dell'Alto-Medio Tevere a monte della diga di Corbara, l'onda di piena ha generato estese inondazioni delle aree perfluviali principalmente lungo il tratto dell'asta principale compreso tra le località di Ponte Felcino e Deruta. Tuttavia, senza la regimazione dei deflussi operata dalla diga di Montedoglio gli effetti della piena sarebbero stati sicuramente più gravi, particolarmente nei territori posti subito a valle dello sbarramento. Infatti, in corso d'evento tutto il volume affluito al bacino artificiale è stato invasato per poi essere rilasciato gradualmente a partire dalle ore 18:00 del 28 Novembre 2005, quando l'evento era in fase di esaurimento, con modalità tali da garantire la sicurezza idraulica dei territori vulnerabili a valle dello sbarramento. In particolare, va sottolineato che la portata defluita dalla diga durante i giorni successivi all'evento di piena è stata sempre mantenuta al di sotto di 70 m³/s.

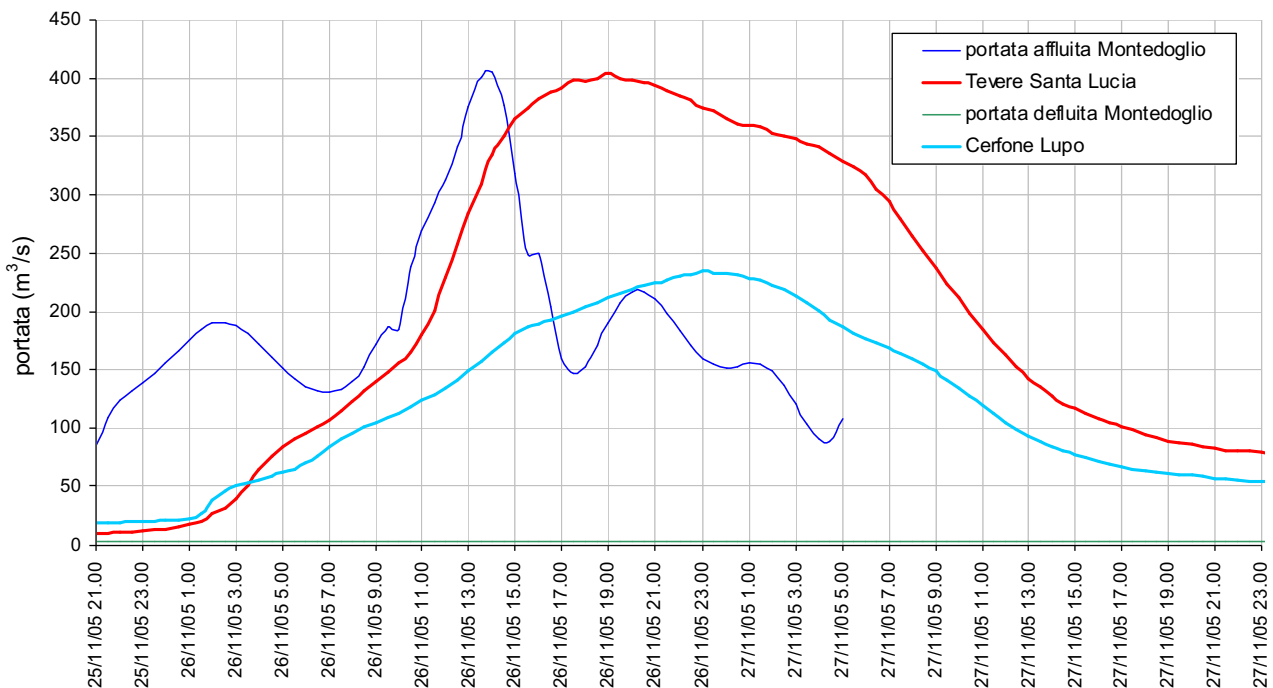


Figura 43. Evento di piena 25-28 Novembre 2005: idrogramma di portata affluita e defluita dall'invaso artificiale di Montedoglio; vengono anche mostrati gli idrogrammi di portata osservati alle sezioni strumentate di Santa Lucia sul Fiume Tevere e di Lupo sul Torrente Cerfone.

In Figura 43 è mostrato l'andamento dell'idrogramma di portata in ingresso all'invaso di Montedoglio ricostruito a partire dai dati di variazione del livello del lago, mostrati in Figura 44, e della portata rilasciata mantenuta costantemente pari a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ fino al tardo pomeriggio del 28 Novembre 2005. Il colmo di portata affluito all'invaso, occorso alle ore 14:00 del 26 Novembre 2005, è risultato pari a circa $400 \text{ m}^3/\text{s}$ analogo a quello stimato per la stazione strumentata di Santa Lucia qui con durata di circa 4 ore (dalle 17:00 alle 21:00 del 26 novembre 2005). Lo sfasamento temporale dei due colmi di portata mostrati in Figura 43 può essere stimato pari a 5 ore ed è compatibile con i risultati di analisi precedentemente eseguite per la stima di tempi di trasferimento dell'onda di piena dalla diga di Montedoglio alle sezioni strumentate esistenti a valle lungo l'asta del Tevere. Sulla base di tale sfasamento e considerando che a Santa Lucia il valore massimo di portata è stato osservato per 4 ore è plausibile ritenere che il contributo del bacino sotteso dallo sbarramento artificiale (276 km^2) si sarebbe sommato a quello dell'interbacino contribuente (657 km^2) con serie conseguenze per le aree di valle. Infatti, una portata al colmo dell'ordine di $800 \text{ m}^3/\text{s}$ transitante nella sezione di Santa Lucia avrebbe causato significativi ed estesi fenomeni alluvionali nelle zone vallive dove sono presenti numerosi centri urbani. Quest'ultima affermazione si basa anche sul valore del tempo di ritorno associato a tale portata che, sulla base dell'analisi statistica eseguita considerando i 58 anni di osservazioni disponibili per la sezione in esame, è risultato dell'ordine dei 200 anni.

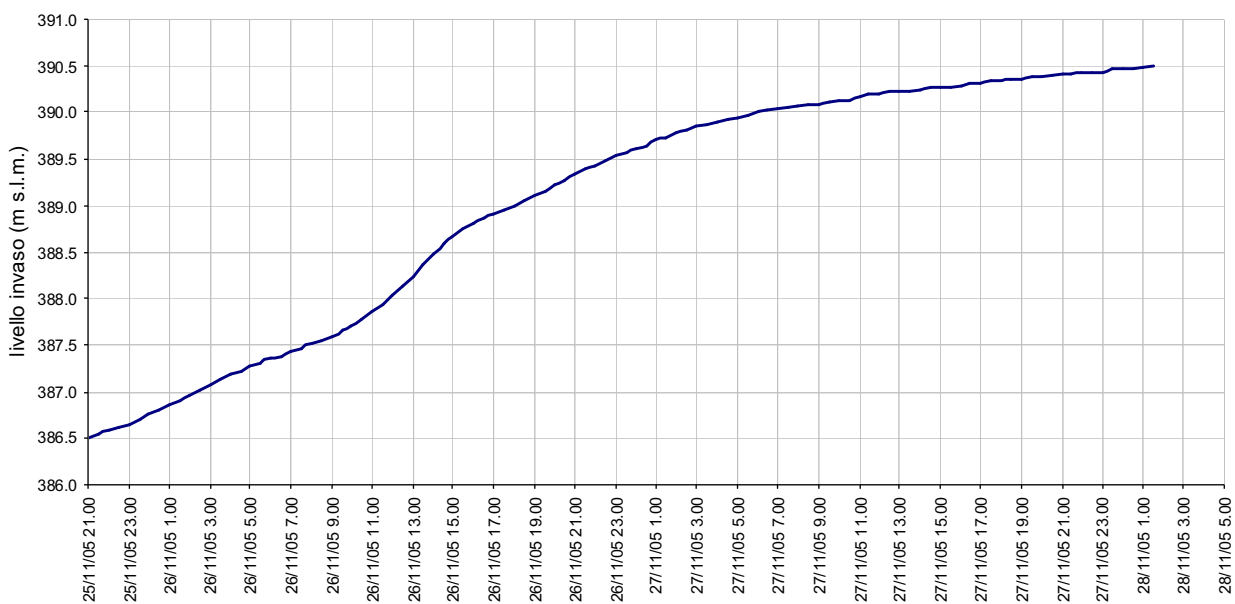


Figura 44. Evento di piena 25-28 Novembre 2005: andamento del livello del lago artificiale di Montedoglio.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per altre stazioni idrometriche lungo l'asta del Fiume Tevere. I siti strumentati di Ponte Felcino e Ponte Nuovo sono di particolare interesse per la presenza di aree perifluviali fortemente antropizzate e potenzialmente vulnerabili ad eventi di piena. Trascurando l'effetto di laminazione dovuto sia all'invaso di Montedoglio che ai fenomeni di esondazione, è possibile ipotizzare uno scenario generato dalla propagazione lungo l'asta del colmo in ingresso all'invaso sino alle sezioni investigate considerando un tempo di trasferimento pari a

quello medio stimato da eventi osservati. Tale tempo di trasferimento è valutato pari a 9-10 ore per il tratto delimitato dalla diga e dalla sezione di Ponte Felcino ed a 12-14 ore fino alla sezione di Ponte Nuovo. In questo modo è possibile stimare l'effetto combinato del contributo dell'area a monte dell'invaso e dell'interbacino definendo un possibile scenario caratterizzato da colmi di piena pari a 1100 e 1600 m³/s, rispettivamente a Ponte Felcino e a Ponte Nuovo. Tali valori di portata corrispondono a tempi di ritorno che, secondo le indicazioni riportate in Tabella 6, possono essere stimati compresi tra 50 e 100 anni per entrambe le sezioni.

Invaso di Casanuova

Durante l'evento di piena oggetto di analisi, l'organo di regolazione dello scarico di fondo, mantenuto costantemente aperto a 2 metri (massima apertura della paratoia = 4.2 metri), ha consentito il massimo deflusso compatibile con il valore del livello del lago e che non ha superato i 125 m³/s. Durante l'evento, la quota dell'invaso ha raggiunto il massimo valore attualmente consentito e pari a ~287 m s.l.m..

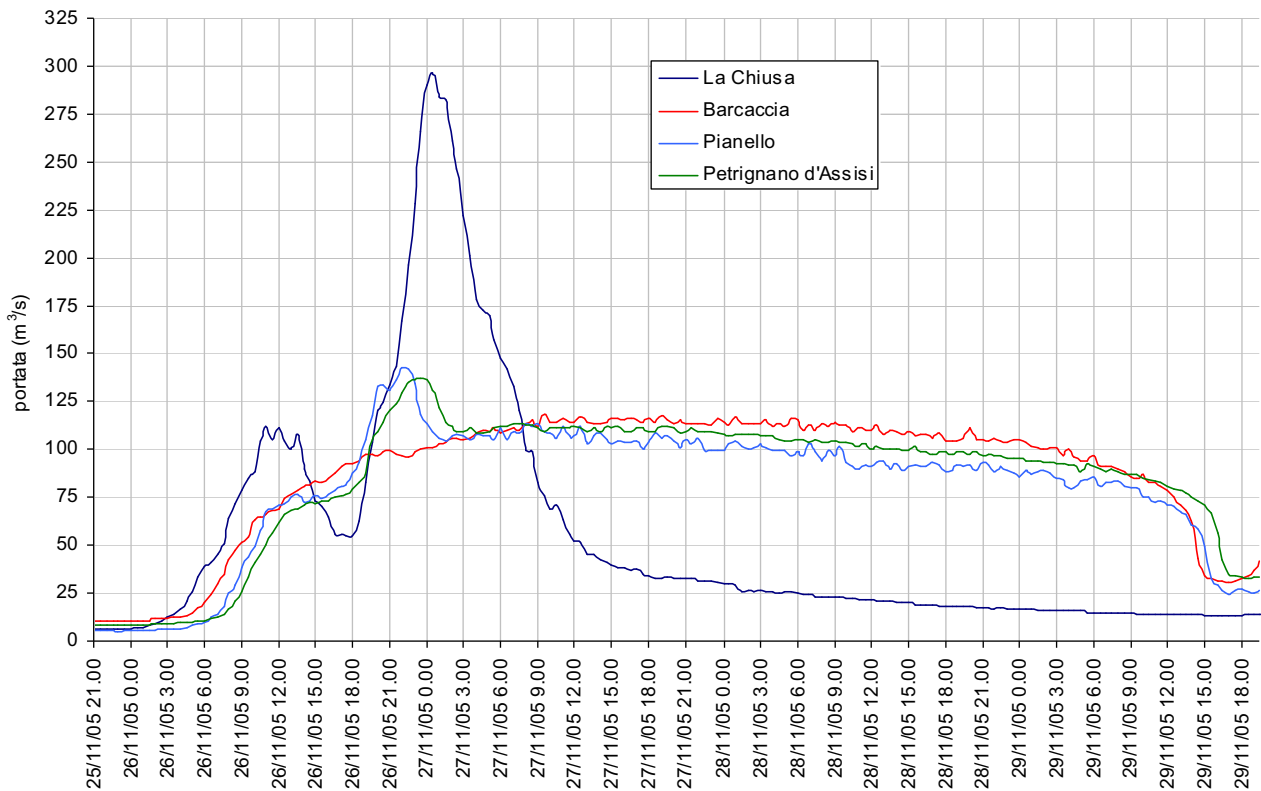


Figura 45. Evento di piena 25-28 Novembre 2005: idrogrammi di portata registrati nelle stazioni idrometriche di La Chiusa, Barcaccia, Pianello e Petignano d'Assisi lungo il corso del Fiume Chiascio.

La presenza dello sbarramento artificiale di Casanuova ha influenzato in modo sostanziale l'evoluzione dell'onda di piena lungo il tratto fluviale a valle della diga stessa. In particolare, la diga ha esercitato un importante effetto di laminazione sul colmo dell'onda di piena in ingresso come risulta evidente dall'analisi della Figura 45 dove viene mostrato l'andamento dei deflussi registrato nelle sezioni strumentate di La Chiusa, Barcaccia, Pianello e Petignano d'Assisi. La prima sezione strumentata, localizzata circa 15 km a monte dello sbarramento, sottende un'area drenante di 403.7

km² ed ha consentito di stimare l'ordine di grandezza del colmo di piena in ingresso all'invaso risultato pari a circa 300 m³/s. Va sottolineato che tale valore ha carattere meramente indicativo in quanto la relazione funzionale livello-portata per la sezione di La Chiusa è affetta da incertezza a seguito di una parziale asportazione, da parte della corrente, della sommità della soglia a monte della quale è installato il misuratore di livello. Questo è evidente anche da un confronto qualitativo dei volumi defluiti nelle sezioni considerate lungo il Fiume Chiascio a monte e a valle dello sbarramento di Casanuova (si veda Figura 45) che mostrano una sottostima per la parte di monte. Ciò nonostante è esplicito il beneficio esercitato dalla diga in termini di laminazione della piena. Il colmo di portata osservato durante l'evento nelle sezioni di Barcaccia, Pianello e Petrignano poste a valle della diga ad una distanza rispettivamente di 1, 7.8 e 16.4 km, è risultato notevolmente inferiore rispetto a quello stimato in ingresso di 300 m³/s, ed in particolare a Barcaccia di 120 m³/s e a Pianello e Petrignano di circa 140 m³/s. Tutto ciò dimostra come lo sbarramento di Casanuova è stato determinante nella riduzione degli effetti della piena per i territori vallivi facendo transitare nella sezione di Petrignano d'Assisi una portata massima caratterizzata da un tempo di ritorno inferiore a 10 anni (si veda Tabella 6).

10. CONCLUSIONI

Le analisi effettuate consentono di affermare che:

- ✓ L'eccezionalità dell'evento è legata all'elevato valore di pioggia cumulata (~100 mm) e soprattutto alla sua distribuzione uniforme su tutto il bacino. Nonostante la mancanza di osservazioni dirette, lo scioglimento nivale sembrerebbe non avere avuto significativi effetti tranne che per i bacini più a Nord dell'area di studio. Le condizioni antecedenti del terreno sono risultate tra basse e intermedie, come testimoniato dall'analisi degli eventi di piena più significativi osservati per il bacino del Fiume Tevere a Ponte Nuovo negli ultimi 15 anni.
- ✓ I tempi di ritorno per le precipitazioni puntuali raggiungono al massimo 25 anni per la durata di 24 ore per l'area dell'Alto Tevere. Tuttavia, per quanto riguarda le piogge medie areali, tali valori aumentano notevolmente raggiungendo 40 anni per il bacino sotteso dalla diga di Corbara.
- ✓ Per le portate al colmo di piena osservate sull'asta del Tevere i tempi di ritorno sono risultati compresi tra 10 e 25 anni. Tali valori sono abbastanza contenuti grazie all'effetto di laminazione dovuto all'esondazione e soprattutto agli invasi. Molto significativi sono risultati i volumi di deflusso diretto, pari almeno al doppio di quelli registrati durante gli eventi di piena osservati nell'arco degli ultimi 10 anni.
- ✓ È molto probabile che il livello osservato a monte del sito idrometrico di Ponte Nuovo e relativo ad una portata di circa 1200 m³/s sia dovuto ad una parziale ostruzione delle luci del ponte dovuta al materiale flottante trasportato dalla corrente e al materiale già presente. Sulla base delle simulazioni idrauliche eseguite, è possibile affermare che tale

ostruzione non dovrebbe avere comunque ecceduto il 18% dell'area disponibile per il deflusso.

- ✓ Senza la presenza degli invasi i valori delle portate al colmo sarebbero stati sicuramente più elevati con un incremento del 100% a Santa Lucia (invaso di Montedoglio) e del 120% a Petignano d'Assisi (invaso di Casanuova) con tempi di ritorno pari rispettivamente a 200 e 100 anni.

Ringraziamenti. Gli autori ringraziano C. Pandolfo, A. Burnelli, M. Stelluti, L. Giustarini, B. Bani, e R. Rosi per il supporto tecnico. Si ringrazia inoltre l'Ufficio Difesa del Suolo della Regione Umbria e l'Ente Irriguo Umbro Toscano per avere fornito parte dei dati.

BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 1998. *Piano Direttore di Bacino del Fiume Tevere*.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2002. *Relazione Generale del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico*.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT), 2005. *Tevere, pilot river basin article 5 report*. Gangemi Editore, Roma, 17-39.

Barbetta S., Melone F., Moramarco T., 2002. *Sull'accuratezza dei metodi di stima delle scale di deflusso*. XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza, Vol. I, 149-157.

Barbetta S., Melone F., Moramarco T., 2004. *Un metodo pratico per la stima delle portate in siti idrometrici con scala di deflusso non nota*. XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, Vol. I, 949-955.

Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. 2005. *Empirical and conceptual approaches for soil moisture estimation in view of event-based rainfall-runoff modeling*. IHP-VI, Technical Documents in Hydrology, no 77 (UNESCO), 1-8.

Brocca L., Melone F., Moramarco T., 2007. *On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modelling*. Hydrol. Processes, 2007, in stampa.

Burnelli A., Moramarco T., Saltalippi C., *Valutazione dei profili di velocità in canali naturali per eventi di piena eccezionali*, Atti del XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, IDRA2006, Roma.

Calenda, G., Campolo, F., Cosentino, C., Guercio, R., 1994. *Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara. Progetto VAPI, Rapporto Nazionale*. U.O. 1.34 Università "La Sapienza", Facoltà di Ingegneria; III Università, Facoltà di Ingegneria, Roma.

Chiu C. L., Chiou J.-D., 1986. *Structure of 3-D flow in rectangular open channels*. J. Hydr. Engrg., ASCE, 112(11), 1050-1068.

Chiu C. L., 1987. *Entropy and probability concepts in hydraulics*. J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(5), 583-600.

DHI, 2003. *User's Manual and Technical References for MIKE 11 (version 2003b)*, Danish Hydrologic Institute, Denmark.

Melone F., Corradini C., Singh V.P., 2002. *Lag prediction in ungauged basins: an investigation through actual data of the Upper Tiber River valley*. Hydrological Processes, 16: 1085-1094.

Molinaro, P., Di Filippo A., F. Ferrari, 1992. *Un modello matematico per la simulazione delle inondazioni di vaste aree a topografia complessa. Aspetti teorici, informatici ed applicativi*. ENEL/CRIS, Relazione interna n.4514.

Moramarco T., Singh V.P., 1999. *Linear routing in channel networks*. Hydrologic Modeling, V.P. Singh, I.W. Seo, and J.H. Sonu, eds., Water Resources Publications, Littleton, Colo., 153-160.

Moramarco T., Singh V.P., 2001. *A simple method for relating local stage and remote discharge*. J. Hydrol. Engrg., ASCE, 6(1), 78-81.

Moramarco T., Saltalippi C., Singh V.P., 2004. *Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation*. J. Hydrol. Engrg., ASCE, 9(1), 42-50.

Moramarco T., Barbetta S., Melone F., Singh V.P., 2005. *Relating local stage and remote discharge with significant lateral inflow*. J. Hydrol. Engrg., ASCE, 10(1), 58-69.

Quaderni Regione dell'Umbria n°7, 1996. *Determinazione delle precipitazioni di massima intensità e di breve durata per la Regione Umbria*.

U.S. Army Corps of Engineers, 1956. *Snow hydrology, summary report of the snow investigations*. Technical report, U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon.



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE

irpi

ISTITUTO RICERCA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

APPENDICE 1

**CONFRONTO CON LA PIENA STORICA DEL TEVERE
DEL 14-16 DICEMBRE 1937**

S. Barbetta, L. Brocca, F. Melone, T. Moramarco

Luglio 2007

Indice

1. Introduzione	2
2. Analisi pluviometrica degli eventi di piena del Novembre 2005 e del Dicembre 1937 ..	2
2.1 Evento Dicembre 1937.....	3
2.2 Evento Novembre 2005.....	5
2.3 Confronto pioggia puntuale.....	6
2.4 Confronto pioggia areale.....	10
3. Analisi idrometrica degli eventi di piena del Novembre 2005 e del Dicembre 1937	12
4. Conclusioni	18
Bibliografia.....	19

1. INTRODUZIONE

L'approfondita analisi condotta sull'evento pluvio-idrometrico che ha interessato il territorio dell'Italia centrale nelle giornate del 25-28 Novembre 2005 ha mostrato che si è trattato di un evento critico, caratterizzato da un totale di pioggia distribuito alquanto uniformemente su tutto il bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere.

Considerando la rilevanza della suddetta piena, particolarmente per l'estensione dell'area colpita dall'evento meteorico e dei conseguenti effetti prodotti al suolo, risulta di particolare interesse approfondire l'analisi confrontandone le peculiarità con quelle di altri eventi alluvionali di eccezionale entità avvenuti nel passato e per i quali sono disponibili sufficienti informazioni idro-pluviometriche. A tal fine, l'esame degli eventi di piena verificatisi nel corso del XX secolo ha individuato nell'evento registrato nelle giornate del 14-16 Dicembre 1937 quello più idoneo per un'analisi comparativa finalizzata alla valutazione dei caratteri idro-meteorologici della piena del 2005. L'analisi verrà eseguita confrontando sia le caratteristiche pluviometriche che idrometriche dei due eventi.

L'esame della distribuzione delle piogge mensili per l'anno 1937 ha evidenziato che il secondo semestre è stato caratterizzato da precipitazioni notevolmente superiori alla media su tutto il territorio italiano (Marchetti, 1938). Nel corso dell'anno il Fiume Tevere ha registrato una portata media annua eccezionalmente elevata (161% della media) e portate mensili quasi tutte superiori al precedente periodo di osservazione. Considerando la stazione di Ponte Nuovo, il massimo valore della portata media giornaliera si è avuto proprio nel mese di Dicembre pari a $1011 \text{ m}^3/\text{s}$ contro $844 \text{ m}^3/\text{s}$ stimato nel periodo di osservazione precedente (1925-1936). Va messo in evidenza che durante il 1937 si sono verificati altri eventi significativi tra i quali va sicuramente ricordato il nubifragio che nei giorni 7, 8 e 9 Ottobre colpì pesantemente il versante orientale dell'Amiata e parte del bacino del Tevere dando origine ad una piena del Fiume Paglia e dell'Alto Tevere e provocando danni di eccezionale gravità nella Val di Chiana toscana. Tuttavia, l'avvenimento più importante dell'anno in esame è sicuramente la piena del Tevere occorsa tra il 14 e il 17 Dicembre che interessò l'intero bacino (Frosini, 1941).

Pertanto, lo scopo principale di questa appendice è quello di approfondire l'analisi dell'alluvione del Novembre 2005 mediante il confronto dei dati idro-meteorologici acquisiti in corso d'evento con quelli disponibili per la piena del Tevere del Dicembre 1937 al fine di evidenziare la criticità dei suddetti eventi idro-pluviometrici anche alla luce dell'effetto esercitato dalla presenza degli invasi artificiali sull'evoluzione della piena occorsa nel Novembre 2005.

2. ANALISI PLUVIOMETRICA DEGLI EVENTI DI PIENA DEL NOVEMBRE 2005 E DEL DICEMBRE 1937

L'analisi pluviometrica, eseguita per gli eventi occorsi nel Dicembre 1937 e nel Novembre 2005, ha consentito di stimare la distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate sul bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere, mostrata in Figura 1, e di confrontare i valori di pioggia giornaliera e le precipitazioni cumulate sull'evento per alcune stazioni pluviometriche significative (si veda Tabella 1).

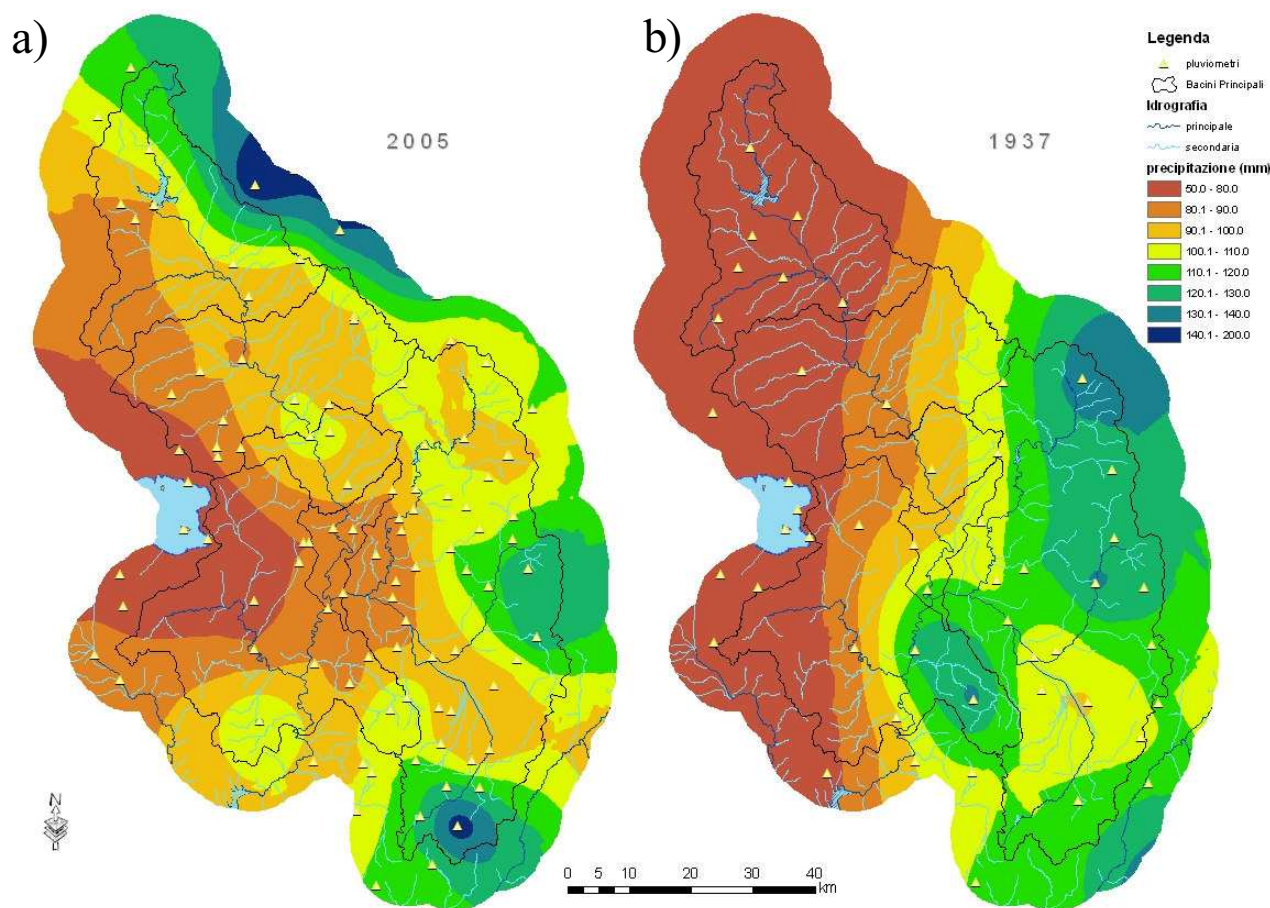


Figura 1. Distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate (in mm) per l'intero evento di piena del: a) Novembre 2005; b) Dicembre 1937.

2.1 Evento Dicembre 1937

Come già accennato in precedenza, il 1937 fu un anno molto piovoso su tutto il territorio nazionale. Anche nel bacino del Fiume Tevere la piovosità fu superiore alla media, particolarmente durante il periodo autunnale ed invernale. Di grande interesse risultano gli eventi meteorici verificatisi nei mesi di Ottobre e Dicembre. Durante i primi cinque giorni di Ottobre caddero pochi mm di pioggia, seguiti il giorno 6 da deboli precipitazioni comprese tra 5 e 10 mm alle quali seguì il giorno 7 un vero e proprio nubifragio che colpì in particolare il bacino del Fiume Paglia dove alla stazione di Cetona si registrò una pioggia cumulata di 310 mm in 13 ore. Le stazioni di Perugia e Gubbio registrarono tra le ore 18:00 del 6 Ottobre e le ore 10:00 del 7 Ottobre (16 ore) una precipitazione cumulata pari rispettivamente a 129.6 e 54.2 mm. Dopo quest'evento gravoso, si verificarono nello stesso mese altre precipitazioni di minore intensità. Anche il successivo mese di Novembre fu molto piovoso e il 2 Dicembre iniziò un nuovo periodo di precipitazioni che si protrasse praticamente senza interruzione fino al giorno 19 con intensità variabile. Le piogge più elevate vennero registrate nei giorni 3 e 7 e nel periodo 14-16 Dicembre quando si manifestarono precipitazioni molto elevate soprattutto sul versante sinistro, in particolare sul Chiascio, sul Nera e sull'Aniene, che, date le condizioni pressoché sature del terreno, dettero origine alla piena storica del Fiume Tevere a cui si fa riferimento nel presente studio per la comparazione analitica con l'evento del 2005. La precipitazione cumulata media su tutto il bacino del Tevere fu nei tre giorni

dell'evento pari a 97.5 mm, con valori più elevati sul bacino del Fiume Chiascio e del Fiume Nera e pari rispettivamente a 113.2 e 115.6 mm (Marchetti, 1938). In particolare, la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata per il bacino dell'Alto-Medio Tevere delimitato dal lago artificiale di Corbara è mostrata in Figura 1b. Come si può notare, la pioggia ha interessato principalmente il versante sinistro del bacino, lungo la fascia appenninica del bacino del Chiascio-Topino, dove vennero osservati valori di pioggia cumulata superiori a 140 mm (si veda Tabella 1).

Tabella 1. Precipitazioni cumulate giornaliere registrate da alcune stazioni pluviometriche durante gli eventi di piena occorsi nel Dicembre 1937 e nel Novembre 2005. Vengono riportati anche i valori di precipitazione cumulata totale.

Bacino	Stazione pluviometrica	Pioggia cumulata* (mm)							
		Dicembre 1937				Novembre 2005			
		14	15	16	totale	26	27	28	totale
ALTO TEVERE	Pieve S.Stefano (P)	12.3	15.0	35.0	62.3	57.6	35.8	4.0	97.4
	Città di Castello (P)	24.0	18.4	28.2	70.6	30.6	57.3	4.6	92.5
	Petrelle (P)	41.1	18.0	28.6	87.7	27.9	66.0	6.0	99.9
	Umbertide	28.0	20.0	43.0	91.0	28.6	78.6	4.6	111.8
	Solfagnano (P)/ Ramazzano	21.0	26.0	38.5	85.5	23.6	71.4	2.6	97.6
	Ponte Nuovo (P)	38.9	46.6	36.9	122.4	16.8	62.6	4.2	83.6
	Perugia	26.4	24.6	35.4	86.4	15.2	53.7	3.2	72.1
	Todi (P)	11.2	45.2	36.6	93.0	37.4	49.6	7.3	94.3
CHIASCIO	Gubbio	29.0	26.0	52.0	107.0	37.2	70.2	5.6	113.0
	Costacciaro (P)/ M.Cucco	32.1	47.5	47.7	127.3	53.3	42.2	0.9	96.4
	Gualdo Tadino	14.0	21.0	76.3	111.3	29.0	42.0	3.6	74.6
	Pianello (P)	24.8	30.1	40.0	94.9	23.4	57.8	4.4	85.6
	Bastia (P)	13.3	35.2	34.0	82.5	23.5	53.2	6.6	83.3
	Assisi (P)	37.5	50.0	55.0	142.5	18.4	50.3	8.1	76.8
TOPINO	Foligno	9.0	11.0	73.0	93.0	39.2	48.3	7.6	95.1
	Spoletto (P)	44.0	6.0	73.0	123.0	65.2	55.8	5.6	126.6
	Bevagna (P)	9.1	5.0	69.5	83.6	35.6	42.6	7.6	85.8
	Cannara (P)	-	50.7	65.2	115.9	36.1	46.1	3.2	85.4
	Montefalco (P)/Turrina	18.0	1.2	71.0	90.2	39.2	43.0	7.2	89.4
	Nocera Umbra (P)	22.0	26.0	60.0	108.0	55.7	48.5	5.8	110.0
	Valtopina (P)/Pasano	21.5	33.1	110.4	165.0	53.4	46.4	9.4	109.2
	Annifo (P)/Sorifa	41.0	23.0	78.0	142.0	74.4	59.0	12.8	146.2

*: i valori di pioggia cumulata giornaliere sono calcolati dalle ore 09:00 del giorno precedente alle ore 09:00 del giorno di riferimento
(P): pluviometro comune con osservatore per l'evento di Dicembre 1937

Va evidenziato che i dati pluviometrici relativi all'evento del Dicembre 1937 fanno riferimento a letture dirette (pluviometro comune con osservatore) per la maggior parte dei siti di monitoraggio,

mentre solo poche stazioni erano dotate di strumentazione per la registrazione dei dati (pluviometro registratore). Pertanto, si deve considerare che le informazioni relative alle stazioni a lettura diretta potrebbero essere affette da un certo grado di incertezza legata alle modalità di controllo dell'osservatore. Inoltre, in conformità con i dati riportati negli Annali Idrologici, le piogge giornaliere riportate in Tabella 1 si riferiscono al valore cumulato dalle ore 9:00 del giorno precedente alle ore 9:00 del giorno di riferimento.

Dalla Tabella 1 si può dedurre come la precipitazione che interessò la parte alta del bacino del Fiume Tevere, in particolare fino alla sezione idrometrica di Ponte Felcino, fu meno critica rispetto al bacino Chiascio-Topino sia in relazione allo spessore cumulato precipitato durante tutto l'evento sia per quanto concerne la distribuzione temporale della precipitazione. Infatti, per diverse stazioni dell'Alto-Medio Tevere la pioggia risultò distribuita abbastanza uniformemente durante i tre giorni dell'evento, mentre la quasi totalità delle stazioni di monitoraggio localizzate all'interno dello spartiacque del bacino del Chiascio-Topino registrarono un picco di precipitazione durante l'ultima giornata dell'evento (16 Dicembre). Tuttavia, tale differenza potrebbe essere dovuta anche ad uno sfasamento tra Nord e Sud dello scroscio di pioggia che ha prodotto differenti valori di precipitazione giornaliera.

Per quanto riguarda la precipitazione nevosa, solo la stazione pluvio-nivometrica di Balze posta a quota 1021 m s.l.m. ha registrato precipitazione nevosa per le giornate del 15 e 16 Dicembre. Nel periodo precedente l'evento precipitazioni nevose di entità trascurabile sono state registrate da stazioni poste a quote maggiori di 900 m s.l.m.. Su tali basi, è possibile escludere un contributo derivante dallo scioglimento della neve al processo di formazione dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico anche in considerazione del fatto che l'analisi dell'andamento delle temperature medie, massime e minime (Frosini, 1939) non ha evidenziato importanti variazioni in corso d'evento.

2.2 Evento Novembre 2005

L'evento di piena occorso nel Novembre 2005 in termini di precipitazione e sua distribuzione spazio-temporale è stato ampiamente analizzato nel paragrafo 5 del Rapporto "Evento idro-pluviometrico del 25-28 Novembre 2005 sul bacino dell'Alto-Medio Tevere". Per completezza di informazione si ricorda che con riferimento al bacino dell'Alto-Medio Tevere tale evento ha avuto una durata complessiva pari a 54 ore, dalle 15:30 del 25/11 alle 21:30 del 27/11. La distribuzione areale delle precipitazioni cumulate per l'intero evento e la localizzazione sul territorio delle stazioni pluviometriche utilizzate per l'analisi è mostrata in Figura 1a. Come si può vedere, la pioggia cumulata risulta distribuita in modo abbastanza uniforme sul bacino con un valore dello spessore totale pari a circa 100 mm. I valori più bassi sono stati registrati nell'area del Lago Trasimeno (~60 mm), mentre i valori massimi sono stati osservati nella zona tra Spoleto e Terni, tra Nocera Umbra e Cerreto di Spoleto e nella zona del Monte Subasio. Inoltre, l'analisi dei valori delle piogge medie areali, così come descritta nel Rapporto di evento, ha evidenziato che anche se per la maggior parte dei bacini è riscontrabile una distribuzione abbastanza uniforme della precipitazione, l'evento meteorico è stato meno significativo (75-80 mm) per il versante destro del

Fiume Tevere (T. Niccone e T. Nestore) nel tratto a valle di Umbertide e più critico (~120 mm) per il bacino del Topino-Marroggia.

Infine, deve essere sottolineato che significative precipitazioni nevose avevano interessato nei giorni precedenti l'evento alluvionale la zona dei rilievi appenninici del bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere producendo l'accumulo di una coltre nevosa. Pertanto, nell'evoluzione della piena oltre al contributo delle piogge deve essere considerato anche il contributo dello scioglimento della neve per il quale, tuttavia, si rimanda oltre che alle considerazioni di carattere generale riportate nel Rapporto di evento anche all'analisi sviluppata nell'Appendice 2.

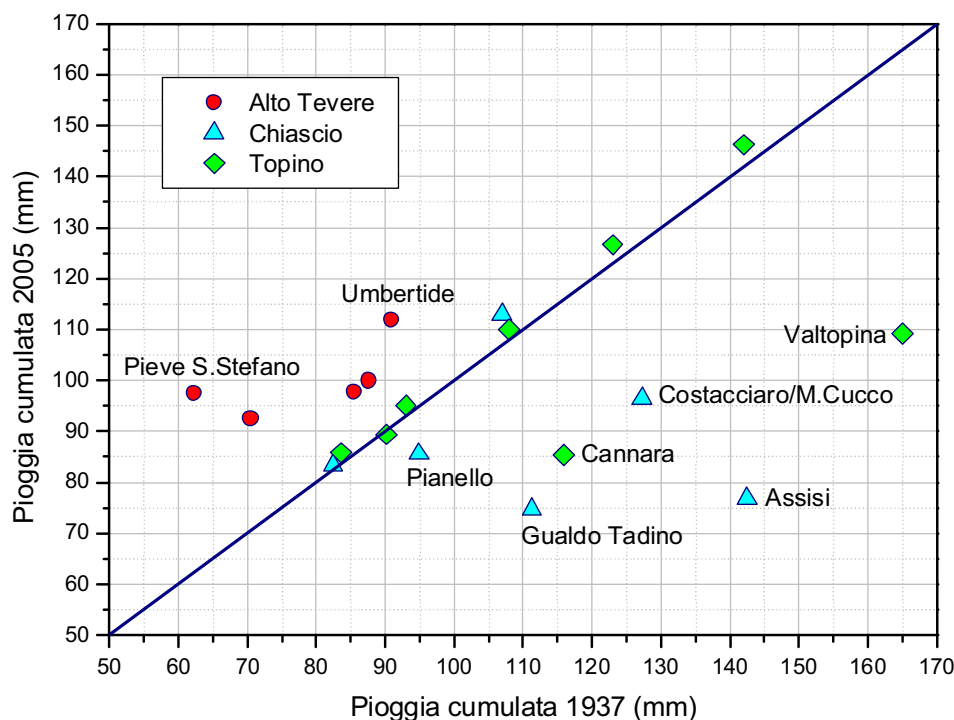


Figura 2. Confronto tra le precipitazioni cumulate registrate durante gli eventi di piena occorsi nel Dicembre 1937 (giorni 14, 15 e 16) e nel Novembre 2005 (giorni 26, 27 e 28).

2.3 Confronto pioggia puntuale

I dati riportati in Tabella 1 ed il confronto delle piogge puntuali mostrati in Figura 2 indicano chiaramente come la pioggia cumulata del 1937 rispetto a quella del 2005 è significativamente più elevata nel bacino del Fiume Topino (Valtopina e Cannara) e del Fiume Chiascio prima della confluenza con il Topino (Assisi, Gualdo Tadino, Pianello e Costacciaro) e meno intensa nell'area dell'Alto Tevere (Pieve S. Stefano, Umbertide, Città di Castello, Solfagnano/Ramazzano, Petrelle).

Importanti considerazioni sulle caratteristiche pluviometriche degli eventi critici del Novembre 2005 e del Dicembre 1937 derivano anche dall'analisi della distribuzione temporale della precipitazione. L'esame della Figura 3 evidenzia che l'evento del 1937 è stato caratterizzato da una fase iniziale di pioggia con intensità bassa o nulla, protrattasi per la giornata del 13 Dicembre seguita da una fase molto intensa durata circa 14 ore occorsa a cavallo tra il 14 e il 15

Dicembre. In particolare, dall'andamento temporale delle pioggia cumulata oraria per alcune stazioni pluviometriche a registrazione funzionanti nel 1937 si evince che probabilmente l'ultima fase di pioggia con intensità massima è risultata meno critica nella parte più settentrionale dell'Alto bacino del Tevere rappresentata dalla stazione di Sansepolcro. Considerando la localizzazione delle altre 3 stazioni per le quali è disponibile l'informazione pluviometrica oraria (Gubbio, Perugia, Todi) è possibile ipotizzare sulla maggior parte dell'area del bacino una pioggia con intensità massima occorsa durante l'ultima fase dell'evento e che ha generato considerevoli effetti al suolo.

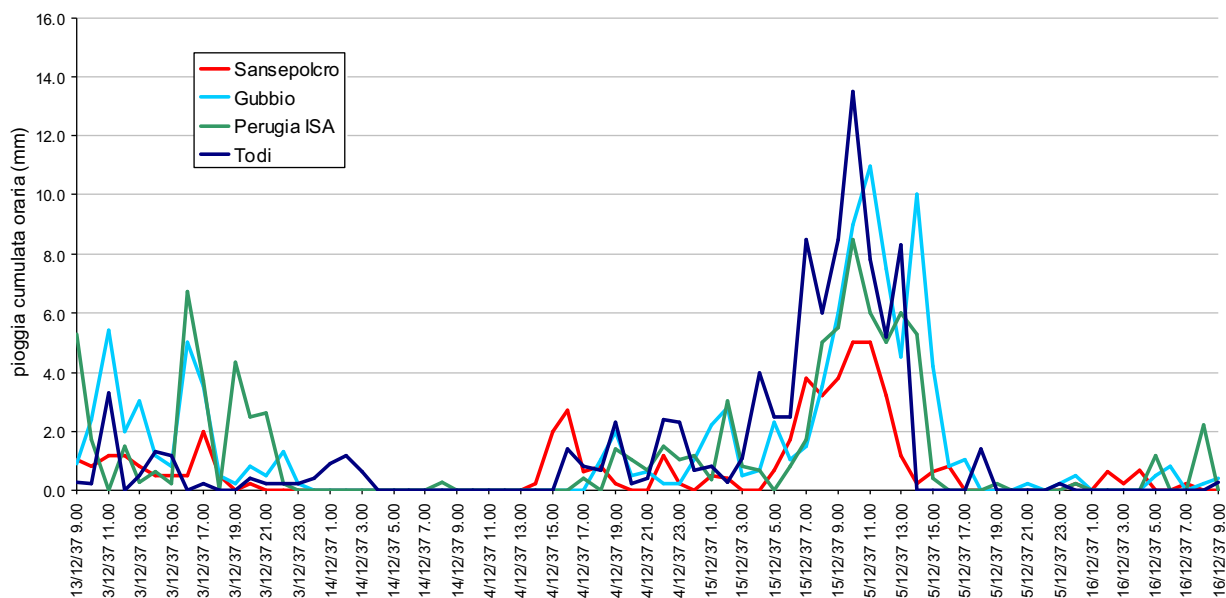


Figura 3. Precipitazioni cumulate orarie registrate da alcune stazioni pluviometriche del bacino del Fiume Tevere durante l'evento di piena occorso nel Dicembre 1937.

Per quanto concerne la caratterizzazione della distribuzione temporale della precipitazione del recente evento del 2005, è già stato ampiamente sottolineato nel Rapporto di evento l'esistenza di due successive fasi di precipitazione. In particolare, la prima fase ha interessato principalmente la parte sud-orientale del bacino ed è terminata intorno alle 12.00 del 26/11; la seconda fase, con un'evoluzione della perturbazione da Nord-Ovest in direzione Sud-Est, è risultata la più critica. Per molte stazioni pluviometriche le due fasi di pioggia risultano chiaramente distinte con la seconda caratterizzata da una maggiore intensità (si vedano Figura 4 e Figura 5). Per alcuni siti di misura i due scrosci hanno entità paragonabile (stazioni pluviometriche di Pieve S.Stefano e Perugia), mentre in alcuni casi la pioggia registrata risulta continua evidenziando un singolo evento meteorico (stazioni pluviometriche di Montedoglio e Cerbara).

In Figura 4 e Figura 5 è mostrato anche il confronto tra gli ietogrammi di pioggia registrati durante i due eventi critici in esame per i pluviometri del 1937 per i quali erano disponibili i dati orari, dal quale è evidente la differente distribuzione temporale della pioggia nell'arco delle tre giornate comprendenti gli eventi. In particolare, l'andamento della precipitazione cumulata per la stazione di Gubbio (si veda Figura 4) e per la stazione di San Sepolcro (si veda Figura 5), conferma la maggiore criticità dell'evento meteorico del 2005 sulla parte più settentrionale del bacino dell'Alto Tevere. In particolare, i dati registrati nel 1937 dalla stazione di San Sepolcro sono stati

confrontati con quelli registrati nel 2005 dalle stazioni limitrofe di Cerbara e Montedoglio, nonché con i dati di Pieve S. Stefano.

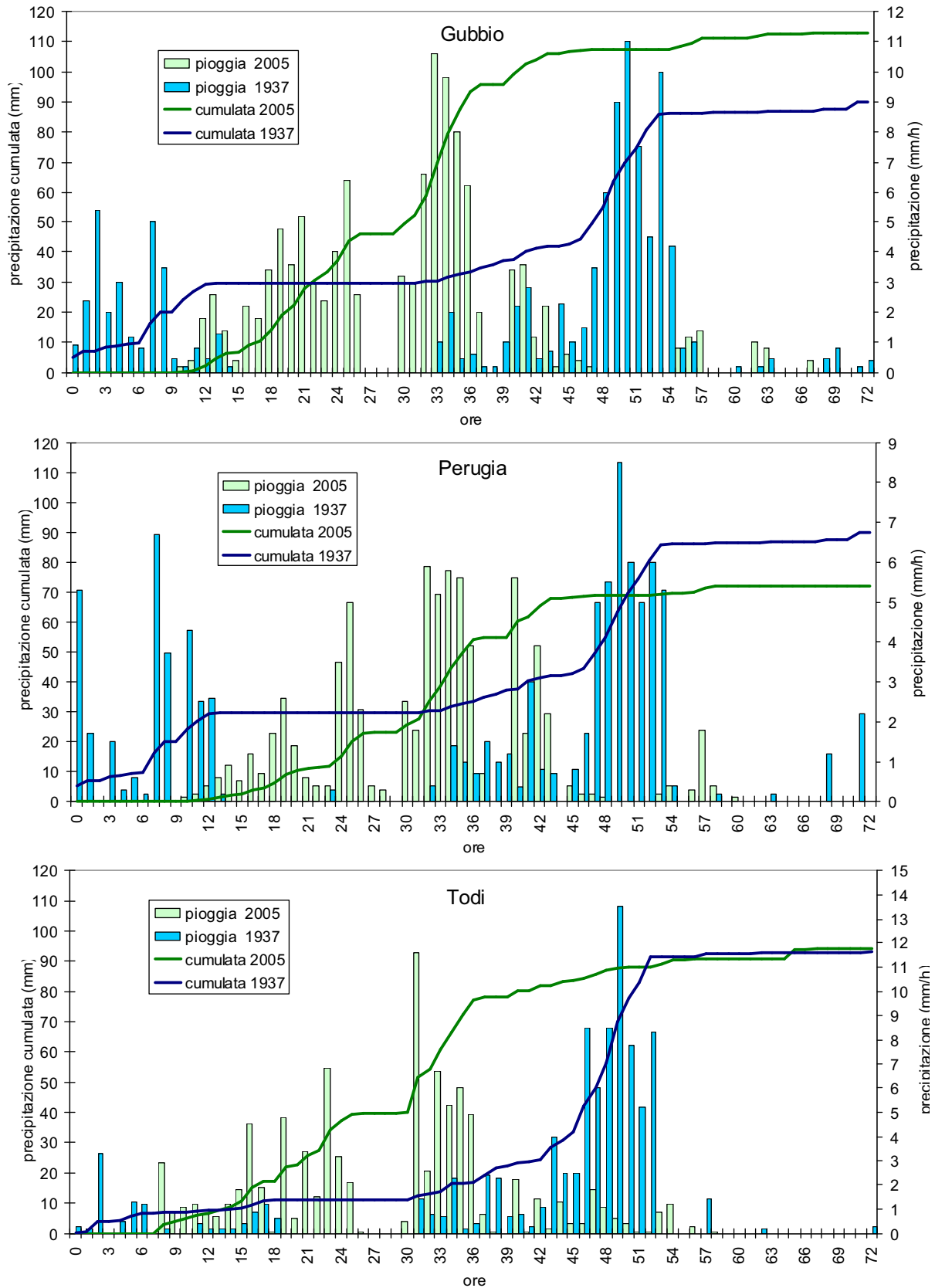


Figura 4. Confronto degli ietogrammi durante gli eventi di piena occorsi nel Novembre 2005 e nel Dicembre 1937 per le stazioni di Gubbio, Perugia e Todi. Viene mostrato anche l'andamento della pioggia cumulata.

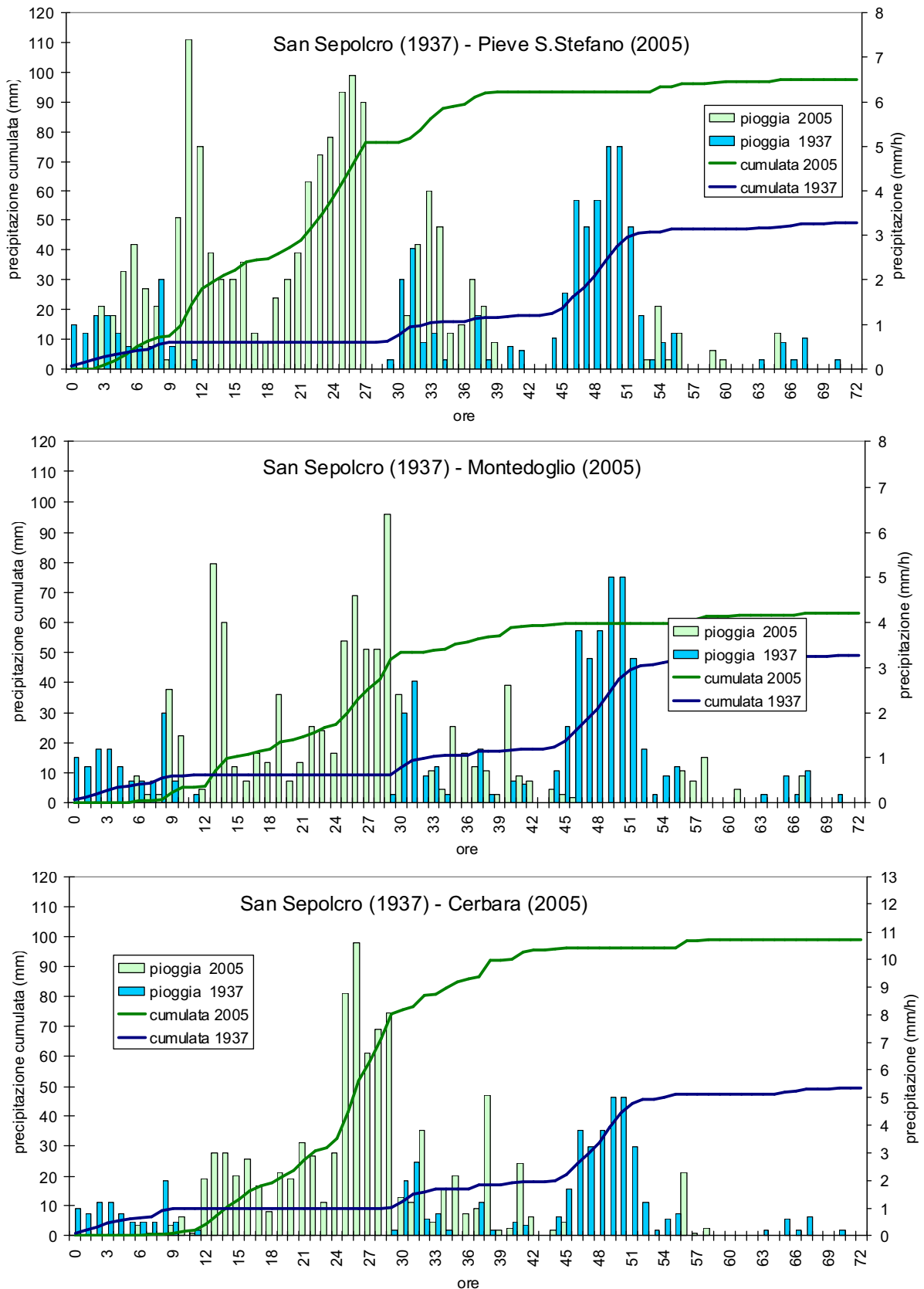


Figura 5. Come per Figura 4 ma per la stazione pluviometrica di San Sepolcro le cui registrazioni del 1937 vengono confrontate con le stazioni più prossime operanti nel Novembre 2005.

In particolare, la stazione di Pieve S.Stefano è stata considerata per una visione più globale della distribuzione delle piogge sull'area di San Sepolcro. Il confronto tra i suddetti siti è abbastanza

congruente visto che le quote a cui sono allocati gli strumenti in esame risultano confrontabili (San Sepolcro 300 m s.l.m.; Pieve S.Stefano 431 m s.l.m; Montedoglio 400 m s.l.m; Cerbara 306 m s.l.m).

2.4 Confronto pioggia areale

Le precedenti osservazioni relative alle caratteristiche pluviometriche puntuali per gli eventi di piena oggetto del presente confronto risultano ulteriormente confermate dall'analisi delle precipitazioni medie areali stimate per i bacini sottesi da diverse sezioni idrometriche. A tal fine, in Tabella 2 vengono mostrati i valori di pioggia media areale calcolati per cinque stazioni idrometriche sul Fiume Tevere, per quattro siti lungo il Fiume Chiascio, per una stazione lungo il Fiume Topino e per un sito sul Fiume Timia. I valori ottenuti confermano che durante l'evento del 1937 la precipitazione interessò principalmente il bacino del Chiascio-Topino, mentre risultò alquanto ridotta sull'Alto Tevere a differenza di quanto occorso durante l'evento del 2005 quando la pioggia sollecitò in modo significativo praticamente tutto il bacino (si veda Figura 6).

Tabella 2. Precipitazioni medie areali per alcuni sottobacini strumentati dell'Alto-Medio Tevere relative agli eventi di piena occorsi nel Dicembre 1937 e nel Novembre 2005.

Stazione idrometrica	Corso d'acqua	Area Bacino (km ²)	Pioggia media areale (mm)	
			Dicembre 1937	Novembre 2005
Santa Lucia	Tevere	933.3	66.0	100.5
Pierantonio	Tevere	1805.2	73.9	96.6
Ponte Felcino	Tevere	2039.8	76.2	96.6
Ponte Nuovo	Tevere	4145.3	95.7	99.7
Monte Molino	Tevere	5279.3	95.1	96.9
Petrignano	Chiascio	547.0	120.7	99.5
Cantalupo	Timia	549.3	108.0	108.1
Ponte di Bettona	Topino	1221.7	113.3	107.7
Ponte Rosciano	Chiascio	1922.3	115.5	103.9

Solo per il bacino sotteso dalla stazione idrometrica di Cantalupo sul Fiume Timia, affluente in sinistra del Fiume Topino, è stata stimata la stessa pioggia media areale nel 1937 e nel 2005 (si veda Tabella 2). Tuttavia, deve essere evidenziato che nel 1937 la rete di monitoraggio pluviometrico presente sul territorio a monte della suddetta sezione era costituita solamente da 4 stazioni di misura (si veda Figura 1) con una totale mancanza di osservazioni pluviometriche nella regione montuosa di Sud-Ovest, dove generalmente si osserva un aumento della precipitazione dovuto all'orografia. Pertanto, la mancanza di misure in tale area potrebbe determinare una sottostima del valore di pioggia media areale osservato a Cantalupo.

Le osservazioni dedotte analizzando le caratteristiche pluviometriche degli eventi di piena occorsi nel Novembre 2005 e nel Dicembre 1937 acquistano maggior significato se considerate insieme ad altre informazioni relative alle condizioni del bacino antecedenti l'evento meteorico critico. In tale contesto, particolare rilevanza assume la valutazione dello stato di imbibimento

iniziale del terreno che, come è ben noto, può influenzare in modo determinante la risposta idrologica di un bacino idrografico ad un evento meteorico sollecitante.

- Per quanto concerne l'evento del 14-16 Dicembre 1937 tale stato può essere dedotto solo dalle informazioni pluviometriche dalle quali si può affermare che l'evento è stato caratterizzato da condizioni iniziali del terreno sature o comunque prossime alla saturazione prodotte dalle consistenti precipitazioni verificatesi nei mesi di Ottobre, Novembre e nella prima metà di Dicembre. In particolare, per quanto concerne il bacino del Chiascio-Topino nei primi 13 giorni del mese di Dicembre, subito prima dell'evento critico, le stazioni di Valtopina, Foligno, Spoleto, Bevagna e Cannara hanno registrato piogge cumulate molto elevate e pari rispettivamente a 185, 132, 163, 157 e 102 mm.

- Per la piena del Novembre 2005, i valori di API₅ (Antecedent Precipitation Index basato sulla pioggia cumulata dei 5 giorni precedenti l'evento) hanno indicato piogge antecedenti trascurabili per il bacino del Topino e non trascurabili per i bacini dell'Alto Tevere (per il Cerfone a Lupo e Pistrino e per il Tevere a Santa Lucia). Inoltre, dalle analisi condotte sul coefficiente di deflusso (si veda paragrafo 6 del Rapporto di evento), legato alla pioggia, alle caratteristiche geolitologiche e di uso del suolo, ma anche alle condizioni iniziali di imbibimento del terreno, è stato possibile ipotizzare condizioni iniziali di imbibimento del terreno da secche a intermedie.

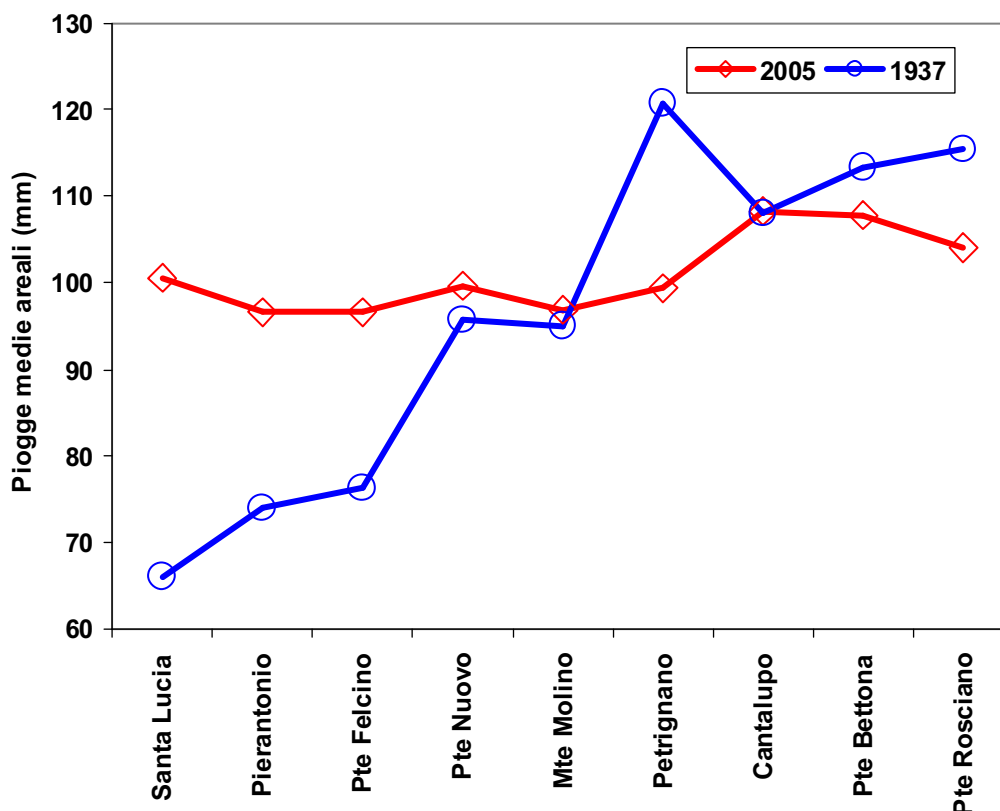


Figura 6. Confronto tra le piogge medie areali calcolate per i bacini sottesi da alcune stazioni idrometriche dell'Alto-Medio Tevere per gli eventi di piena di Dicembre 1937 e Novembre 2005.

Sulla base delle precedenti osservazioni relative alla caratteristiche pluviometriche e alle condizioni antecedenti di imbibimento del terreno, è ragionevole ipotizzare che nel Dicembre 1937

il bacino del Chiascio-Topino abbia contribuito in modo determinante alla formazione dell'onda di piena lungo l'asta del Fiume Tevere, mentre durante la recente piena del Novembre 2005 il contributo dello stesso sia risultato non particolarmente significativo, anche se comunque non trascurabile. Per quest'ultimo evento è stato invece determinante il contributo della parte a monte del bacino anche se notevolmente ridotto dallo sbarramento di Montedoglio.

3. ANALISI IDROMETRICA DEGLI EVENTI DI PIENA DEL NOVEMBRE 2005 E DEL DICEMBRE 1937

Gli eventi meteorici verificatosi nel Dicembre 1937 e nel Novembre 2005, precedentemente descritti, hanno prodotti effetti al suolo rilevanti interessando diverse aree limitrofe al reticolo principale e secondario del bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere.

Nel Dicembre del 1937 le persistenti precipitazioni della prima metà del mese originarono una successione di piene l'ultima delle quali, prodotta dalla pioggia caduta nelle giornate del 14, 15 e 16, fu la più critica (si veda Figura 7) e produsse in tutta la valle del Tevere e in quella dei suoi affluenti estese inondazioni e danni considerevoli. In particolare, nell'Alto Tevere l'onda di piena del giorno 15 si mantenne distinta da quelle degli eventi precedenti e in tutte le stazioni di monitoraggio fu caratterizzata da una rapida fase di risalita con un incremento repentino dei livelli idrometrici fino al raggiungimento del livello di colmo che si manifestò alle ore 16:00 a Città di Castello, alle ore 20 a Ponte Felcino e alle 21:00 a Ponte Nuovo.

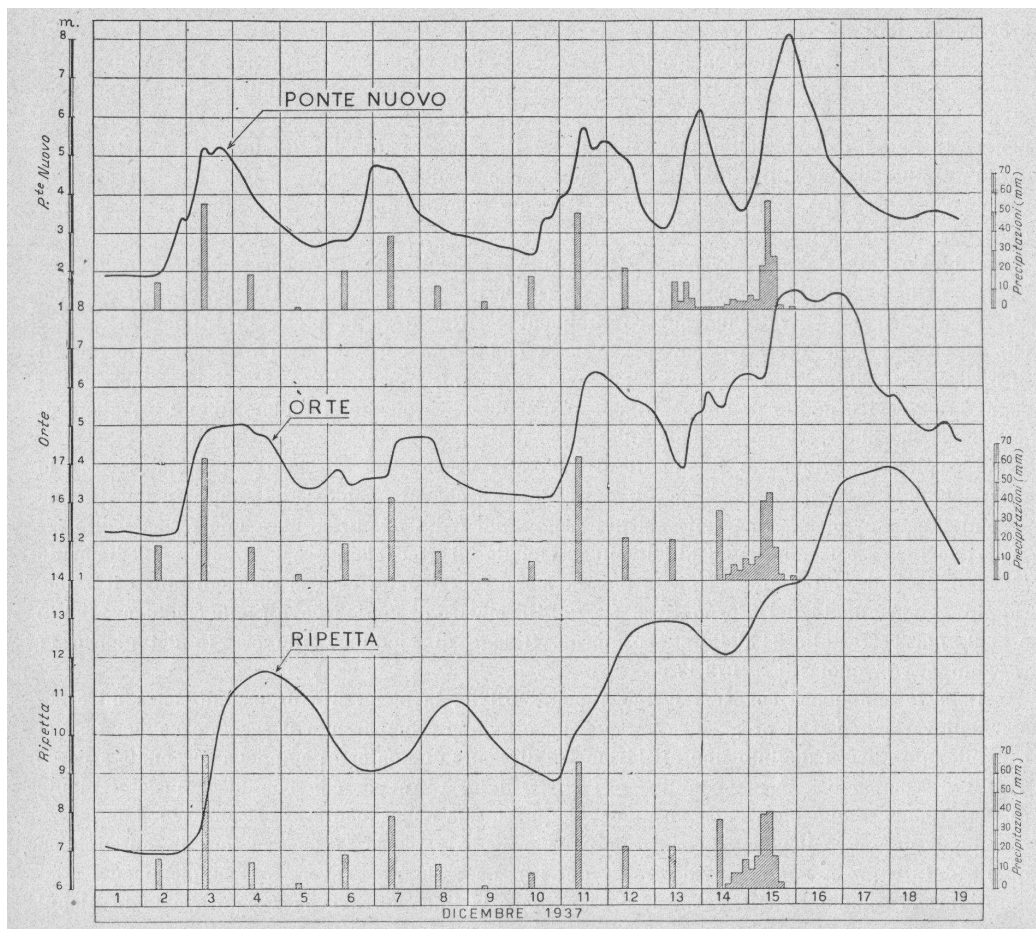


Figura 7. Andamento dei livelli idrometrici e delle piogge nel bacino del Tevere per il periodo 1-19 Dicembre 1937 (Frosini, 1941).

I massimi livelli idrometrici osservati e/o registrati in alcune stazioni significative lungo l'asta del Tevere, del Chiascio e del Topino durante l'evento del Dicembre 1937 sono mostrati in Tabella 3 dove sono riportate anche le altezze massime raggiunte espresse in metri sul livello del mare e calcolate a partire dalla quota dello zero idrometrico tipicamente calcolata mediante livellazione di precisione (Frosini, 1941). In particolare, le osservazioni idrometriche disponibili sono relative alle sezioni di Città di Castello (Santa Lucia), Ponte Felcino-Busterna (teleferica), Monte Molino e Ponte Rosciano, dove la misurazione era eseguita direttamente dagli osservatori, e ai siti idrometrici a registrazione di Ponte Felcino (lanificio), Ponte Nuovo (Martinoli) e Ponte di Bettona.

Tabella 3. Confronto tra i massimi livelli assoluti, H_{max} , osservati durante gli eventi di piena occorsi nel Novembre 2005 e nel Dicembre 1937. Vengono anche mostrati i massimi livelli idrometrici, h_{max} , dai quali si può dedurre la quota dello zero idrometrico che, per la stessa sezione idrometrica, può essere diverso nei vari periodi di osservazione. ΔH rappresenta la differenza tra i massimi livelli assoluti osservati nel 1937 e nel 2005.

Stazione idrometrica	Novembre 2005			Dicembre 1937			ΔH (m)	Massima piena (annali idrologici)		
	h_{max} (m)	Q_{max} (m ³ /s)	H_{max} (m slm)	h_{max} (m)	Q_{max} (m ³ /s)	H_{max} (m slm)		data	h_{max} (m)	H_{max} (m slm)
Santa Lucia	5.61*	400	266.71	6.65*	373	267.10	0.39	Dic. 34	7.25*	267.70
Pierantonio	6.70*	650	227.02	-	-	-	-			
Ponte Felcino (Busterna, teleferica)	7.20 ^{oo}	890	205.03	6.63 ^o	697	204.82	-0.21	Dic. 59	6.65*	204.48
Ponte Felcino (Villa Pitignano)	6.99*	900	203.69	-	-	-	-	Dic. 59	4.88*	202.71
(R) Ponte Felcino (lanificio)	-	-	-	4.93*	606	195.96	0.27	Dic. 34	4.96*	195.99
Ponte Felcino (Strada Provinciale 174)	6.92*	1040	195.69	-	-	-				
Ponte Nuovo (teleferica)	7.65*	1100	170.81	-	-	-	-			
(R) Ponte Nuovo (Martinoli)	-	-	-	8.10*	1350	171.12	0.89	Dic. 37	8.10*	171.12
Ponte Nuovo (Via Tiberina)	8.19*	1100	170.23	-	-	-				
Monte Molino	9.0*	1300	144.73	5.30*	-	150.05	5.32	Dic. 64	6.40*	149.23
(R) Ponte di Bettona	5.23*	245	180.39	7.00**	323	182.32	1.93	Dic. 37	7.00**	182.32
Ponte Rosciano (teleferica)	5.22*	570	173.98	-	-	-	-			
Ponte Rosciano	5.56*	570	172.32	8.31*	1062	175.16	2.84	Dic. 37	8.31*	175.16

°: valore ricostruito da relazione tra livelli meridiani osservati alla sezione di P.Felcino (Busterna) e P.Felcino (lanificio)

oo: livello al colmo ricostruito sulla base delle evidenze lasciate dall'acqua esondata

*: livello al colmo

** : dato meridiano

(R): idrometro a registrazione

In particolare, deve essere sottolineato che il valore al colmo riportato in Tabella 3 per la piena di Dicembre 1937 alla sezione di Ponte Felcino-Busterna (teleferica) non è una lettura diretta ma un valore ricostruito sulla base della relazione lineare esistente tra le osservazioni meridiane effettuate durante il mese di Dicembre 1937 alla suddetta sezione e al sito di Ponte Felcino-Ianificio ricavate dagli Annali Idrologici 1937 – parte seconda (Frosini, 1941). La dislocazione delle suddette stazioni lungo le aste fluviali del Tevere, Chiascio e Topino è mostrata in Figura 8.

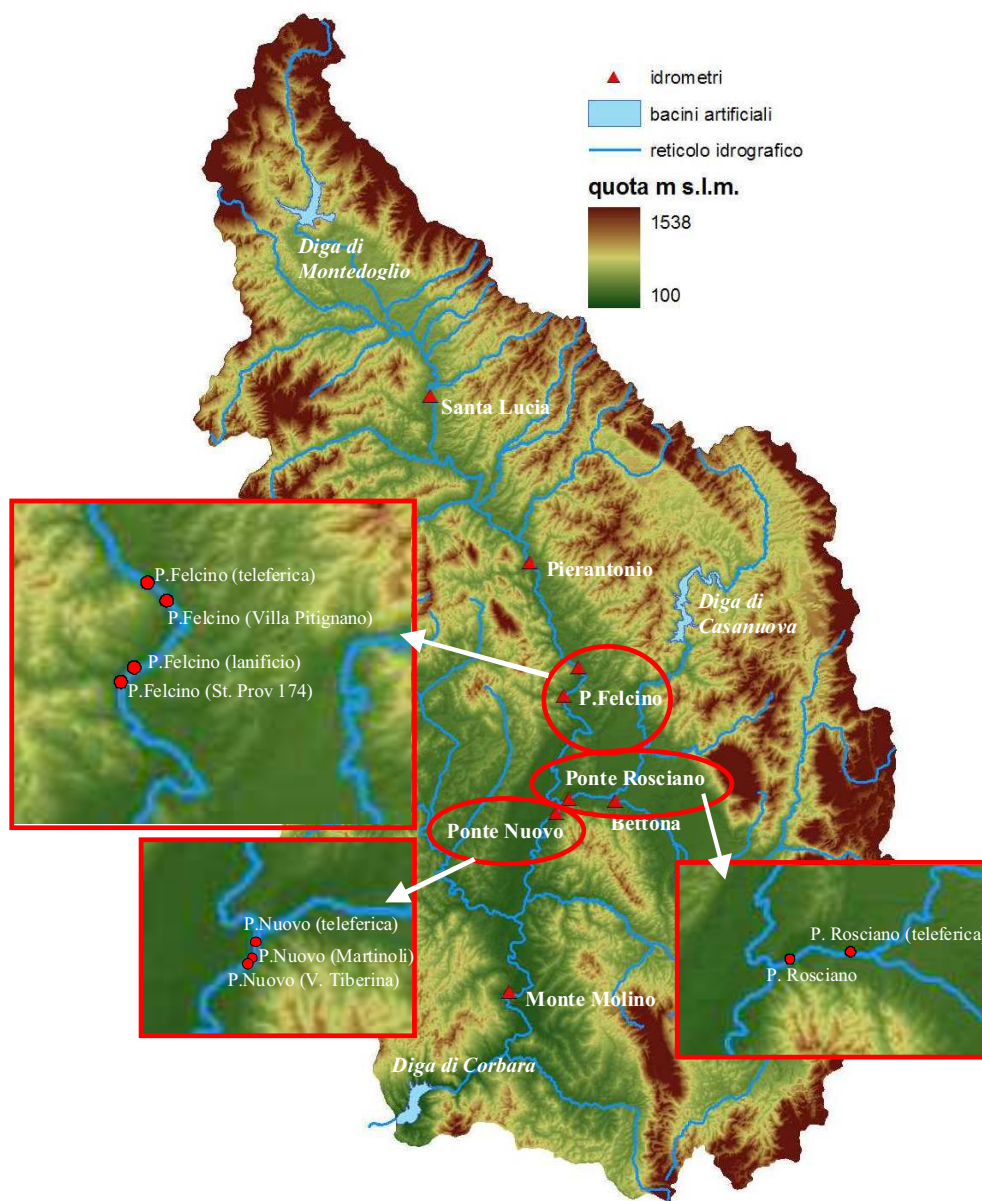


Figura 8. Localizzazione delle sezioni idrometriche sede di osservazione e/o registrazione di livello utilizzate per il confronto della criticità degli eventi di piena occorsi nel Dicembre 1937 e nel Novembre 2005.

In Tabella 3 sono anche riportati i massimi valori delle quote idrometriche raggiunte durante l'evento di Novembre 2005 durante il quale si è verificato un importante incremento dei livelli idrometrici lungo i canali del reticolo idrografico principale e secondario del bacino del Fiume Tevere che ha causato significativi fenomeni di tracimazione delle sommità spondali soprattutto

lungo l'asta principale. La conseguente esondazione di grandi volumi di acqua ha causato danni significativi in più punti allagando vaste aree perifluviali e minacciando da vicino diverse abitazioni anche in prossimità di aree urbanizzate, come per esempio quella di Ponte Nuovo e Deruta (Fanciullata). In particolare, il massimo livello raggiunto presso la sezione di Ponte Felcino-teleferica durante la recente piena del 2005, riportato in Tabella 3, è stato stimato sulla base delle evidenze lasciate sulla cabina della teleferica dall'acqua che ha invaso le aree golenali (si veda Figura 9). Come si può notare, il livello massimo assunto pari a 7.20 m potrebbe essere affetto da una sottostima che comunque non eccede i 30 centimetri. Tale valore è dedotto considerando il materiale flottante lasciato dalla corrente lungo le funi della teleferica (si veda Figura 9b).



Figura 9. Sezione Ponte Felcino - teleferica: evidenze lasciate dall'acqua esondata sulla cabina durante l'evento del Novembre 2005.

L'analisi idrometrica condotta per questo evento, riportata dettagliatamente nel paragrafo 6 del Rapporto di evento, ha già consentito di confrontare i massimi livelli idrometrici osservati con i valori massimi annuali registrati durante i venti anni di funzionamento della rete in telemisura della Regione Umbria mettendo in evidenza la criticità della piena del 2005 in tutto il reticolo fluviale visto che in molte sezioni di monitoraggio il livello idrico è risultato superiore al valore massimo dell'intero periodo di osservazione. Ovviamente, per l'evento del 2005 le registrazioni di livello sono disponibili per tutte le stazioni della rete attualmente funzionante. Si tratta di un numero significativo di siti idrometrici tra i quali vi è la quasi totalità delle stazioni di misura considerate per la piena del 1937 ad eccezione dei siti di Ponte Felcino-lanificio e Ponte Nuovo-Martinoli che, oggi dismessi, possono essere comunque considerati per l'analisi comparativa in virtù della breve distanza che li separa dalle attuali sezioni di misura rispettivamente di Ponte Felcino - Strada Provinciale 174 e Ponte Nuovo - Via Tiberina (si veda Figura 8).

L'analisi dei dati riportati in Tabella 3 consente di affermare che gli effetti al suolo sono risultati più critici lungo l'asta fluviale del Fiume Topino e del Fiume Chiascio durante l'evento del Dicembre 1937. In questo caso, la ricostruzione dei livelli al colmo, supportata da informazioni affidabili, ha evidenziato un dislivello di circa 2 metri a Ponte di Bettona e di quasi 3 metri a Ponte Rosciano. Tali differenze risultano congruenti con le conclusioni raggiunte nell'ambito dell'analisi pluviometrica precedentemente effettuata che ha mostrato come l'evento meteorico del 1937 è stato più critico per il bacino del Chiascio-Topino rispetto a quello del 2005 a causa della maggior spessore di pioggia cumulata precipitata e soprattutto della distribuzione temporale della precipitazione e delle condizioni iniziali dello stato di saturazione del terreno. Va comunque messo in evidenza che la differenza osservata per la sezione di Rosciano non può essere considerata rappresentativa, dato l'effetto di laminazione esercitato dall'invaso di Valfabbrica durante l'ultima piena.

Per quanto concerne il confronto della criticità dei due eventi lungo l'asta principale del Fiume Tevere, dalla sezione di Santa Lucia a quella di Monte Molino, l'analisi condotta ha messo in evidenza che la recente piena del 2005 è risultata più severa per l'area dell'Alto Tevere, soprattutto per la zona di Ponte Felcino. In particolare, le differenze stimate tra i massimi livelli raggiunti sono risultate contenute, dell'ordine di poche decine di centimetri, sia per la sezione di Santa Lucia sia per la zona di Ponte Felcino dove presso il sito della teleferica (Busterna) l'evento del 2005 è risultato il più critico con un dislivello di circa 20 centimetri (si veda Tabella 3). Tuttavia, deve essere sottolineato che l'evoluzione della piena di Novembre 2005 è stata fortemente condizionata dalla presenza dell'invaso artificiale di Montedoglio che ha laminato il contributo del bacino di monte invasando completamente in corso d'evento il volume in ingresso per poi rilasciarlo solo quando l'onda di piena a valle era già esaurita (si veda paragrafo 9 del Rapporto di evento). Pertanto, si può affermare che a parità di condizioni, ovvero in assenza dell'effetto di laminazione esercitato dalla diga, le differenze tra i massimi livelli osservati nel corso dei due eventi di piena analizzati sarebbero risultate molto più significative evidenziando in maniera lapalissiana la maggiore criticità della recente piena del Novembre 2005 nell'Alto Fiume Tevere in conformità con l'analisi pluviometrica della medesima area.

Per completezza di informazione, si riporta in Figura 10 il confronto tra l'idrogramma di livello registrato nel 2005 dall'idrometro di proprietà della Regione Umbria allocato sulla Strada Provinciale 174 e quello osservato nel Dicembre 1937 presso il sito di monitoraggio di Ponte Felcino-lanificio. Tale confronto, nell'ipotesi che non vi siano stati significativi variazioni delle caratteristiche geometriche/idrauliche del corso d'acqua, può essere considerato ragionevole in quanto le suddette sezioni di monitoraggio distano solo poche decine di metri. Come si può vedere, l'evento del 2005 è caratterizzato da un minore valore del massimo livello, come già mostrato in Tabella 3, ma da un volume di piena comparabile all'evento del 1937 a dimostrare il ruolo delle condizioni antecedenti del terreno per i due differenti eventi.

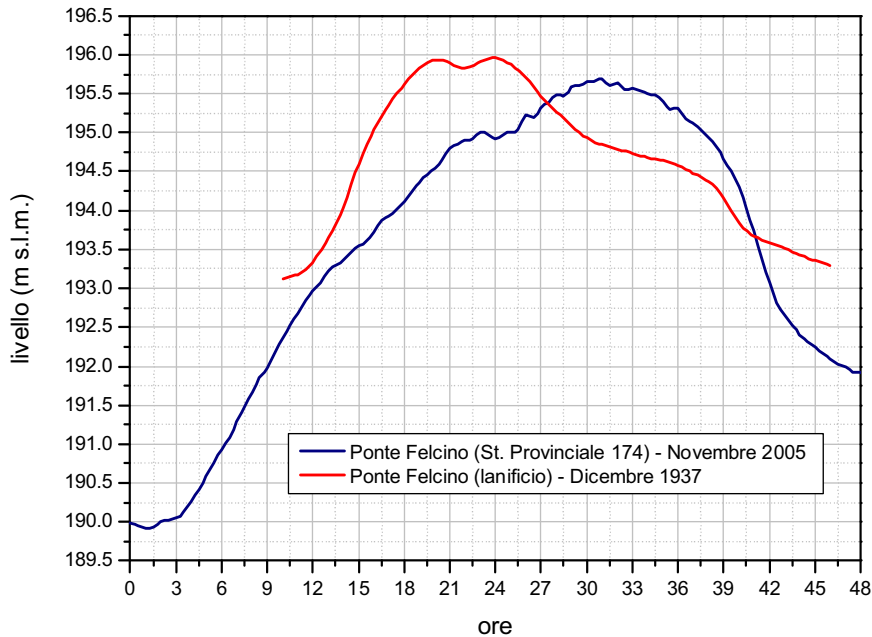


Figura 10. Confronto degli idrogrammi di livello registrati alla stazione di Ponte Felcino-lanificio nel Dicembre 1937 e presso il sito di monitoraggio di Ponte Felcino-Strada Provinciale 174 durante la piena di Novembre 2005.

Procedendo lungo l'asta valliva del Fiume Tevere, è stato possibile confrontare l'entità delle onde di piena verificatesi nel 1937 e nel 2005 presso il sito di osservazione di Ponte Nuovo considerando che la dismessa stazione di Martinoli, strumentata con idrometrografo, era posizionata solo poche decine di metri a monte dell'attuale alloggiamento del sensore della Regione Umbria che si trova sul lato valle del ponte sulla Strada Tiberina (si veda Figura 8). In questo caso, confrontando i livelli al colmo si è visto che la piena del 1937 risulta più elevata di circa 90 centimetri in virtù del significativo contributo del bacino del Chiascio-Topino e delle intense precipitazioni che hanno interessato il Medio bacino del Tevere. Il confronto tra gli idrogrammi di livello registrati presso il sito di Ponte Nuovo-Via Tiberina e Ponte Nuovo-Martinoli viene mostrato in Figura 11.

Infine, per quanto concerne la sezione di Monte Molino la notevole differenza osservata indica che la piena del Dicembre 1937 è stata molto più critica. Tuttavia, in questo caso le informazioni disponibili negli Annali Idrologici relative alla localizzazione della stazione non consentono di ritenere attendibile il confronto dei massimi livelli raggiunti durante i due eventi di piena.

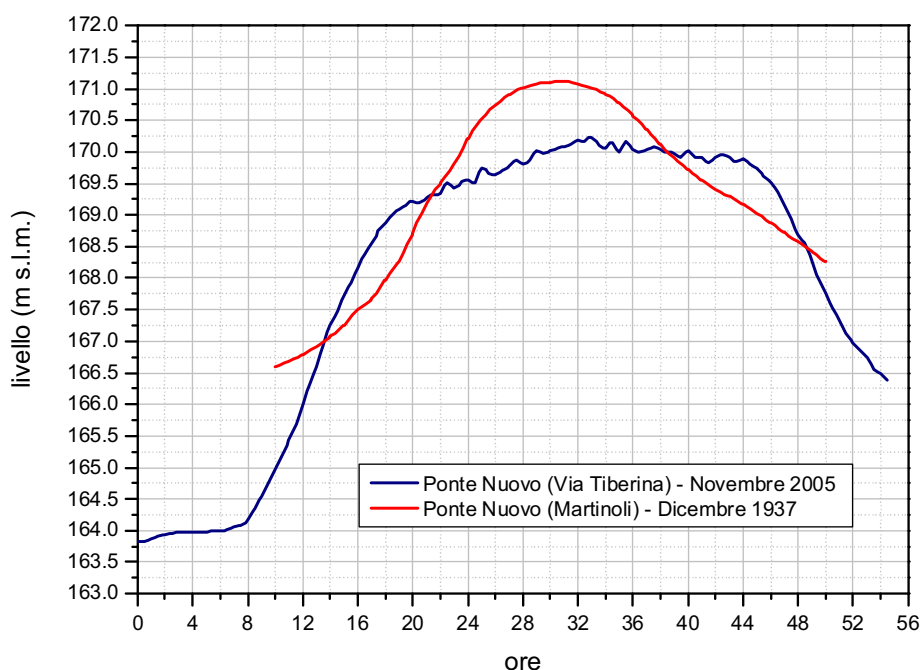


Figura 11. Confronto degli idrogrammi di livello registrati alla stazione di Ponte Nuovo-Martinoli nel Dicembre 1937 e presso il sito di monitoraggio di Ponte Nuovo-Via Tiberina durante la piena di Novembre 2005.

4. CONCLUSIONI

Il confronto delle caratteristiche idro-pluviometriche della recente piena del Novembre 2005 e dell'evento alluvionale del 14-16 Dicembre 1937 ha evidenziato che in quest'ultimo caso il contributo del bacino del Chiascio-Topino è risultato più significativo nel processo di formazione dell'onda di piena lungo l'asta del Tevere soprattutto in virtù delle condizioni antecedenti di imbibimento del terreno e della distribuzione temporale della precipitazione. Inoltre, nel 2005 la pioggia che ha interessato la parte più settentrionale del bacino del Fiume Tevere è risultata più elevata di quella del 1937 producendo lungo la rispettiva asta principale elevati livelli idrometrici che presso il sito di Ponte Felcino-teleferica sono risultati superiori a quelli registrati nel 1937 nonostante la laminazione effettuata dallo sbarramento di Montedoglio.

Dal confronto dei due eventi storici di inondazione del Dicembre 1937 e Novembre 2005 si possono avanzare le seguenti conclusioni:

- a) l'evento del 1937 è stato caratterizzato da piogge più intense principalmente nel bacino del Chiascio-Topino che ha contribuito significativamente alla formazione della piena a valle della confluenza con il Fiume Tevere;
- b) la distribuzione spaziale della pioggia è risultata per l'evento del 2005 molto più uniforme su tutto l'Alto-Medio Tevere, con valori di pioggia totale per l'Alto Tevere superiori a quelli del 1937;
- c) il differente grado iniziale di imbibimento del terreno ha fatto sì che la piena del 1937 sia stata, in termini di impatto al suolo, più catastrofica principalmente per l'asta valliva del Fiume Tevere.

BIBLIOGRAFIA

Frosini P., 1939. “Annali idrologici 1937 – parte prima”, Istituto Poligrafico dello Stato – Libreria, Roma.

Frosini P., 1941. “Annali idrologici 1937 – parte seconda”, Istituto Poligrafico dello Stato – Libreria, Roma.

Marchetti G., 1938. Nota del Servizio Idrografico: “Notizie preliminari sui caratteri idrologici dell’anno 1937”, pp. 273-293.



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE



ISTITUTO RICERCA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

APPENDICE 2

**ANALISI PRELIMINARE
DELLO SCIoglimento NIVALE**

S. Barbetta, L. Brocca, F. Melone, T. Moramarco

Luglio 2007

Indice

1. Introduzione	2
2. Stima Estensione Manto Nevoso da Satellite.....	4
3. Stima Scioglimento Nivale	4
4. Conclusioni	8
Bibliografia.....	9

1. INTRODUZIONE

L'analisi dell'evoluzione dell'onda di piena che nelle giornate del 25-28 Novembre 2005 ha interessato il reticolo idrografico del bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere non può prescindere dall'esame del fenomeno dello scioglimento nivale che, come già detto nel Rapporto d'evento (paragrafi 4 e 5), può aver contribuito in modo non trascurabile alla formazione della piena. Infatti, oltre al contributo delle piogge deve essere considerato quello del deflusso superficiale derivante dallo scioglimento della neve accumulatasi sui rilievi appenninici durante il periodo precedente l'evento alluvionale. Purtroppo quest'ultimo è difficilmente stimabile non essendo disponibile sul bacino alcuna informazione di dettaglio sul manto nevoso. Da un'analisi dei documenti presenti nel sito web www.umbriameteo.it è emerso che le prime deboli nevicate sono occorse sui rilievi Appenninici, in particolare nell'Alta Valtiberina, il giorno 20 Novembre. Durante i giorni successivi sulla regione è continuata ad affluire aria fredda che ha portato precipitazioni nevose nell'Eugubino Gualdese con accumulo di oltre 20 centimetri e il giorno 23 Novembre la neve è caduta anche a Città di Castello, dove lo spessore della coltre nevosa ha raggiunto i 15 centimetri. Le nevicate più consistenti hanno comunque interessato i rilievi dell'Appennino con il manto che ha raggiunto e superato i 50 centimetri. In Figura 1 sono mostrate alcune immagini relative alla nevicata del 23 Novembre 2005 nell'Alta Valtiberina e, in particolare, ad alcune località ubicate lungo la Strada Statale Apecchiese (SS 257) che collega Città di Castello e il passo di Bocca Serriola. Il giorno 23 Novembre la precipitazione nevosa ha interessato anche la zona del lago Trasimeno sulla parte alta di Castel Rigone e Tuoro, mentre nel Folignate sono disponibili solo notizie sulla viabilità stradale. In particolare, notevoli problemi alla circolazione sono stati registrati lungo le vie di comunicazione del territorio appenninico tra Nocera Umbra e Sellano, in Valnerina nella zona di Forca Canapine e Castelluccio di Norcia e sui Monti Martani.

Per avere una stima del contributo dello scioglimento della neve anche a scala di bacino, è necessario conoscere alcune caratteristiche del manto nevoso quali lo spessore, la densità e l'estensione. Da quanto sopra riportato, le informazioni disponibili sul manto nevoso presente prima dell'evento pluviometrico del 25 Novembre 2005 possono essere utilizzate per determinare in maniera approssimativa l'estensione areale e la profondità. Una stima più affidabile dell'estensione areale del manto nevoso può essere basata sul monitoraggio remoto con sensori alloggiati su piattaforme satellitari. A tal fine, possono essere impiegati sensori in banda ottica caratterizzati da un'alta risoluzione spaziale ma che risultano condizionati dalla copertura nuvolosa contrariamente ai sensori nella banda delle microonde i quali, tuttavia, hanno una scarsa risoluzione spaziale.

Lo scopo di questa appendice è quello di valutare l'effetto dello scioglimento nivale sulla formazione della piena del Novembre 2005. La mancanza di dati affidabili sulla presenza del manto nevoso ha indirizzato l'analisi in termini empirici e differenti scenari di scioglimento nivale sono stati analizzati.



Figura 1. Nevicata del 23 Novembre 2005 nell'Alta Valtiberina: a) Frazione di Fraccano (500 m s.l.m. lungo la Strada Statale Apecchiese); b) valico di Bocca Serriola (730 m s.l.m.).

2. STIMA ESTENSIONE MANTO NEVOSO DA SATELLITE

Allo stato attuale, sono state acquisite le immagini del satellite EOS-AQUA/TERRA, sensore MODIS, relative alle giornate dal 20 al 30 Novembre 2005. Un esempio dell'immagine in falsi colori relativa al giorno 24 Novembre è mostrato in Figura 2.

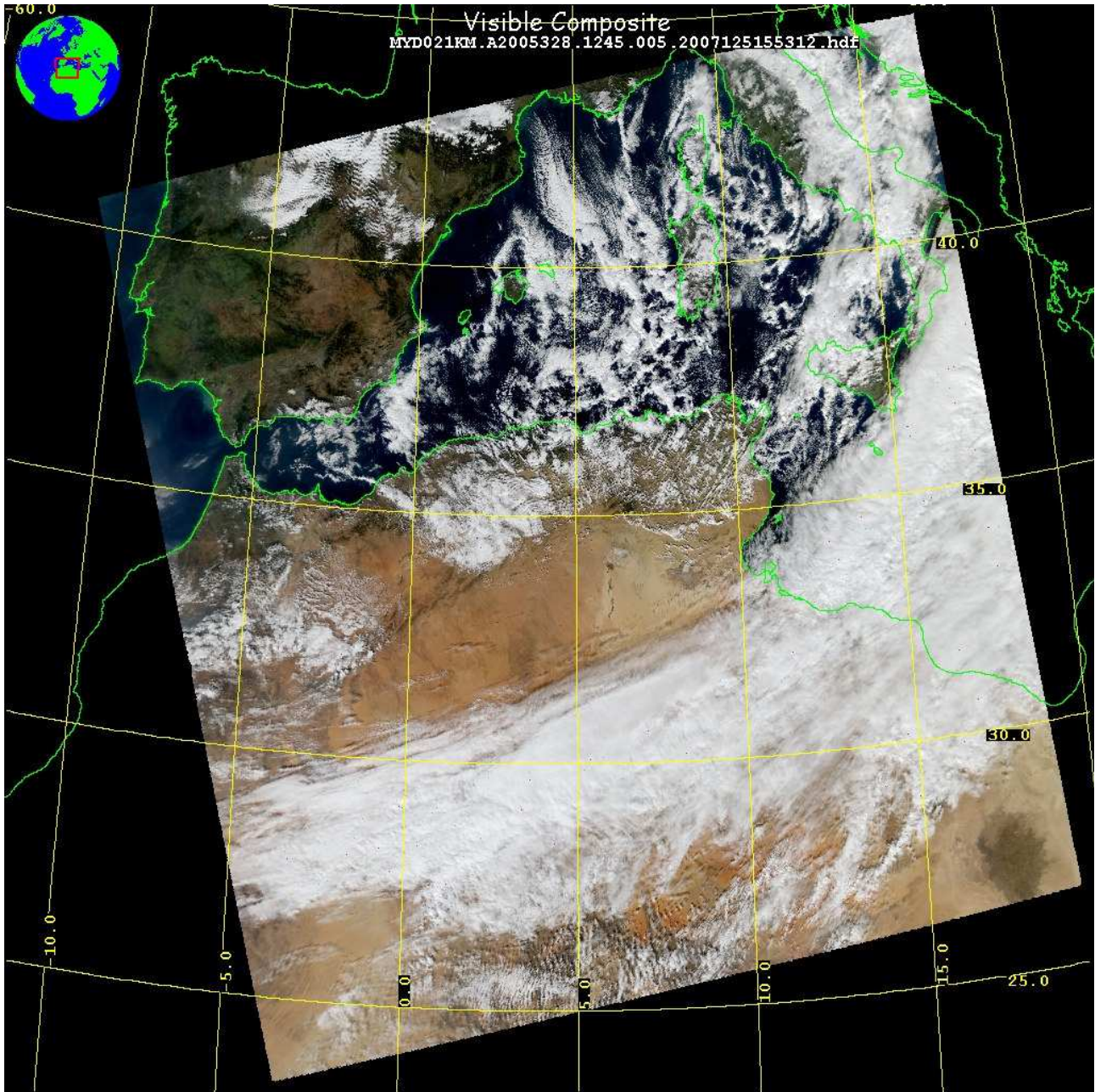


Figura 2. Immagine satellitare in falsi colori relativa alla giornata del 24 Novembre 2005.

3. STIMA SCIoglimento NIVALE

Considerando lo stato di conoscenza sul manto nevoso, l'analisi è limitata a simulare diversi scenari impiegando approcci empirici che non necessitano di informazioni di dettaglio.

In tale contesto, la prima informazione necessaria è una stima approssimata dell'equivalente in acqua della quantità di neve caduta, che può essere ricavata in maniera approssimata dall'altezza del manto nevoso accumulatosi al suolo e dalla densità del manto stesso. La densità della neve fresca dipende dalla temperatura, T , e dal campo di vento. McKay (1970) determinò che il valore di tale densità varia nell'intervallo 0.004-0.34, dove il massimo valore è relativo a situazioni caratterizzate da elevate temperature e significative velocità del vento. Per i bacini degli Stati Uniti viene generalmente impiegato un valore pari a 0.10. Assumendo un'altezza del manto nevoso di 50 centimetri, l'equivalente in acqua varia tra 0.2 e 17 centimetri. Nel caso dell'evento del 23 Novembre 2005 è lecito supporre valori della densità del manto nevoso tra medi ed elevati in quanto la velocità del vento non era trascurabile.

La stima dello spessore di acqua rilasciata dal processo di scioglimento della copertura nevosa in assenza di precipitazione è tipicamente basata sulla metodo del degree-day factor espresso dalla seguente equazione:

$$M = C(T_m - T_e) \quad (1)$$

dove M è lo spessore di acqua giornaliera derivante dallo scioglimento nivale (mm), T_m è la temperature media giornaliera ($^{\circ}\text{C}$) e T_e rappresenta la temperatura di equilibrio (tipicamente pari a 0°C); C è il fattore di scioglimento nivale giornaliero denominato degree-day factor ($\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \text{ giorno})$).

I modelli basati sul concetto del degree-day factor assumono relazioni empiriche tra la temperatura dell'aria e lo spessore di acqua derivante dallo snowmelting. Questi approcci costituiscono la tecnica più diffusa nella modellistica dei processi di fusione nivale in quanto i dati di temperatura dell'aria sono tipicamente disponibili e possono essere facilmente elaborati con tecniche di interpolazione e forecasting. Inoltre, nonostante la forte semplificazione dei processi fisici l'approccio del degree-day factor fornisce prestazioni affidabili particolarmente a scala regionale e con una risoluzione temporale giornaliera (Hock, 2003).

Il valore del fattore di scioglimento nivale giornaliero, C , dipende dalla latitudine del luogo, dall'altitudine, dal periodo dell'anno e dalla conformazione della coltre di copertura che può essere costituita da neve fresca e/o da ghiaccio. Considerando tutti i fattori sopramenzionati, i valori che il degree-day factor può assumere in presenza di sola copertura nevosa risultano compresi nell'intervallo 2.7-11.6 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \text{ giorno})$ con valori che tipicamente sono inferiori a 5 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \text{ giorno})$ per aree senza presenza di ghiacciai (Hock, 2003). Per esempio, assumendo un valore del degree-day factor pari a 4 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \text{ giorno})$ si avrebbero 12 e 20 mm di acqua derivante da scioglimento nivale per una temperatura media dell'aria pari rispettivamente a 3 e 5 $^{\circ}\text{C}$.

In presenza di precipitazione allo stato liquido, lo scioglimento del manto nevoso è dovuto in larga parte al trasferimento di calore dovuto alla pioggia oltre che all'insolazione. Pertanto, è necessario quantificare tale contributo che può essere stimato a scala di bacino attraverso la seguente relazione empirica (WMO, 1983):

$$M = (0.1 + 0.12P + 0.8ku)T_m + 2.0 \quad (2)$$

dove P è la pioggia giornaliera in mm, k è una costante variabile nell'intervallo 0.3-1.0 in funzione della copertura boschiva (dove 1 è per aree completamente prive di copertura) ed u è la velocità del vento in ms^{-1} misurato a 10 metri di altezza. La costante additiva 2.0 include gli effetti dello scioglimento nivale dovuto al flusso di calore dal terreno e alla radiazione solare che penetra la copertura nuvolosa. Per l'applicazione della (2) a scala di bacino è necessario conoscere le quantità idro-meteorologiche per l'area del bacino interessato dal manto nevoso.

Per quanto riguarda l'evento oggetto dell'analisi, va messo in evidenza che fino alla giornata del 25 Novembre 2005 le aree del bacino poste ad un'altitudine superiore a 500 m s.l.m. sono state caratterizzate da una temperatura media giornaliera inferiore a 0°C che ci permette di ipotizzare una metamorfosi del manto nevoso presente ed un trascurabile scioglimento. Pertanto, lo scioglimento nivale verrà valutato mediante l'impiego della relazione (2) solo per la giornata del 26 Novembre in quanto, come già ampiamente sottolineato nel Rapporto di evento (paragrafo 5) e in Appendice 1 (paragrafo 2), l'intensità dell'evento meteorico è risultata notevolmente attenuata il giorno 27 Novembre rendendo trascurabile il contributo dello scioglimento nivale anche a causa di una diminuzione della temperatura media.

In particolare, l'analisi ha riguardato il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio (276 km^2), il bacino del Fiume Tevere alla sezione idrometrica di Santa Lucia (937 km^2) e il relativo interbacino (661 km^2), nonché l'interbacino tra Montedoglio e la sezione di Ponte Felcino (1768 km^2). Per la stima dello scioglimento nivale, sulla base delle informazioni relative alla copertura di neve presente sul bacino nelle giornate precedenti l'evento alluvionale è stata individuata una quota di riferimento pari a 700 m s.l.m. al di sopra della quale la presenza della coltre nevosa può essere considerata non trascurabile.

L'analisi delle caratteristiche di uso del suolo ha individuato una copertura boschiva delle aree in esame pari a circa il 60% del territorio. Su tali basi, è stato definito il valore della costante k della relazione (2) che è stata posta pari a 0.5 per tutti i bacini analizzati considerando oltretutto che il valore di tale coefficiente non influenza in modo significativo la stima di M . Inoltre, i valori della grandezze idro-meteorologiche necessarie per la stima dello scioglimento nivale sono stati determinati come di seguito descritto:

- la pioggia giornaliera, P , è quella media areale calcolata per i tre bacini sopramenzionati risultata pari a circa 80 mm.
- la temperatura, T_m , è stata stimata considerando che la neve ha interessato solo le aree poste a quote superiori a 700 m s.l.m. e determinando per ciascuno dei bacini analizzati una quota media rappresentativa al fine di selezionare solo le stazioni termometriche poste al di sopra di tale quota e di utilizzare le relative registrazioni per la stima di T_m che è risultata pari a 5°C . In Figura 3 sono mostrate le temperature minime, massime e medie registrate dalle stazioni termometriche del bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere durante la giornata del 26 Novembre.
- per la stima della velocità del vento, u , sono state considerate le registrazioni delle stazioni meteorologiche presenti all'interno del bacino, con particolare riferimento ai siti più prossimi e posti a quote più elevate. In questo caso, la mancanza di informazioni con adeguata risoluzione spaziale sul bacino ha reso necessario ipotizzare diversi scenari con valori della velocità del vento compresi tra 5 e 25 km/h.

Dalle precedenti considerazioni, risulta evidente che i tre bacini analizzati sono caratterizzati da analoghi valori di M al variare della velocità del vento u . I risultati ottenuti applicando la relazione (2) sotto le condizioni sopradescritte sono mostrati in Tabella 1.

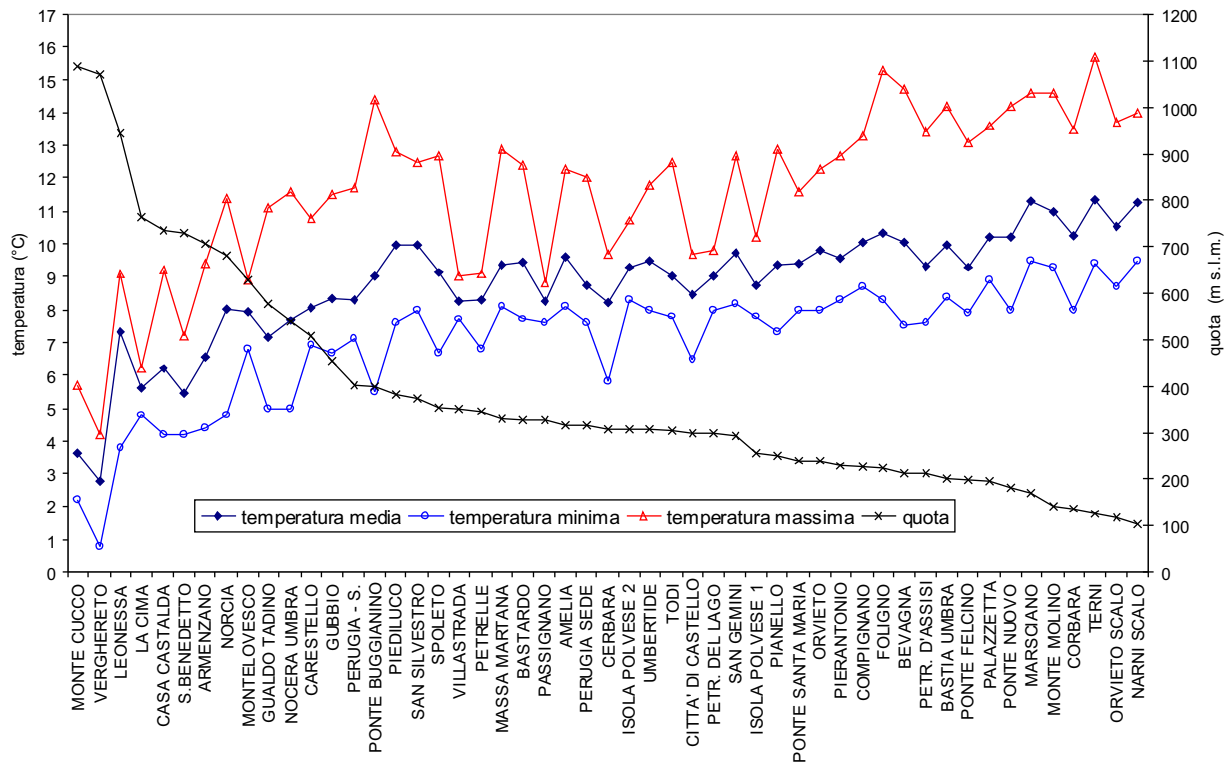


Figura 3. Temperature minime, massime e medie giornaliere registrate il giorno 26 Novembre presso le stazioni meteorologiche del bacino dell'Alto-Medio Fiume Tevere. Viene mostrata anche la quota, in m s.l.m., delle stazioni di misura.

Tabella 1. Spessore di acqua giornaliera derivante dallo scioglimento nivale, M , calcolato mediante la relazione (2) per diversi valori della velocità del vento, u , considerando $k=0.5$ e $T_m=5^\circ\text{C}$.

		M (mm)
u (m/s)	1.5	54
	4.0	59
	7.0	65

Come si può vedere, lo spessore di acqua derivante dallo scioglimento nivale nelle condizioni climatiche caratterizzanti la giornata del 26 Novembre è risultato compreso tra 54 e 65 mm. Considerando un valore medio pari a 60 mm, è possibile quantificare lo spessore equivalente del manto di neve fresca sulla base delle precedenti considerazioni relative alla densità del manto nevoso. In questo caso, considerando che durante la fitta nevicata del 23 Novembre le condizioni termiche non erano particolarmente severe e la velocità del vento era significativamente elevata è ragionevole assumere una densità pari a 0.2. Pertanto, ne consegue che lo spessore di neve equivalente all'acqua di fusione è pari a 30 centimetri. Tale valore, medio su tutto il territorio posto a quote maggiori di 700 m

s.l.m., è compatibile con le informazioni relative allo spessore della coltre nevosa presente sul bacino prima dell'evento, riportate nel paragrafo, che danno notizia di uno spessore di circa 15-20 fino ad un massimo superiore ai 50 centimetri sui rilievi dell'Appennino. Tuttavia, deve essere sottolineato che assumendo un valore della densità pari a 0.1 o 0.3 si ottiene uno spessore della coltre nevosa equivalente pari rispettivamente a 60 e 20 centimetri.

La porzione di territorio caratterizzato da un'altitudine maggiore di 700 m s.l.m. corrisponde ad una percentuale della superficie pari al 50% e al 14% rispettivamente per il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio e per l'interbacino tra Montedoglio e Santa Lucia. Noto lo spessore di acqua derivante dallo scioglimento nivale (60 mm) e la percentuale del bacino interessata da tale processo, è possibile ricalcolare il valore dei coefficienti di deflusso alla luce delle considerazioni condotte sul processo dello scioglimento della coltre nevosa. I risultati ottenuti per il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio, per l'interbacino tra Montedoglio e Santa Lucia e per l'interbacino tra Montedoglio e Ponte Felcino sono mostrati in Tabella 2. Come si può vedere, per tutti e tre i sottobacini si ha un decremento del coefficiente di deflusso che risulta particolarmente significativo per il bacino di Montedoglio. Ovviamente, l'entità della diminuzione è strettamente dipendente dalla percentuale dell'area del bacino caratterizzata da un'altitudine superiore alla quota di riferimento di 700 m s.l.m.. Dalla Tabella 2 si evince che il contributo dello scioglimento della neve al deflusso superficiale è significativo per il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio (30 mm), mentre risulta estremamente ridotto per l'interbacino Montedoglio-Santa Lucia (8 mm) e per l'interbacino Montedoglio-Ponte Felcino (7 mm).

Tabella 2. Stima del coefficiente di deflusso per diversi sottobacini dell'area dell'alto-Medio Fiume Tevere alla luce del contributo dello scioglimento nivale valutato solo per la porzione di territorio superiore a 700 m s.l.m..

Bacino	Area bacino (km ²)	Precipitazione cumulata (mm)	Volume deflusso diretto (mm)	Coeff. deflusso ()	% bacino sopra 700 m	Contributo Scioglimento nivale (mm)	% Pioggia	Coeff. deflusso con scioglimento nivale()
Montedoglio	276	83.3	60.3	0.72	50	30	26	0.53
Interbacino Montedoglio-Santa Lucia	661.3	94.1	45	0.48	14	8	8	0.44
Interbacino Montedoglio-Ponte Felcino	1767.8	92	41.4	0.45	11	7	7	0.42

4. CONCLUSIONI

Le analisi condotte sono state basate sull'ipotesi che durante l'evento alluvionale del 25-28 Novembre 2005 il processo di scioglimento nivale ha interessato la porzione di bacino caratterizzata da una quota superiore a 700 m s.l.m.. L'impiego di una relazione empirica ha consentito di stimare lo spessore di acqua derivante dalla fusione della coltre nevosa a partire dalla conoscenza della pioggia media giornaliera, della temperatura media giornaliera dell'aria, della velocità del vento e della percentuale di copertura boschiva. Considerando la percentuale del bacino con quote maggiori

di 700 m s.l.m., è stato stimato un contributo dello scioglimento della neve al deflusso superficiale pari a 30 mm per il bacino sotteso dalla diga di Montedoglio, a 8 mm per l'interbacino Montedoglio-Santa Lucia e a 7 mm per l'interbacino Montedoglio-Ponte Felcino. Tali contributi se confrontati con quello della precipitazione cumulata costituiscono delle percentuali ridotte che hanno influenzato il processo di formazione dell'onda di piena lungo le aste fluviali dell'Alto-Medio bacino del Tevere in modo non determinante. L'analisi necessita, tuttavia, di un approfondimento soprattutto per quanto concerne l'estensione areale del manto nevoso utilizzando anche approcci basati su informazioni satellitari.

BIBLIOGRAFIA

Hock R., 2003. "Temperature index melt modelling in mountain areas", *Journal of Hydrology*, 282, 104-115.

McKay G.A., 1970. Precipitation. In D.M. Gray, ed. *HANDBOOK ON THE Principles of Hydrology*. Port Washington, NY: Water Information Center, Inc.

World Meteorological Organization, 1983. "Guide to hydrological practices – Volume II analysis, forecasting and other applications", Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva - Switzerland.