



REGIONE LOMBARDIA

DIREZIONE GENERALE TERRITORIO E URBANISTICA
UNITÀ ORGANIZZATIVA TUTELA E VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

RIASSETTO IDROGEOLOGICO E MITIGAZIONE DEI RISCHI
NATURALI PRESENTI IN VAL TORREGGIO
Comune di Torre S.Maria (SO)

DICEMBRE 2006

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICA

A.T.I.:

MANDATARIA

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI
20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: Studiopaoletti@etatec.it

MANDANTE

ETATEC S.R.L.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

MANDANTE

Prof. Geol. Lamberto Griffini

20149 MILANO - via E. Pagliano, 37 - tel.(02) 61298369
fax (02) 61296490 - E-Mail: griffinil@tin.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

CONSULENTI:

ASPETTI NATURALISTICI E VEGETAZIONALI :
Dott. Agr. GIANPAOLO GUZZETTI

NOME

FIRMA

DATA

REDAZIONE

C. Passoni

VERIFICA

G.B. Peduzzi

APPROVAZIONE

A. Paoletti

TIPOLOGIA

PD

COMMITTENTE

122

COMMESSA

06/03

DOCUMENTO

RI

NUMERO

B.01.00

SCALA:

-

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL BACINO DEL TORREGGIO	5
3. STUDI ESISTENTI.....	8
3.1 INTRODUZIONE	8
3.2 PIANO E PROGRAMMA DI RICOSTRUZIONE RICONVERSIONE E SVILUPPO DELLA VALTELLINA DELLE ZONE ADIACENTI DELLE PROVINCE DI COMO, BERGAMO E BRESCIA COLPITE DALLE AVVERSITÀ ATMOSFERICHE DEI MESI DI LUGLIO-AGOSTO 1987	9
3.3 PROGETTO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA E DI VERSANTE DEL TORRENTE TORREGGIO (1990)	12
3.4 PORTATE DI PIENA NEI CORSI D’ACQUA SVIZZERI.....	16
3.5 PROGETTO DI MASSIMA DI OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SUL TORRENTE TORREGGIO (1996)	17
4. NUOVE ANALISI PLUVIOMETRICHE	20
4.1 GENERALITÀ.....	20
4.2 I DATI PLUVIOMETRICI DISPONIBILI.....	21
4.3 ANALISI E CONFRONTO DELLE PIOGGE CUMULATE GIORNALIERE.....	24
4.4 ANALISI DEGLI EVENTI PLUVIOMETRICI INTENSI	33
4.5 CONFRONTO CON LE CPP E DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI RITORNO DEGLI EVENTI REGISTRATI	51
5. PORTATA DI PIENA	63
5.1 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	63
5.2 IETOGRAMMI REALI	64
5.3 IETOGRAMMA DI PROGETTO.....	65
5.4 SCELTA DEL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	66
5.5 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA	71

RELAZIONE IDROLOGICA

1. PREMESSA

La presente relazione idrologica si propone come obiettivo primario l'analisi dei nuovi dati oggi disponibili nel settore specifico (registrazioni fornite dal Centro di Monitoraggio Geologico dal 1987 al 2005; serie idrometriche delle stazioni svizzere di Poschiavo Le Prese, Poschiavo La Rosa, Berninabach e Rosegbach) al fine di fornire un supporto ponderato alla determinazione:

- delle portate di progetto e di verifica delle opere esistenti;
- delle sollecitazioni subite dal bacino del Torreggio negli anni a seguire l'evento del 1987;
- della dinamica dell'evento alluvionale del luglio 1987.

Come riportato al capitolo 3, negli anni successivi al 1987, le diverse progettazioni svolte hanno ciascuna condotto accurate analisi di ordine idrologico giungendo a determinare portate di massima piena al colmo di assoluto rilievo per l'asta del Torreggio. Tali elaborazioni prendevano tutto spunto dalle serie storiche di letteratura derivanti dalle stazioni attive del S.I.I. nell'area (Scais, Sondrio, Lanzada, Campo Moro), associando all'analisi statistica dei dati, modelli di trasformazione afflussi-deflussi basati su ietogrammi sintetici il cui limite è dettato dalla variabilità del risultato a seconda delle condizioni iniziali del bacino. La disponibilità di registrazioni pluviometriche e di letture idrometriche (seppur non direttamente sul bacino del Torreggio ma in una sezione del Mallero immediatamente a valle della confluenza) ha consentito di verificare tali ipotesi e di saggiare il grado di incertezza insito nelle elaborazioni passate giungendo alle seguenti

conclusioni:

- il regime pluviometrico del bacino del Torreggio potrebbe essere assimilabile a quello descritto dalla serie storica del pluviografo di Lanzada: dai dati di monitoraggio infatti si evince una buona uniformità spazio-temporale delle precipitazioni nell'area della Valmalenco da Torre S.Maria a Chiesa Valmalenco pur con differenze puntuali dell'ordine anche del 10-20% (pluviometri Alla Braccia, Torreggio, Torre S. Maria, laghi di Chiesa e Ganda di Lanzada del Centro di Monitoraggio Geologico);
- il regime pluviometrico delle stazioni di Sondrio e Scais (con precipitazioni attese per vari tempi di ritorno che si attestano su valori in media pari al doppio di quelli di Lanzada) non sembra rappresentativo della zona della Valmalenco alla luce sia della buona corrispondenza tra i dati di Ganda di Lanzada e i dati degli altri pluviometri del Centro di Monitoraggio nel corso del quindicennio 1989-2005, sia dei riscontri con i bacini svizzeri contermini (che presentano tutti valori di contributo di piena tra 1,0 e 1,5 m³/s·km² a fronte dei dati dei bacini orobici di 6÷8 m³/s·km²). Si rammenta che il dato relativo alla piena del Mallero nel 1987 si attesta su valori di circa 400 m³/s a Sondrio e pertanto con contributo (seppur su un bacino assai più esteso di quello in studio) proprio tra 1 ed 1,5 m³/s·km²;
- la lettura degli eventi pluviometrici registrati dal Centro di Monitoraggio, in confronto con i dati della serie storica, dimostrano un'anomala concentrazione di eventi intensi (associati a tempo di ritorno di oltre 50 anni con punte di 100 e 200) nel decennio dal 1989 al 2003 a significare una notevole sollecitazione del bacino in termini assoluti, a prescindere dal

possibile effetto di sottostima delle curve di possibilità pluviometrica nell'intorno del tempo di ritorno oltre i 50 anni ove spesso la curva interpolare si attesta al di sotto dei punti noti;

- la lettura combinata delle registrazioni pluviometriche ed idrometriche, seppur con l'incertezza della esatta taratura della scala delle portate dell'idrometro di Torre S.Maria, indica una discreta risposta dei modelli afflussi-deflussi (in termini di tempo di corrivazione del bacino e di contributo alla formazione dell'onda di piena del Mallero) con variabilità dei coefficienti di deflusso da 0,3 a 0,7 in funzione della struttura dell'evento pluviometrico (più o meno lungo) e della tecnica di depurazione (costante ovvero con metodo CN-SCS). Tale variabilità deve porre limiti di prudenza alla possibile riduzione dei valori di portata che possono generarsi nel bacino del Torreggio a seguito dell'applicazione di ietogrammi sintetici di breve durata (3-4 volte il tempo di corrivazione del bacino).

L'insieme delle precedenti deduzioni porta a concludere come, seppur i valori sino ad oggi determinati (portata centennale pari a $170\div 200\text{ m}^3/\text{s}$) appaiano sovrastimati, non sia da escludere (per particolari condizioni di saturazione del bacino e per effetto dei dati del Centro di Monitoraggio che tuttavia rappresentano una serie ancora troppo breve di riferimento) l'ipotesi di piene con caratteristiche di di tale entità.

Resta inoltre da ricordare come di fatto i dimensionamenti delle opere in progetto debbano forzatamente considerare anche l'ipotesi di un collasso di uno sbarramento che si venisse a formare (come nel 1987) a seguito della

caduta in alveo di porzioni di versante ancora instabili. Come commentato in relazione generale (A.01.00) e idraulica (B.02.00) le portate derivanti da tali ipotesi (seppur ridimensionate a valori plausibili di masse instabili – cfr. relazione B.05.01) portano a valori ben superiori ai valori che si possono generare naturalmente. È su tali valori che devono pertanto essere condotte le verifiche di sicurezza più impegnative (cfr. relazione idraulica B.02.00).

Nei successivi capitoli pertanto si sono affrontati i seguenti temi:

- la sintesi degli studi esistenti;
- l'analisi dei dati disponibili dal centro di Monitoraggio sia in termini di verifica della correlazione tra le piogge in Val Torreggio (1999-2005) e negli altri pluviometri (specie Ganda di Lanzada) sia in termini di confronto tra gli eventi estremi registrati e la serie storica del S.I.I.;
- la determinazione delle portate di piena di progetto.

2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL BACINO DEL TORREGGIO

Il Torrente Torreggio, affluente in sponda destra del T.Mallero (corso d'acqua principale della Val Malenco), confluisce in esso nei pressi dell'abitato di Torre S.Maria a quota 760 m s.m., a circa 7,5 km da Sondrio.

Complessivamente l'estensione del bacino idrografico è pari a 25 km², l'altitudine massima è pari a 3'678 m s.m., corrispondente alla vetta del Monte Disgrazia, e l'altitudine minima (sezione di chiusura) è pari a 760 m s.m., corrispondente alla confluenza nel T.Mallero.

Il tempo di corrivazione del bacino stimato risulta leggermente superiore a un'ora (il valore effettivo dipende dal metodo di calcolo, risultando pari a 1,06 ore se calcolato in base alle caratteristiche geometriche - cfr par. 3.2 – e pari a 1,15 ore se calcolato in base allo sviluppo del reticolo del drenaggio - cfr. par. 3.4).

La sezione di chiusura è sita ad una latitudine di 46° 14' N ed alla longitudine di 2° 36' ad Ovest di Monte Mario. Il bacino è compreso fra i paralleli 45° 13' N e 46° 16' N ed i meridiani 2° 36' O e 2° 33' O.

Nel T.Torreggio confluiscono due affluenti, entrambi in sponda destra, abbastanza significativi per la superficie del bacino sotteso: il primo a circa 3,1 km dalla confluenza del Mallero, sottende un bacino pari a 3,3 km²; il secondo, il T.Arcogliasco, confluisce ad 1,5 km dal Mallero, sottende un bacino pari a 4,25 km² e ha un tempo di corrivazione che è stato stimato pari a 35 minuti.

La lunghezza complessiva del T.Torreggio è di circa 9,5 km. L'andamento

planimetrico del Torreggio è quello tipico dei torrenti montani, cioè abbastanza rettilinea.

In generale la pendenza dell'alveo è molto elevata: essa è mediamente pari al 20%, ma proprio in corrispondenza del tratto a valle della confluenza con l'Arcogliasco essa aumenta fino a raggiungere valori pari al 35%. È in questo tratto che si sono concentrati i più rilevanti fenomeni di instabilità nel corso dell'evento del luglio 1987. Infatti i versanti del bacino del T.Torreggio nell'ultimo tratto di 2,5 ÷ 3 km sono caratterizzati da estesi fenomeni franosi (cfr. atti A.02.01 *Relazione sullo stato dei luoghi, analisi dei rischi attuali e residui*; B.05.01 *Relazione geotecnica*; B.03.01 *Relazione geologica*).

L'elevata instabilità e franosità dei versanti, insieme alla rilevante pendenza dell'asta fluviale, hanno determinato in passato le situazioni alluvionali di più grave pericolo per l'abitato di Torre S.Maria.

In effetti, in questo tratto l'instabilità dei versanti è fortemente influenzata dall'azione erosiva che la corrente esercita ai piedi degli stessi, con una continua asportazione di materiale; la forte capacità di erosione e di trasporto della corrente, conseguenza diretta dell'elevato valore della pendenza, si unisce a un significativo apporto di materiale in alveo (cfr. atto B.06.00 *Relazione sul trasporto solido*).

In particolare la sponda destra del Torreggio è caratterizzata da terreni meno consistenti e di minore granulometria, con una continua asportazione di materiale più sottile.

Durante l'evento alluvionale del luglio 1987, infatti, un esteso franamento in sponda destra ha creato uno sbarramento dell'alveo fluviale che, travolto dalla

piena, è rovinato verso valle sconvolgendo tutto il tratto terminale dell'asta.

Con riferimento all'uso dei suoli e alla copertura vegetale, la fascia altitudinale inferiore a 2'100 m s.m. è prevalentemente caratterizzata da bosco rado, con prevalenza di pini, con sottobosco abbastanza povero, essendo il terreno ricco di materiale detritico e di un sottile strato di terreno vegetale.

In corrispondenza delle frane A e B dominano zone prive di copertura vegetale a causa del materiale detritico.

A seguito dell'alluvione del 1987 sono stati effettuati rilevanti interventi idraulici per il consolidamento e la sistemazione del tronco terminale compreso tra la quota 1'000 m s.m. e la confluenza nel T.Mallero.

Tali interventi si possono suddividere in tre tratti:

- la regimazione di circa 440 m d'alveo con canalizzazione a salti di fondo e strutture in calcestruzzo completamente rivestite in pietrame (cunettone);
- la sistemazione di tipo flessibile con interposizione di una briglia selettiva a difesa del tratto canalizzato prima detto per gli ultimi 120 m a monte;
- le 8 briglie a monte della selettiva, per un tratto di circa 400 m fino a circa quota 1'000 m s.m..

3. STUDI ESISTENTI

3.1 INTRODUZIONE

A seguito dell'evento alluvionale del 1987 il Torrente Torreggio è stato oggetto di una serie di studi e di progetti di sistemazione fluviale e di versanti in frana.

Tali studi, descritti sinteticamente nel presente capitolo, sono i seguenti:

- i calcoli idrologici per il *“Piano e programma di ricostruzione, riconversione e sviluppo della Valtellina, delle zone adiacenti delle province di Como, Bergamo e Brescia colpite dalle avversità atmosferiche dei mesi di luglio-agosto 1987”* (descritto nel capitolo 3.2), richiesti dalla Regione Lombardia a seguito degli eventi alluvionali del luglio 1987 e redatti nel giugno 1990;
- lo studio del marzo 1989 svolto dal Politecnico di Milano su commissione del Consiglio Regionale della Lombardia a riguardo degli aspetti idraulici ed idrologici dell'evento alluvionale del luglio 1987;
- lo studio sulle *“Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri”* a cura del Servizio Idrologico e Geologico Nazionale dell'Ufficio Federale per la Protezione Ambientale Svizzero (capitolo 3.4);
- lo studio di sistemazione idraulica e di versante redatto dalla Soc. Italtekna e consegnato alla Regione Lombardia nell'ottobre 1989;
- il progetto generale e il progetto stralcio per la *“Sistemazione idraulica e di versante del Torrente Torreggio”* redatti nell'ottobre 1990 (capitolo 3.3);
- il *“Progetto di massima di opere di sistemazione idraulica sul Torrente Torreggio”* redatto per conto della Regione Lombardia nel febbraio 1996 dal Prof. Ing. Baldassare Bacchi (capitolo 3.5).

3.2 PIANO E PROGRAMMA DI RICOSTRUZIONE RICONVERSIONE E SVILUPPO DELLA VALTELLINA DELLE ZONE ADIACENTI DELLE PROVINCE DI COMO, BERGAMO E BRESCIA COLPITE DALLE AVVERSITÀ ATMOSFERICHE DEI MESI DI LUGLIO-AGOSTO 1987

Lo studio in argomento è stato redatto nel giugno 1990 per l'Associazione temporanea di imprese (Italtekna, Bonifica, Spea, Lombardia Risorse) a seguito degli eventi alluvionali del luglio 1987 ed è stato utilizzato per l'elaborazione dei piani dell'Adda prelaculare, dell'Oglio, del Brembo e dell'Alto Lario.

I dati relativi alle precipitazioni di breve durata e forte intensità, utilizzati per la stima delle portate di piena sono stati reperiti dagli Annali pubblicati dal Servizio Idrografico Italiano con riferimento ai massimi annuali delle precipitazioni della durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I dati si riferiscono al periodo dal 1930 al 1973. Sono state individuate 42 stazioni pluviografiche (di cui Lanzada e Campo Moro, nel bacino Mallerio) che sono state analizzate per gruppi, in relazione alla quota ed alla posizione delle stazioni.

Con l'ausilio di modelli di estrapolazione ed interpolazione spaziale dell'informazione idrometrica e pluviometrica (modelli regionalizzati), con modelli di trasformazione afflussi-deflussi e modelli di propagazione dell'onda di piena, sono stati individuati, in corrispondenza di specifiche sezioni di interesse prescelte, le seguenti grandezze:

- il regime caratteristico dei deflussi;
- la curva di durata delle portate medie giornaliere;
- le portate di piena corrispondenti a preassegnati valori della frequenza probabile;

- i livelli idrici corrispondenti alle portate di piena centennale.

In questo studio non è stata considerata di interesse la precisa conoscenza dei fenomeni di piena dei singoli bacini, ma è stata fatta una stima della portata al colmo tramite un solo parametro di permeabilità per tutti i bacini considerati.

Per ogni bacino di interesse sono stati individuati i valori di portata centennale.

Per il bacino del T.Mallero, che non dispone di osservazioni idrometriche atte alla calibrazione diretta di un modello idrologico afflussi-deflussi, è stato fatto riferimento allo studio del marzo 1989 svolto dal Politecnico di Milano su commissione del Consiglio Regionale della Lombardia, attuando alcune modifiche ai parametri CN ed I_a (70 e 10 mm rispettivamente).

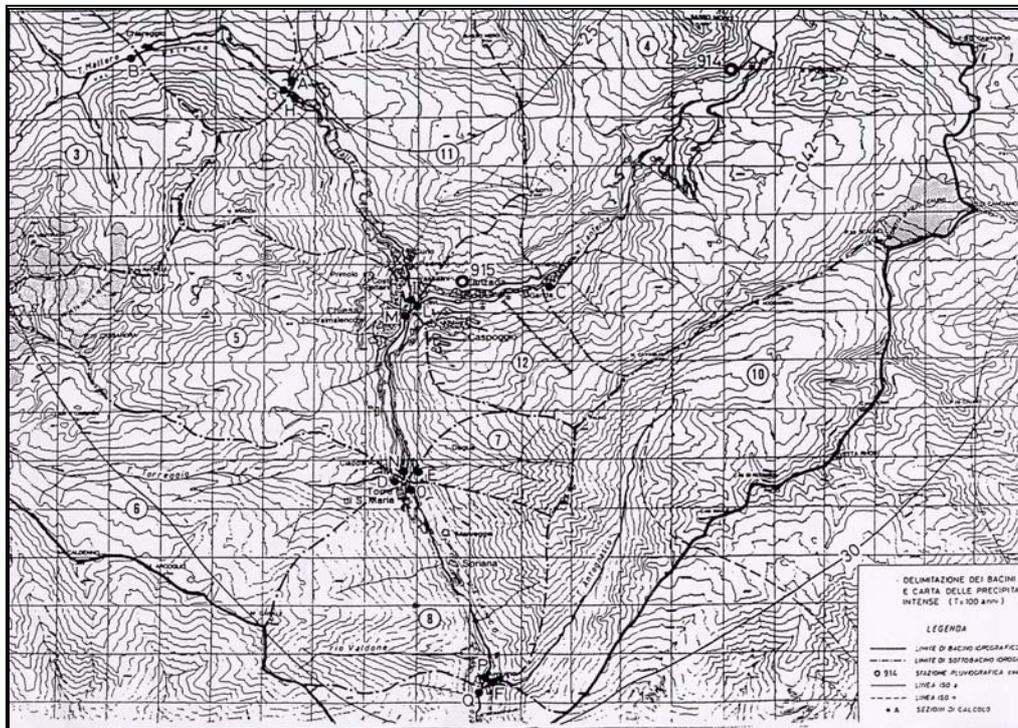
Il bacino del Mallero è stato suddiviso in 12 sottobacini e in 15 sezioni, come riportato in Figura 1, di cui sono state calcolate le aree, il tempo di corrivazione (stimato in base alle caratteristiche morfologiche), le portate al colmo e i contributi unitari di piena, relativi al tempo di ritorno di 100 anni (vedi Tabella 1).

Per il Torreggio lo studio riporta una portata centennale di 132 m³/s.

Tabella 1 – Caratteristiche dei sottobacini idrografici del t.Mallero

SOTTOBACINI IDROGRAFICI DEL TORRENTE MALLERO PORTATE AL COLMO E CONTRIBUTI UNITARI DI PIENA CALCOLATI MEDIANTE MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI (Nash n=3,K=0.25Tc)				
Nome e n. del Bacino	Area Kmq	Parametro CN TC		
		Tc ore	Cc mc/s	Cc/A mc/sKmq
7, V.di Dagua	4.65	0.54	29.34	6.3
1, T.Entovasco	7.88	0.70	46.30	5.9
6, T.Torreggio	25.23	1.06	131.98	5.2
10, T.Antognasco	29.30	1.00	140.06	4.3
3, T.Mallero	39.50	1.86	133.56	3.4
2,3, T.Mallero	56.38	1.83	187.51	3.3
1,2,3, T.Mallero	64.26	1.92	205.49	3.2
1,2,3,11, T.Mallero	89.96	2.12	260.60	2.9
4, T.Lanterna	111.50	1.89	309.44	2.8
4,12, T.Lanterna	118.68	2.13	308.38	2.6
1,2,3,4,11,12, T.Mallero	211.31	2.69	472.49	2.2
1,2,3,4,5,11,12, -----	238.34	2.90	509.62	2.1
1,2,3,4,5,6,7,11,12, -----	268.64	3.01	566.63	2.1
1,2,3,4,5,6,7,8,11,12, ----	287.27	3.24	579.94	2.0
1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12, -	316.30	3.36	623.08	2.0
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12, -	327.38	3.46	639.38	2.0

Figura 1 – Bacino del Mallero: suddivisione in sottobacini e individuazione delle sezioni di interesse



3.3 PROGETTO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA E DI VERSANTE DEL TORRENTE TORREGGIO (1990)

A seguito dell'evento alluvionale del 1987 sono stati subito intrapresi dal Genio Civile di Sondrio i lavori per la sistemazione del tronco terminale del T.Torreggio corrispondente all'attraversamento di Torre S.Maria (cunettone).

Tali lavori hanno riguardato la regimazione di circa 440 m d'alveo attuando una canalizzazione a salti di fondo con strutture in calcestruzzo completamente rivestite in pietrame. A monte di questo tratto è stata prevista una sistemazione di tipo flessibile con interposizione di una briglia selettiva a difesa del tratto canalizzato prima detto.

Il progetto di cui trattasi riguardava la sistemazione fluviale di tutto l'alveo del T.Torreggio e la stabilizzazione dei versanti in frana, in corrispondenza del tratto compreso tra la briglia selettiva prima detta fino a monte della confluenza con l'Arcogliasco.

Vengono ivi descritti i criteri generali di progettazione, gli interventi di sistemazione idraulica, i problemi legati al trasporto solido.

Gli interventi di sistemazione idraulica nel progetto generale prevedevano un sostanziale rialzamento dell'intero fondo alveo per un'altezza media di 10 m, garantita dalla costruzione di 17 briglie normali e di due bacini di accumulo, atti a conseguire al termine dei lavori una riduzione della pendenza media del fondo alveo dal 27% al 13% e la stabilizzazione del piede dei versanti in frana.

Il progetto generale è stato attuato in un primo stralcio che ha riguardato la sistemazione della parte valliva, con la realizzazione di otto briglie tra la briglia selettiva a valle e quota 980 m s.m. (ad oggi esistenti).

La portata relativa al tempo di ritorno di 100 anni adottata per il dimensionamento delle opere di progetto è di 200 m³/s. Tale valore della portata, che fornisce un contributo specifico di 8 m³/s·km², derivata da studi precedenti a quello in esame, è stato confrontato, in termini di portata specifica (coefficiente udometrico), sia con i dati ancora esistenti della stazione di Ganda di Lanzada che con quella di Scais.

Le precipitazioni più intense durante l'evento meteorico eccezionale del 17÷19 luglio 1987 si sono verificate in corrispondenza del versante orobico della Valtellina, conformemente ad una tendenza usuale. Infatti nei pluviografi di Scais e di Armisa si sono verificati afflussi meteorici massimi rispettivamente di 305 e 263 mm in 24 ore. Invece nel pluviografo di Lanzada in Val Malenco la contemporanea precipitazione massima è risultata di 124 mm in 24 ore e quindi ben minore. I contributi di piena registrati nei bacini montani di Scais e di Armisa, pur caratterizzati da precipitazioni a carattere assolutamente catastrofico, si sono mantenuti al di sotto del valore di 8 m³/s·km² prima detto. Pertanto, considerati anche i ben differenti regimi delle piogge intense tra il versante orobico e il versante opposto in cui è ubicato il Torreggio, il valore di 200 m³/s, per la portata relativa al tempo di ritorno di 100 anni, è stato considerato ampiamente cautelativo.

A scopo di verifica indiretta e cautelativa, e per il fatto che la curva di possibilità pluviometrica per il bacino del Torreggio non era nota, l'idrogramma per la verifica delle opere di progetto è stato stimato utilizzando le curva di possibilità pluviometrica di Scais.

È stato quindi determinato lo ietogramma corrispondente al bacino del

Torreggio alla sezione di chiusura, sulla base dello ietogramma tipo Chicago, considerando un intervallo di tempo di 15 minuti. Tale ietogramma ha fornito, nei 15 minuti più intensi una pioggia massima pari a 76,1 mm/h.

La pioggia netta è stata ottenuta, in linea semplificativa e cautelativa, con il metodo percentuale, considerando un coefficiente d'afflusso pari a 0,9, costante durante tutto l'evento. Tale valore è stato utilizzato per la stima delle portate relative a tempi di ritorno pari a 5, 10, 50, 100, 200, 500 anni.

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati mediante il modello di Nash (catena di n serbatoi lineari con K costante di tempo), in funzione del tempo di corrivazione del bacino. In particolare per un tempo di ritorno di 100 anni è stato utilizzato $n = 3$ e $K = 20$ minuti; è stato quindi ottenuto l'idrogramma riportato in Figura 2.

Allo stesso modo sono state calcolate le portate al colmo per diversi tempi di ritorno, come mostrato nella seguente Tabella 2.

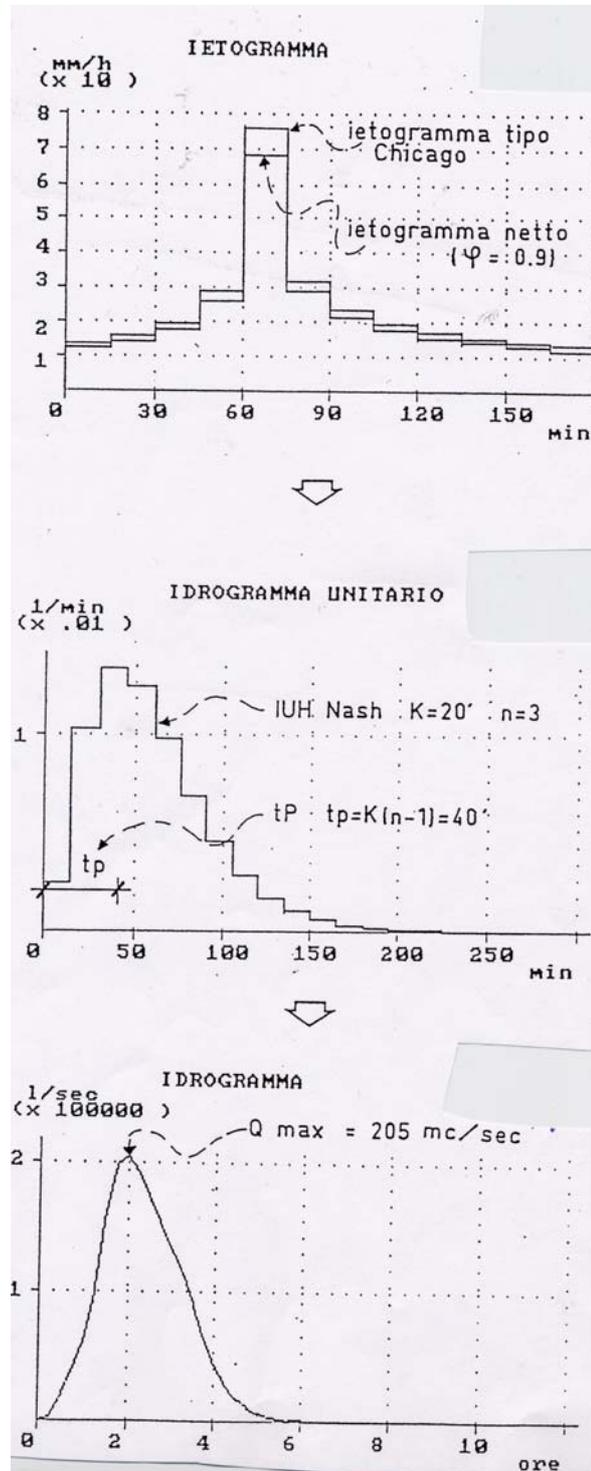
Tabella 2 – Portate di piena calcolate nello Studio del 1990

TEMPO DI RITORNO (anni)	PORTATE DI PIENA (m ³ /s)
5	135
10	155
50	195
100	205
200	230
500	250

In seguito alla determinazione dell'idrogramma di piena, sono state verificate le condizioni conseguenti al franamento dei versanti e allo scivolamento degli strati superficiali dell'alveo, arrivando a determinare il valore di 285 m³/s,

corrispondente alla portata torbida dovuta all'ipotetico innesco di debris flow nel tratto a monte dell'Arcogliasco.

Figura 2 - Ietogrammi ed idrogrammi dello Studio del 1990



3.4 PORTATE DI PIENA NEI CORSI D'ACQUA SVIZZERI

Lo studio in argomento, eseguito dai Dott. M. Spreafico e K. Stadler, fornisce informazioni statistiche riguardanti le piene osservate dal SIGN (Servizio Idrologico e Geologico Nazionale svizzero) dal 1900 fino al 1985 nei bacini imbriferi della Reuss, della Limmat, del Rodano, del Ticino, dell'Inn e dell'Adige.

Nello studio sono riportati anche i dati relativi alle osservazioni del periodo corrispondente all'evento alluvionale del 1987 che ha particolarmente sollecitato anche la zona della Val Poschiavo e del Bernina in territorio svizzero.

Dall'analisi dei dati dei bacini del Poschiavino, del Berninabach e del Rosegbach, che risultano i più vicini dal punto di vista geografico, tra tutti i bacini svizzeri analizzati nel presente studio, a quello del Torreggio, risultano valori del coefficiente udometrico ($T = 100$ anni) di 0,8, 1,2 ed 1,7 $m^3/s \cdot km^2$ rispettivamente, decisamente inferiori al valore assunto nello studio descritto nel paragrafo 3.3 precedente, pari a 8,0 $m^3/s \cdot km^2$.

In Allegato 1 sono riportate le elaborazioni delle stazioni citate. L'informazione derivante da tali dati è stata quindi aggiornata dagli scriventi mediante la consultazione dei valori sino al novembre 2001 dal sito del Servizio Idrologico e Geologico Nazionale Svizzero come descritto in relazione generale (A.01.00) e come riportato in allegato alla relazione sul trasporto solido (B.06.00).

3.5 PROGETTO DI MASSIMA DI OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SUL TORRENTE TORREGGIO (1996)

Il progetto in esame è stato commissionato dalla Regione Lombardia al Prof. Bacchi, per il completamento della sistemazione dell'alveo del Torreggio nel tratto compreso tra la quota 980 m s.m. e la confluenza con l'Arcogliasco.

L'analisi idrologica compiuta ha interessato, seppur sommariamente, anche il Torrente Mallero, in cui il Torreggio confluisce, in base alla considerazione che gli interventi di sistemazione potessero influire sul Mallero stesso fino all'abitato di Sondrio, in termini soprattutto di contributo di materiale solido.

Rispetto agli studi precedenti, l'Autore ha ricalcolato le curve di base dai dati di pioggia alla luce della maggiore disponibilità di dati.

Le portate di piena sono state stimate mediante l'applicazione di un modello afflussi-deflussi (I.U.H di corrivazione), a partire dalle elaborazioni statistiche delle misure di precipitazione intensa delle stazioni di Lanzada, Campo Moro, Sondrio e Scais fornite dal Servizio Idrografico e Mareografico e aggiornate con l'evento del 1987. La scelta delle stazioni è stata dettata sia dalla loro vicinanza all'area in esame (Sondrio e Lanzada) sia dalla presumibile omogeneità idrologica, per quella di Campo Moro (altitudine prossima a quella media del bacino del Torreggio e stesso versante). La sezione di Scais, invece, pur sita nel versante orobico, è stata inserita nella valutazione a fini cautelativi. Sono state calcolate per le stesse stazioni i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica in base all'elaborazione statistica dei dati di pioggia ricavati dagli Annali, sulle registrazioni delle precipitazioni intense dal 1930 al 1987.

Inoltre, utilizzando un modello digitale delle quote del terreno è stata inquadrata la fisiografia del bacino per perfezionare alcune considerazioni sui possibili contributi dello scioglimento nivale ai deflussi.

Lo ietogramma netto è stato calcolato con il metodo CN-SCS, considerando valori di CN pari a 81 e di 0,2 per il rapporto, c , tra la perdita iniziale, I_a , e la capacità di assorbimento massimo del terreno, S . Con queste ipotesi, il coefficiente di afflusso è risultato pari a 0,71.

L'idrogramma di progetto calcolato a partire dallo ietogramma Chicago, relativo a un tempo di ritorno di 100 anni fornisce un valore di portata di picco pari a 173 m³/s (corrispondente ad un valore di 6,9 m³/s·km² di contributo specifico).

Il risultato è inferiore di circa il 10÷15% rispetto alle calcolazioni del 1990 ma sempre alquanto superiore ai valori derivanti dalle analisi delle stazioni svizzere prossime al Mallero.

In Tabella 3 sono riportati i valori di portata per diversi tempi di ritorno.

Tabella 3 – Portate di piena calcolate nel progetto del 1996

TEMPO DI RITORNO (anni)	PORTATE DI PIENA (m ³ /s)
5	93
10	112
20	130
50	154
100	173
200	191

La stessa analisi tipo afflussi-deflussi è stata effettuata, sempre per il T.Torreggio, per una sezione a monte della confluenza del T.Arcogliasco,

ottenendo il valore di portata centennale di 140 m³/s.

A complemento delle analisi idrologiche è stato calcolato il valore della portata conseguente al collasso di uno sbarramento del corso del Torreggio dovuto ad un ipotetico smottamento in alveo. Approssimando la sezione dell'alveo con un canale rettangolare, vuoto a valle dello sbarramento, e in assenza di resistenze di fondo, data l'altezza H dell'acqua a monte dello sbarramento, i valori ricavati dall'analisi di Dam Break (modello Breccia 4 di Molinaro, 1990 e Beach di Fread, 1987) indicano portate variabili tra 190÷460 m³/s per altezze di sbarramento di 15 m e tra 65÷ 150 m³/s per altezze di sbarramento di 8 m.

Come si nota le portate di ipotetico collasso risultano paragonabili a quelle di piena centennale calcolate (nel caso di sbarramento tra 8 e 12 m) e pari a circa il doppio nel caso di sbarramento di 15 m e oltre. In relazione idraulica (B.02.00) e Generale (A.01.00) sono commentati tali dati al fine di definire le caratteristiche delle opere in progetto.

4. NUOVE ANALISI PLUVIOMETRICHE

4.1 GENERALITÀ

Nel presente progetto è stata condotta una nuova stima delle portate di piena con opportuni metodi di trasformazione afflussi - deflussi, che consentono di definire l'entità delle suddette grandezze idrauliche con assegnata probabilità di accadimento, a partire da eventi pluviometrici caratterizzati dalla medesima probabilità.

Gli eventi pluviometrici che interessano in questo tipo di studio sono quelli di breve durata e forte intensità. Per definire le altezze di precipitazione corrispondenti a tali eventi pluviometrici vengono utilizzate le cosiddette curve di possibilità pluviometrica (CPP), elaborate a partire dalle registrazioni di altezza di pioggia effettuate nelle stazioni pluviometriche significative.

Detta h l'altezza di precipitazione in mm, la tecnica idrologica abituale fornisce, per le curve di possibilità pluviometrica, una relazione dal tipo:

$$h = a t^n$$

dove t è la durata della pioggia in ore ed a e n sono i parametri delle CPP che esprimono la dipendenza dal tempo di ritorno T , a sua volta definito come numero di anni in cui l'altezza di pioggia calcolata viene raggiunta o superata una sola volta.

Per il calcolo idrologico di dimensionamento di un sistema di drenaggio occorre assegnare il valore del tempo di ritorno T .

Una indagine idrologica basata su criteri di trasformazione afflussi-deflussi può essere effettuata per zone in cui siano disponibili sufficienti dati pluviometrici, in cui siano cioè funzionanti da un sufficiente numero di anni pluviografi

registratori.

Nel caso in cui siano effettivamente disponibili serie storiche affidabili in termini statistici (quindi numerose), si può effettuare l'analisi dei dati pluviometrici per determinare le CPP.

Nel caso in esame sono state rielaborate le statistiche dei dati del “Progetto di massima di opere di sistemazione idraulica sul Torrente Torreggio” del 1996, con riferimento alla stazione di Lanzada, ritenuta come detto in premessa ed alla luce di quanto in seguito, la più idonea tra le stazioni del S.I.I. a descrivere la pluviometria del bacino del Torreggio.

4.2 I DATI PLUVIOMETRICI DISPONIBILI

I dati pluviometrici disponibili per la zona in esame sono costituiti da:

- i dati del servizio idrografico nazionale;
- i dati forniti dal Centro di Monitoraggio Geologico della Regione Lombardia (Territorio e Urbanistica) relativi agli anni 1987÷2005.

Data l'importanza della corretta caratterizzazione pluviometrica dell'area, nonché l'esigenza di evitare inutili sovradimensionamenti delle opere, e date l'importanza e la specificità dei dati raccolti dalla rete di monitoraggio della Regione, essi sono stati analizzati e confrontati per le varie elaborazioni descritte in seguito.

Il Centro di Monitoraggio Geologico è stato istituito dalla Regione Lombardia a seguito dell'alluvione del 1987. Esso gestisce le reti di rilevamento, dati di tipo geologico, geotecnico e idrometeorologico, predisposte fin dal 1987 per il controllo del territorio della Valtellina e la previsione delle catastrofi. I dati sono forniti su supporto informatico, dove sono memorizzati, sia in forma

sintetica che in forma analitica, in particolare:

- le piogge cumulate giornaliere per ogni anno (dal 1987 al 2005);
- le registrazioni dei pluviometri ogni 30 minuti, espresse in mm;
- le registrazioni degli idrometri ogni 30 minuti, espresse in cm.

I dati sono relativi a più stazioni che appartengono a differenti bacini:

Torreggio - Mallero, torrente Lanterna, torrente Bormina - Viola, torrente Frodolfo, fiume Adda.

Complessivamente la rete di misura è costituita da 38 stazioni, con 9 nivometri, 28 pluviometri, 29 termometri aria e 14 idrometri.

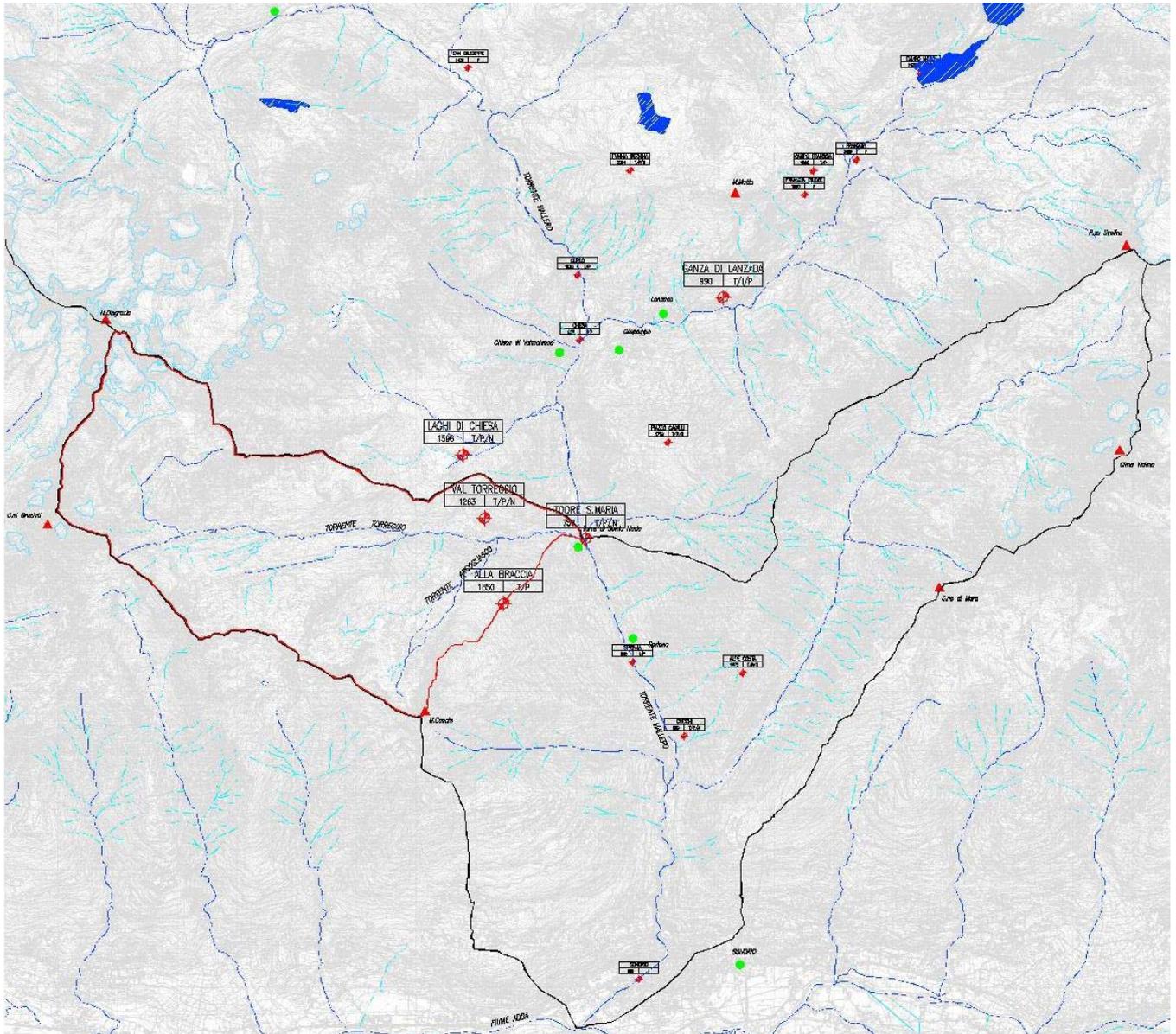
Nel bacino del Torreggio è presente una stazione di misura con un nivometro, tre termometri aria e un pluviometro (funzionante dal 26 aprile 1999) nella zona “Val Torreggio - Torre”, a quota 1'283 m s.m. (coronamento zona ex-cava frana B).

Le stazioni pluviometriche del bacino del T.Mallero più vicine, dal punto di vista geografico e altimetrico, al bacino del Torreggio, considerate nelle elaborazioni successive sono le seguenti:

- Alla Braccia (quota 1'650 m s.m.),
- Ganda di Lanzada (quota 990 m s.m.),
- Laghi di Chiesa (quota 1'596 m s.m.),
- Torre Santa Maria (quota 750 m s.m.).

La posizione delle stazioni è riportata nella tavola T.01.00 e nella seguente Figura 3.

Figura 3 – Localizzazione delle stazioni di misura del Centro di Monitoraggio della Lombardia



Allo scopo di verificare il grado di correlazione tra le stazioni elencate e quella del Torreggio, sono state analizzate e confrontate tra loro, in primo luogo, le piogge cumulate giornaliere degli anni 1999÷2005. Tale confronto, che ha permesso di verificare la distribuzione spaziale delle piogge, è riportato nel paragrafo 4.3.

In seguito sono stati individuati gli eventi pluviometrici più intensi registrati

nel periodo 1987÷2005 dalle stazioni in esame. Tali eventi sono stati confrontati per tutte le stazioni considerate fino al 2000 e per la sola stazione di Lanzada fino al 2005, per verificarne più in dettaglio la correlazione in termini di distribuzione spaziale delle piogge intense e di intensità massima (paragrafo 4.4). Infine è stata analizzata la correlazione tra questi eventi intensi e le registrazioni idrometriche del Mallero a Torre Santa Maria (paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

4.3 ANALISI E CONFRONTO DELLE PIOGGE CUMULATE GIORNALIERE

Per verificare la correlazione in media annua tra le stazioni considerate (Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria) e la stazione di Val Torreggio, si è proceduto a un confronto tra i dati di pioggia giornaliera registrati negli anni 1999 e 2000 (che sono gli unici anni di registrazione a disposizione per la stazione del Torreggio), forniti dal Centro Monitoraggio Geologico. Tale confronto, realizzato in occasione del progetto preliminare del 2001, è stato esteso, per il presente progetto definitivo, agli anni 2001÷2005 per le stazioni di Torreggio e Ganda di Lanzada.

Nelle seguenti Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7 è riportato, per gli anni 1999 e 2000, l'andamento delle piogge nelle diverse stazioni (Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria), a confronto con quelle registrate nella stazione di Val Torreggio. Come detto, per la stazione di Ganda di Lanzada - per la quale le analisi condotte nel 2001 in occasione del progetto preliminare avevano mostrato la buona corrispondenza con quella di Val Torreggio -, il confronto è stato esteso agli anni 2001÷2005. I risultati sono riportati nelle successive Figura 8, Figura 9 e Figura 10.

Figura 4 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 1999÷2000 nelle stazioni di Alla Braccia e Val Torreggio

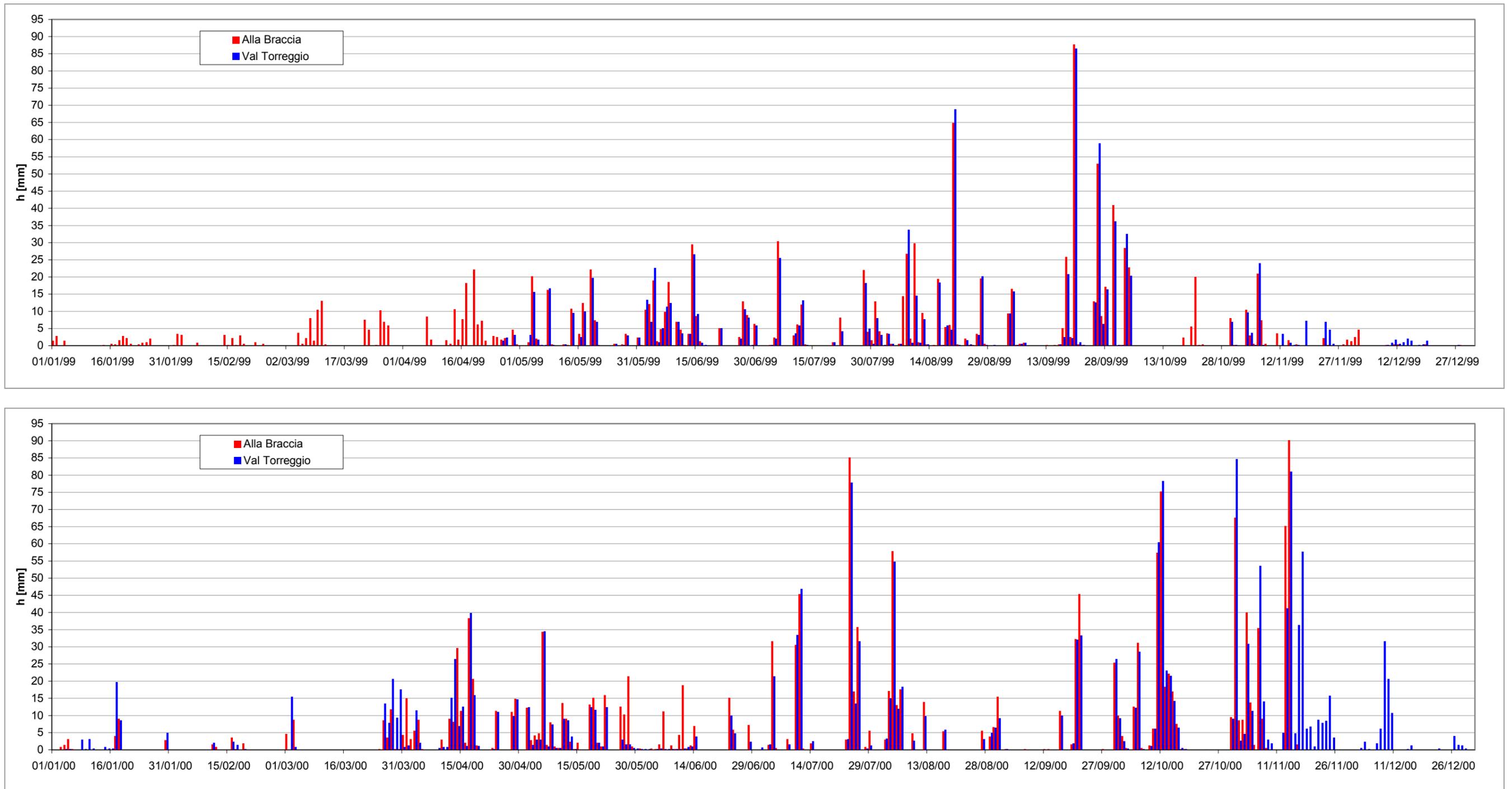


Figura 5 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 1999÷2000 nelle stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio

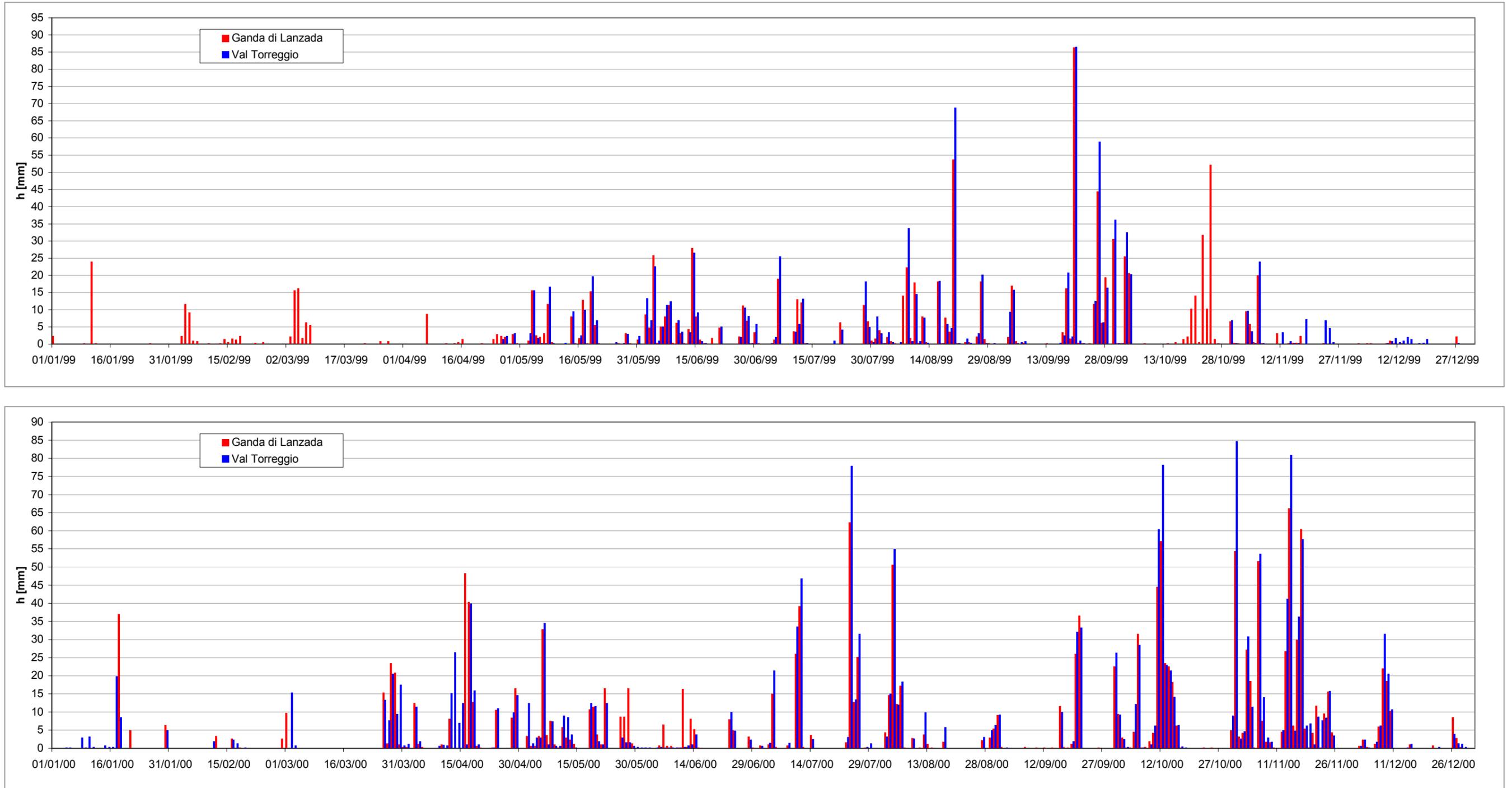


Figura 6 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 1999÷2000 nelle stazioni di Laghi di Chiesa e Val Torreggio

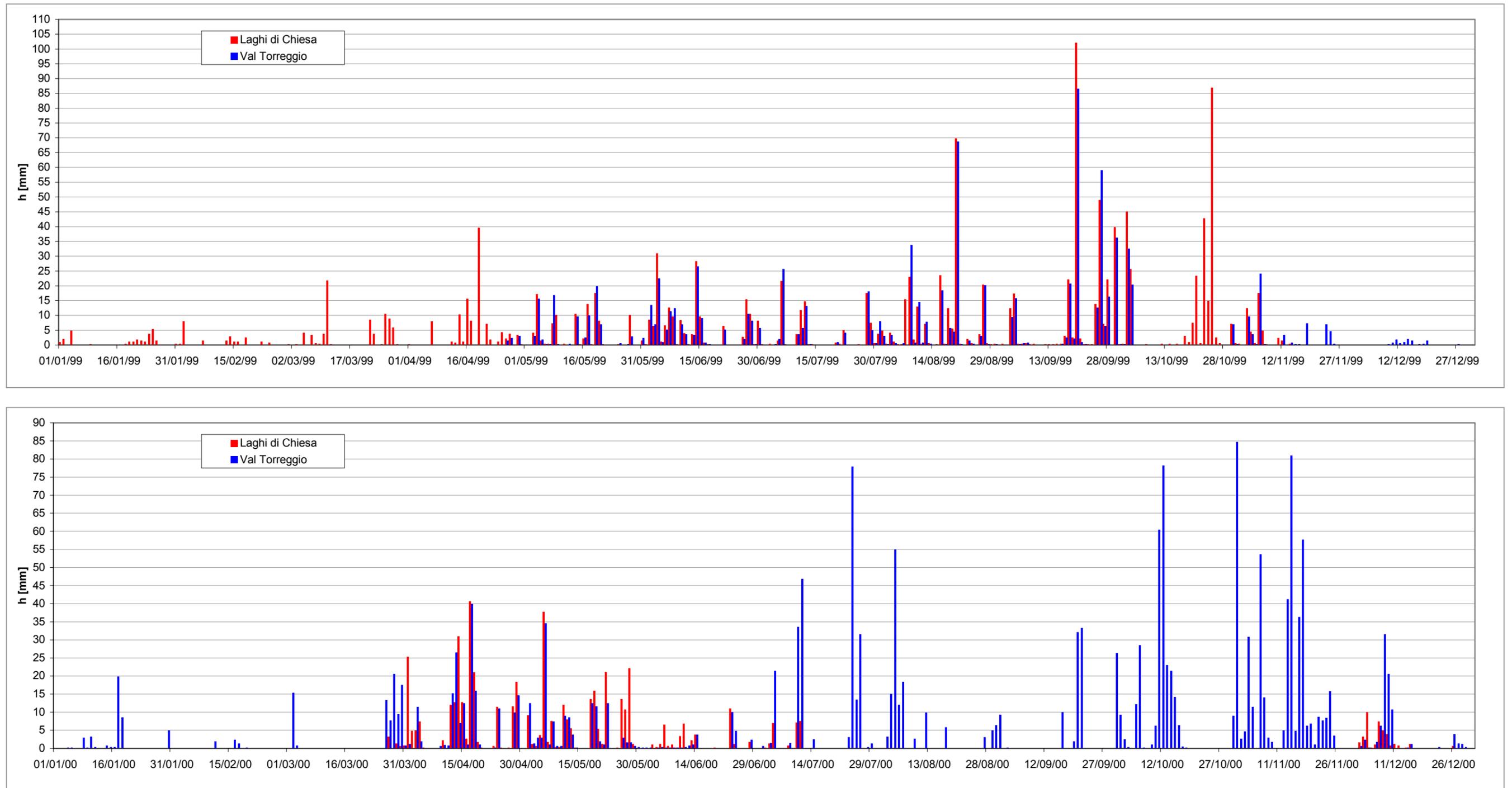


Figura 7 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 1999÷2000 nelle stazioni di Torre S.Maria e Val Torreggio

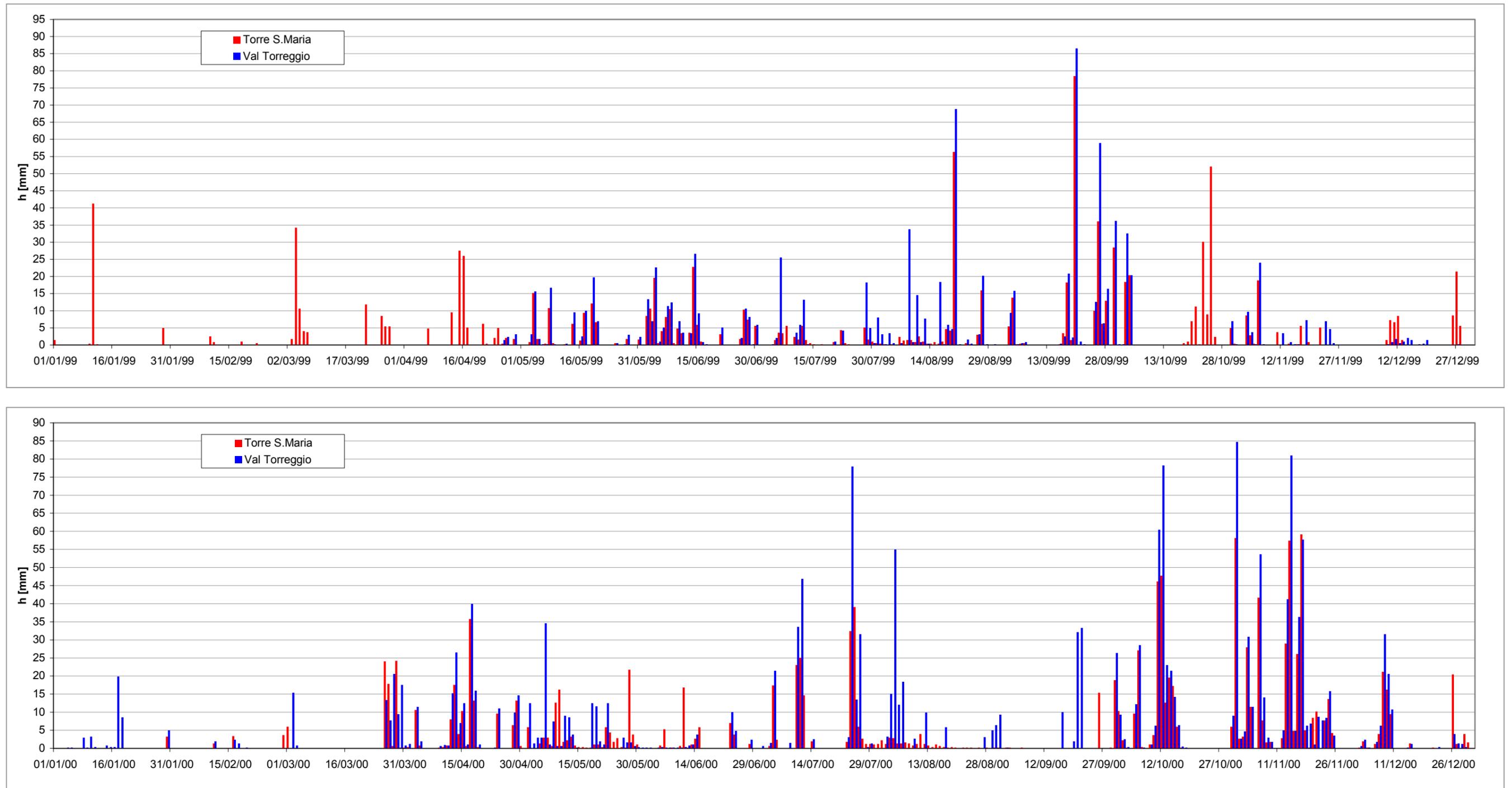


Figura 8 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 2001÷2002 nelle stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio

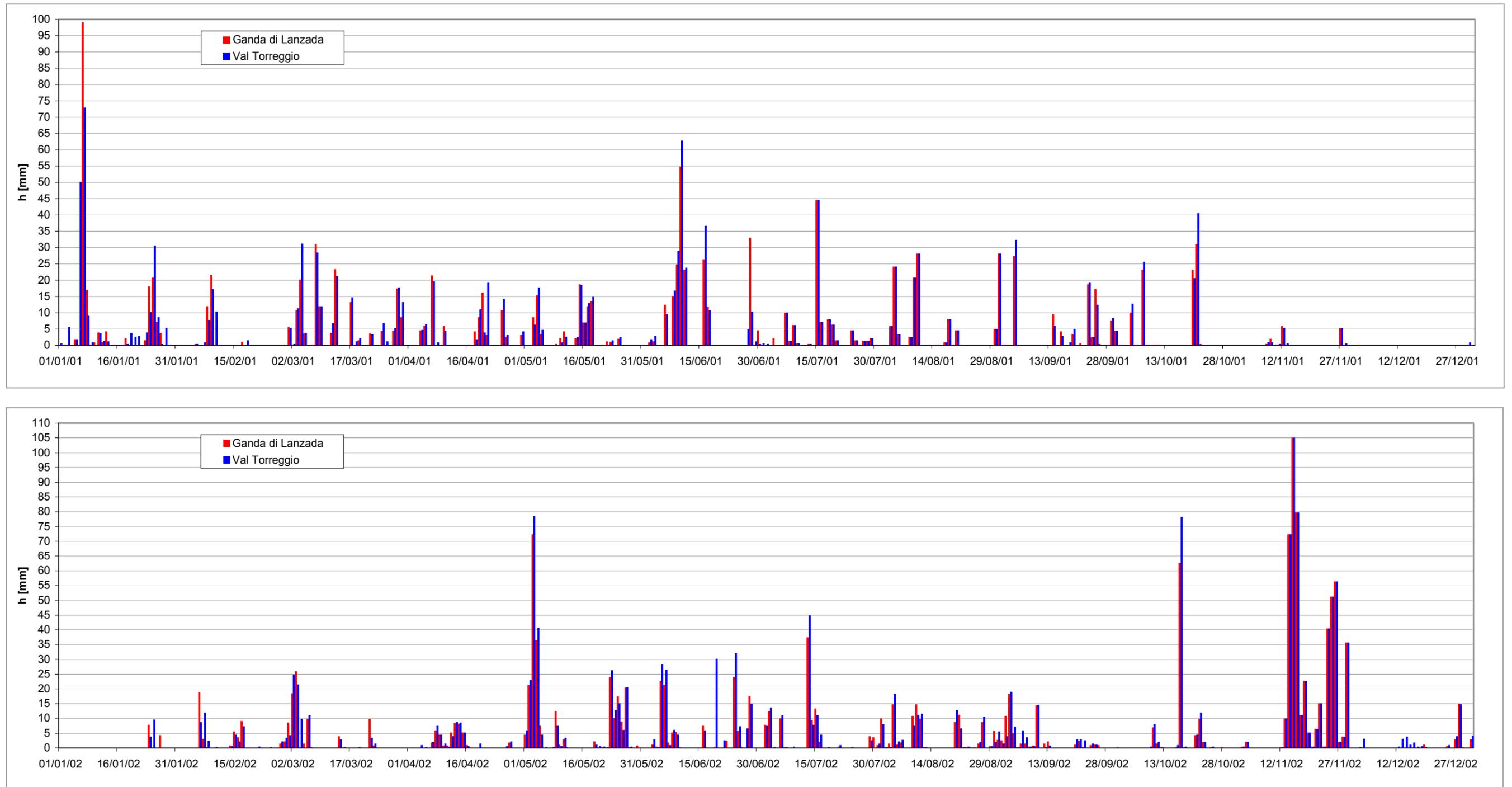


Figura 9 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati negli anni 2003÷2004 nelle stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio

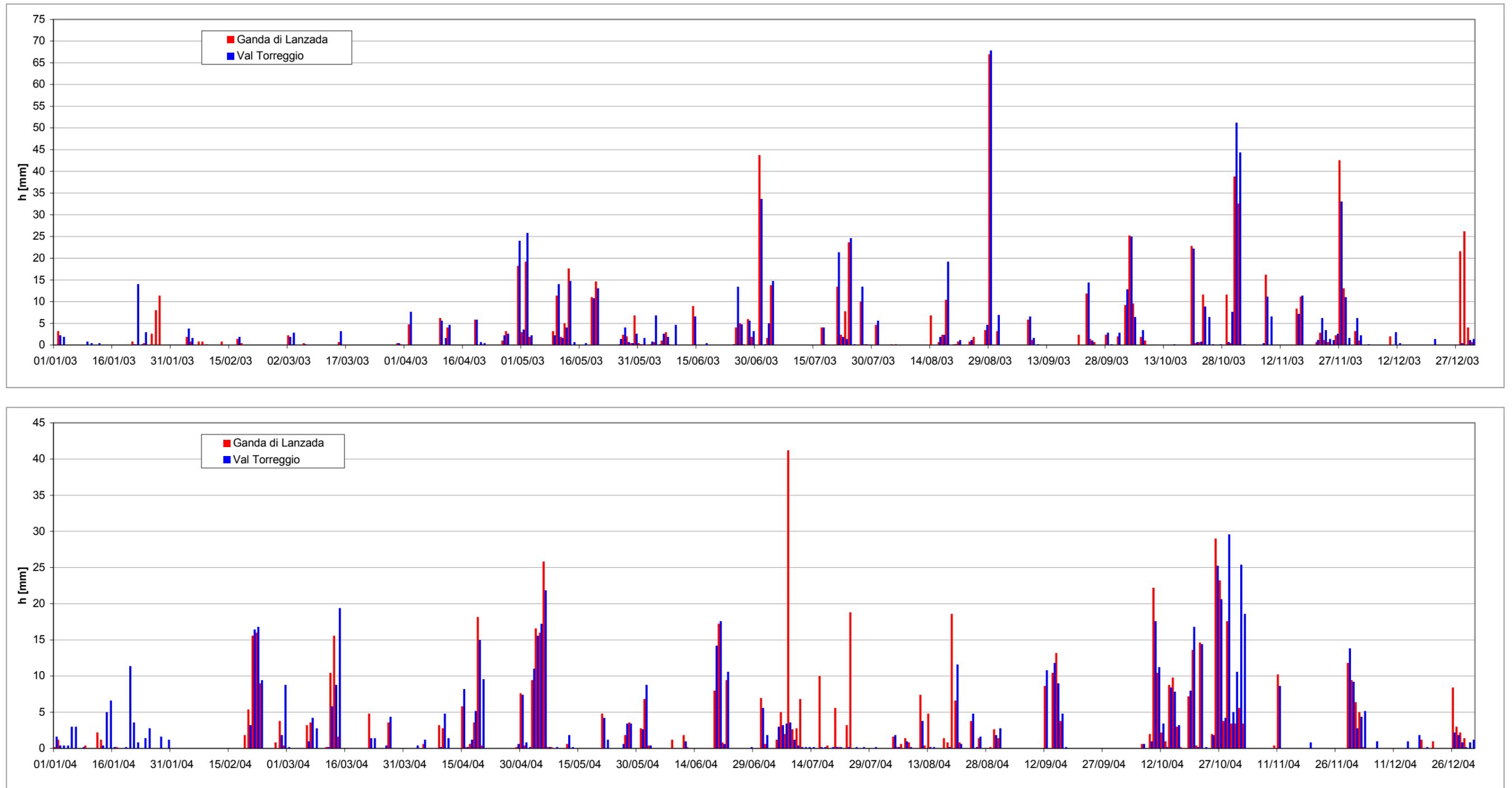
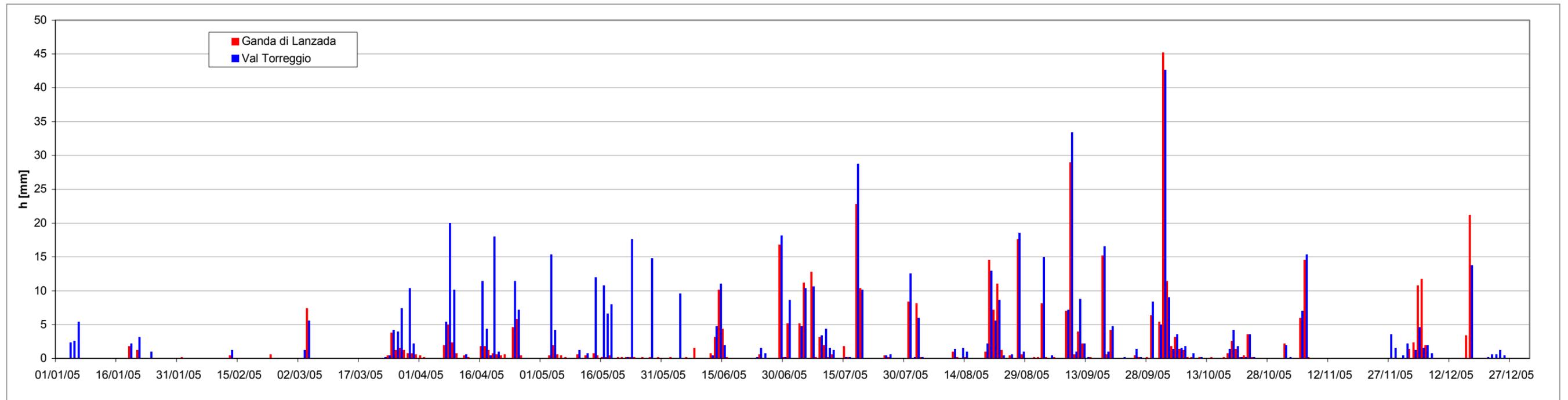


Figura 10 – Confronto dei valori di pioggia cumulata giornaliera registrati nell'anno 2005 nelle stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio



Dall'analisi svolta risulta che la distribuzione temporale delle piogge è omogenea, tranne che in rarissimi casi, per i quali si possono condurre le seguenti considerazioni:

- non sono disponibili i confronti per il periodo compreso tra l'inizio dell'anno 1999 e il mese di maggio, in quanto la stazione Val Torreggio inizia a registrare appunto da maggio; da maggio a settembre si riscontrano variazioni mediamente dell'ordine del 20% con le stazioni di Alla Braccia (Figura 4) e di Laghi di Chiesa (Figura 6), del 30% circa maggiori per Val Torreggio rispetto a Ganda di Lanzada (Figura 5) e variazioni del 30÷40% in più per la stazione di Torreggio rispetto a Torre S.Maria (Figura 7). Ciò indica che mediamente da maggio a settembre 1999, ha piovuto meno a Torre S.Maria e mediamente di più a Val Torreggio;
- in corrispondenza del mese di ottobre del 1999, si riscontra una mancanza di dati nelle registrazioni della stazione del Val Torreggio;
- per il 2000, non è possibile un confronto con la stazione di Alla Braccia dopo la metà di novembre e fino alla fine dell'anno, in quanto non sono presenti registrazioni in quel periodo (Figura 4); allo stesso modo non si dispone di registrazioni nel periodo gennaio-aprile e luglio-novembre per Laghi di Chiesa (Figura 6);
- nell'anno 2000 (eccetto i dati mancati sopra citati) si notano variazioni mediamente dell'ordine del 10% circa per tutte le stazioni confrontate; con esclusione degli eventi che vanno dalla fine di maggio a metà giugno. In tale periodo per tutte le stazioni si ha un andamento omogeneo che si mantiene maggiore di circa il 30% rispetto alle registrazioni del Val

Torreggio;

- per quanto riguarda gli anni 2001÷2004 – per i quali, come detto, si è operato il confronto solo tra Val Torreggio e Ganda – , si riscontra ancora un andamento omogeneo nelle registrazioni, con qualche scostamento fino al 20% senza una reale tendenza. Tale scostamento, infatti, risulta a volte in positivo per Val Torreggio, a volte per Ganda;
- per quanto riguarda l'anno 2005, si registrano sensibili differenze tra quanto registrato nei due pluviometri nei mesi di aprile e maggio.

In sintesi risulta che gli andamenti delle registrazioni pluviometriche di Ganda, Torre S.Maria, Laghi di Chiesa, Alla Braccia sono ben in sintonia tra loro e con la stazione del Val Torreggio.

Come detto, poiché la stazione di Ganda di Lanzada è quella che meglio si è mostrata, nelle prime analisi effettuate nel 2001, in sintonia con gli eventi registrati in Val Torreggio (anche per quello che riguarda le piogge intense di cui al successivo capitolo), si è confrontato poi anche l'andamento delle altezze cumulate giornaliere di Val Torreggio e Ganda di Lanzada anche per gli anni 2001÷2005. Questa analisi ha confermato la rappresentatività della stazione di Ganda di Lanzada riguardo alle precipitazioni della Val Torreggio (le cui registrazioni sono comunque ancora troppo poche per poter essere utilizzate per l'estrapolazione delle curve di possibilità pluviometrica).

4.4 ANALISI DEGLI EVENTI PLUVIOMETRICI INTENSI

Come già accennato, le registrazioni dei pluviometri della Regione sono riportate ogni 30 minuti; è stato quindi possibile analizzare tutti gli eventi pluviometrici registrati per gli anni 1987÷2005 e individuare in dettaglio quelli

più intensi con durata paragonabile al tempo di corrivazione del bacino del Torreggio (tra 0,5 e 1,5 ore).

Anche se l'intervallo di tempo tra due rilevazioni successive è normalmente di trenta minuti, sono tuttavia presenti intervalli anche orari e interruzioni nelle registrazioni. Per questo è stato fatto uno screening preventivo di tutti i dati per eliminare quegli eventi che non presentavano registrazioni con frequenza regolare e dati anomali (es. picchi isolati – preceduti da numerosi dati a valore zero – dovuti probabilmente a una lettira cumulata di più dati). I valori anomali, ancorchè possibilmente “interessanti” dal punto di vista del loro valore, sono stati esclusi dalle analisi, per evitare possibili “contaminazioni” con dati non verificabili.

Analogamente a quanto fatto per i valori cumulati giornalieri, in occasione delle elaborazioni del progetto preliminare del 2001 sono stati analizzati gli anni 1999 e 2000, per verificare l'eventuale omogeneità tra la stazione di Val Torreggio e le stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S. Maria. Confermata la buona analogia tra Val Torreggio e Ganda, in occasione del presente progetto definitivo sono state approfondite le analisi aggiornando i dati con le registrazioni degli anni 2001÷2005.

L'analisi descritta è servita a:

- ricercare una stazione che potesse rappresentare il bacino del Torreggio, prendendo come riferimento i due anni di registrazione in comune con la stazione di Val Torreggio;
- confrontare le portate ricavabili a partire dalle piogge registrate con le portate registrate nel T.Mallero.

Nello studio compiuto sono stati analizzati tutti gli eventi registrati, quindi sono stati individuati gli eventi più significativi di ogni anno, posti a confronto nelle figure delle pagine seguenti. Per gli anni 1999 e 2000 i confronti sono tra Val Torreggio e ciascuna delle altre quattro stazioni considerate, mentre per gli anni 2001÷2005 il confronto è tra Val Torreggio e Ganda di Lanzada.

Gli eventi considerati significativi sono riportati in Tabella 4, in cui sono indicati anche i corrispondenti numeri dei grafici di confronto.

Tabella 4 – Eventi significativi analizzati per gli anni 1999÷2005

Intervallo orario	Giorno	Mese	Anno	RIF. Figura
0.00÷24.00	4	Maggio	1999	Figura 11
0.00÷24.00	3	Giugno	1999	Figura 12
0.00÷24.00	20	Agosto	1999	Figura 13
12.00÷12.00	20	Settembre	1999	Figura 14
0.00÷24.00	25÷27	Settembre	1999	Figura 15
0.00÷6.00	24÷25	Luglio	2000	Figura 16
12.00÷12.00	20÷21	Settembre	2000	Figura 17
0.00÷24.00	11÷12	Ottobre	2000	Figura 18
0.00÷24.00	14÷16	Ottobre	2000	Figura 19
0.00÷24.00	13÷14	Novembre	2000	Figura 20
0.00÷24.00	16÷17	Novembre	2000	Figura 21
0.00÷24.00	07÷09	Gennaio	2001	Figura 22
12.00÷12.00	08÷11	Giugno	2001	Figura 23
02.00÷02.00	24÷25	Giugno	2002	Figura 24
04.30÷04.30	28÷30	Agosto	2003	Figura 25

Figura 11 – Evento pluviometrico del 04-maggio-1999. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

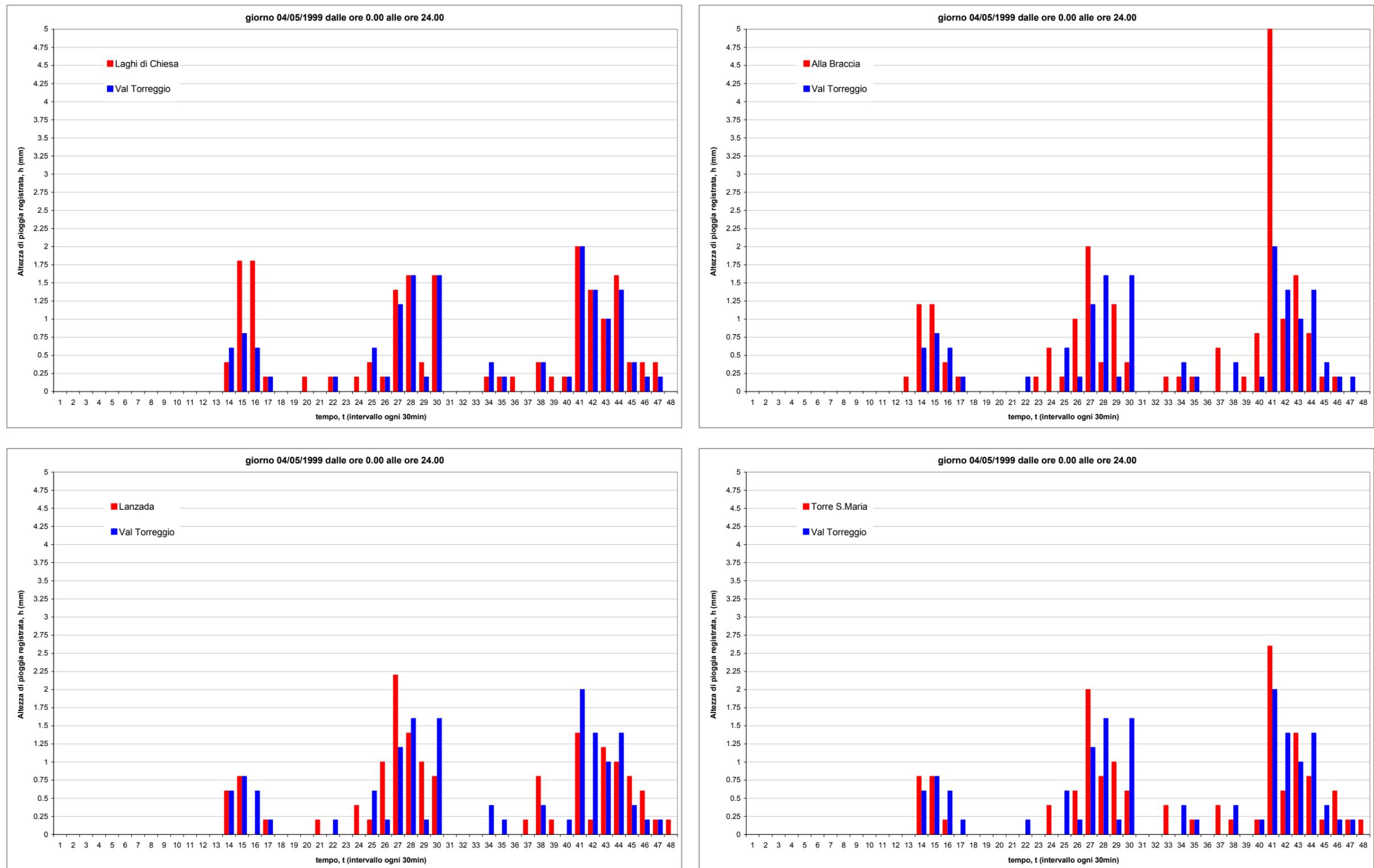


Figura 12 – Evento pluviom. del 03÷04-giugno-1999. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

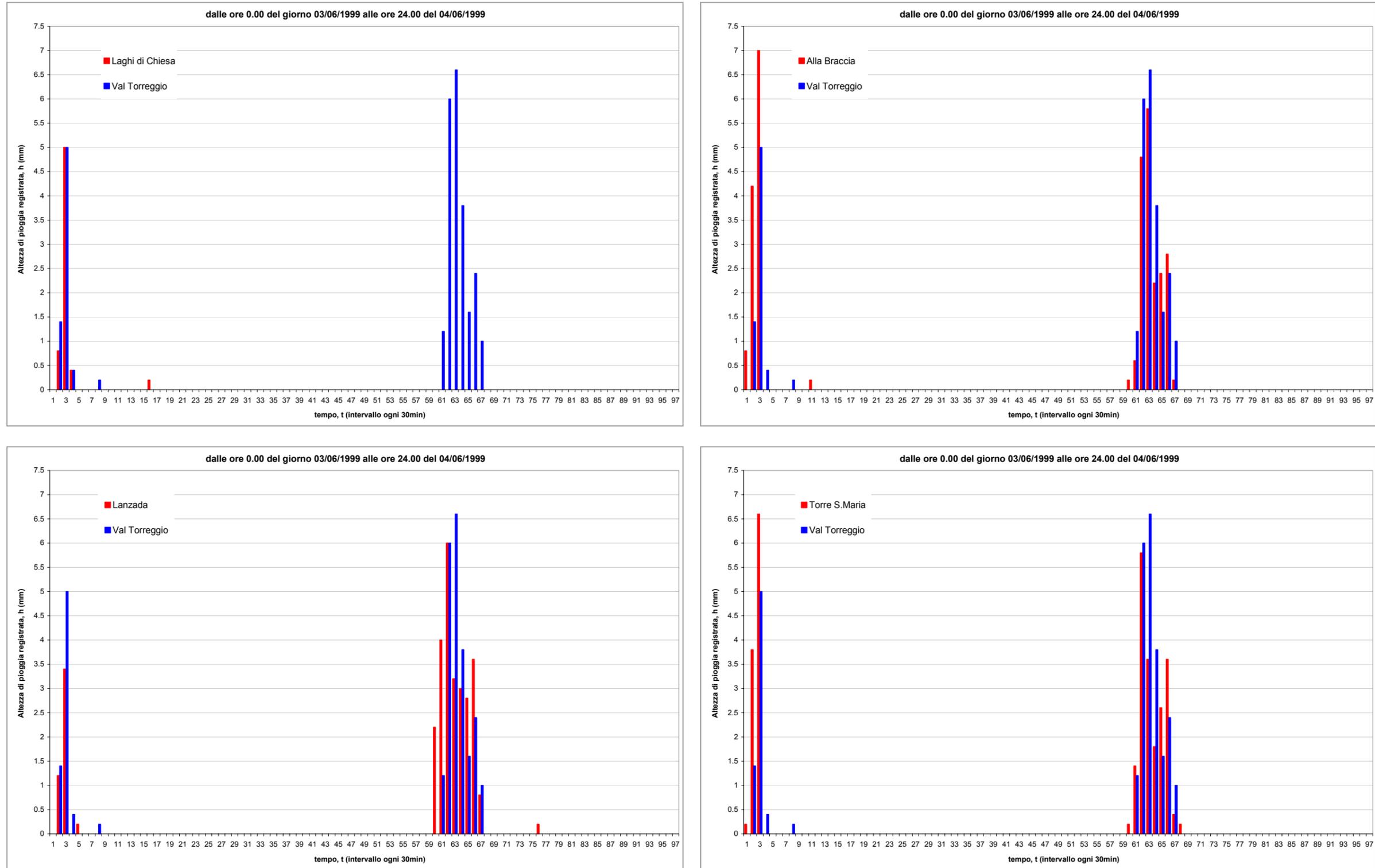


Figura 13 – Evento pluviometrico del 20-agosto-1999. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

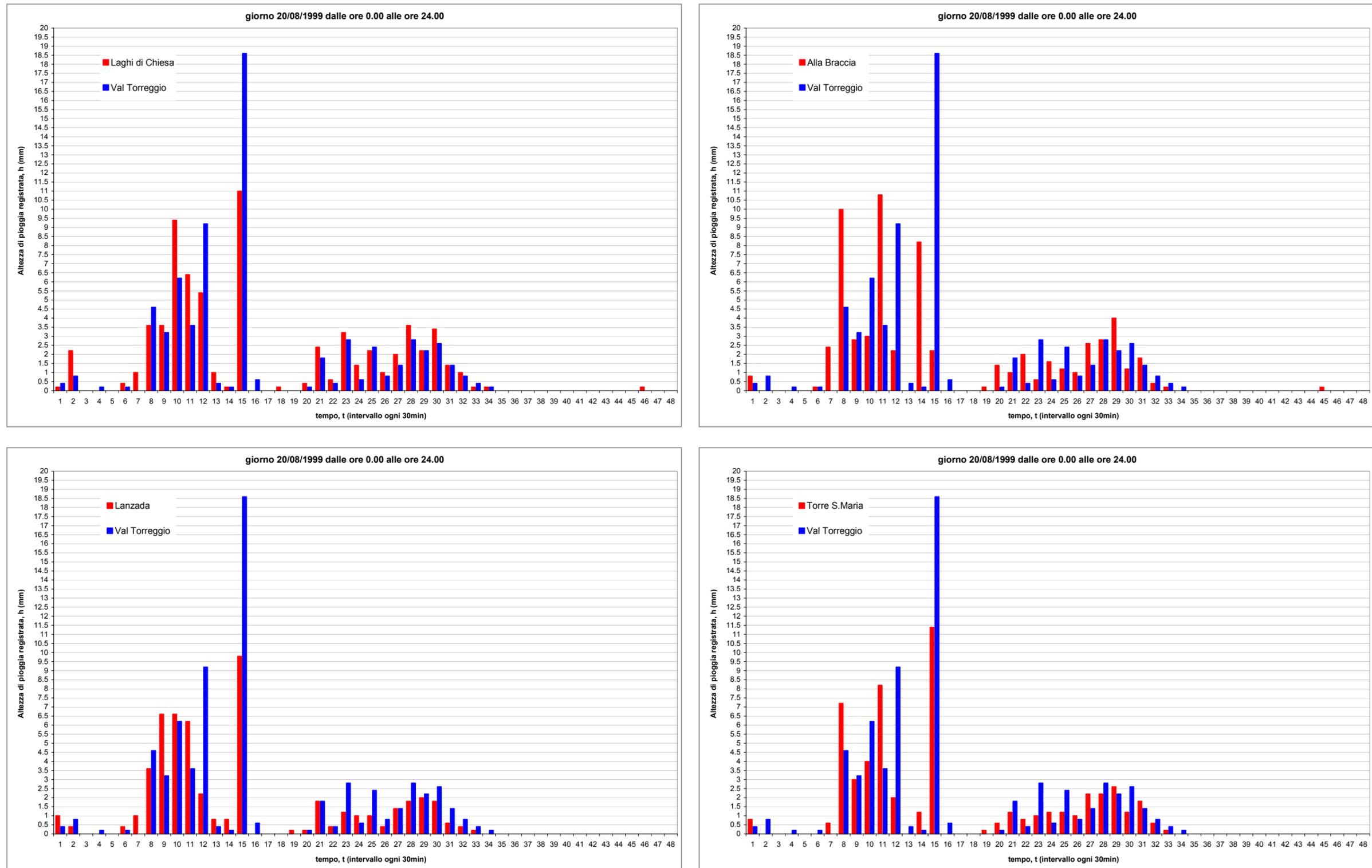


Figura 14 – Evento pluviom. del 20-settembre-1999. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

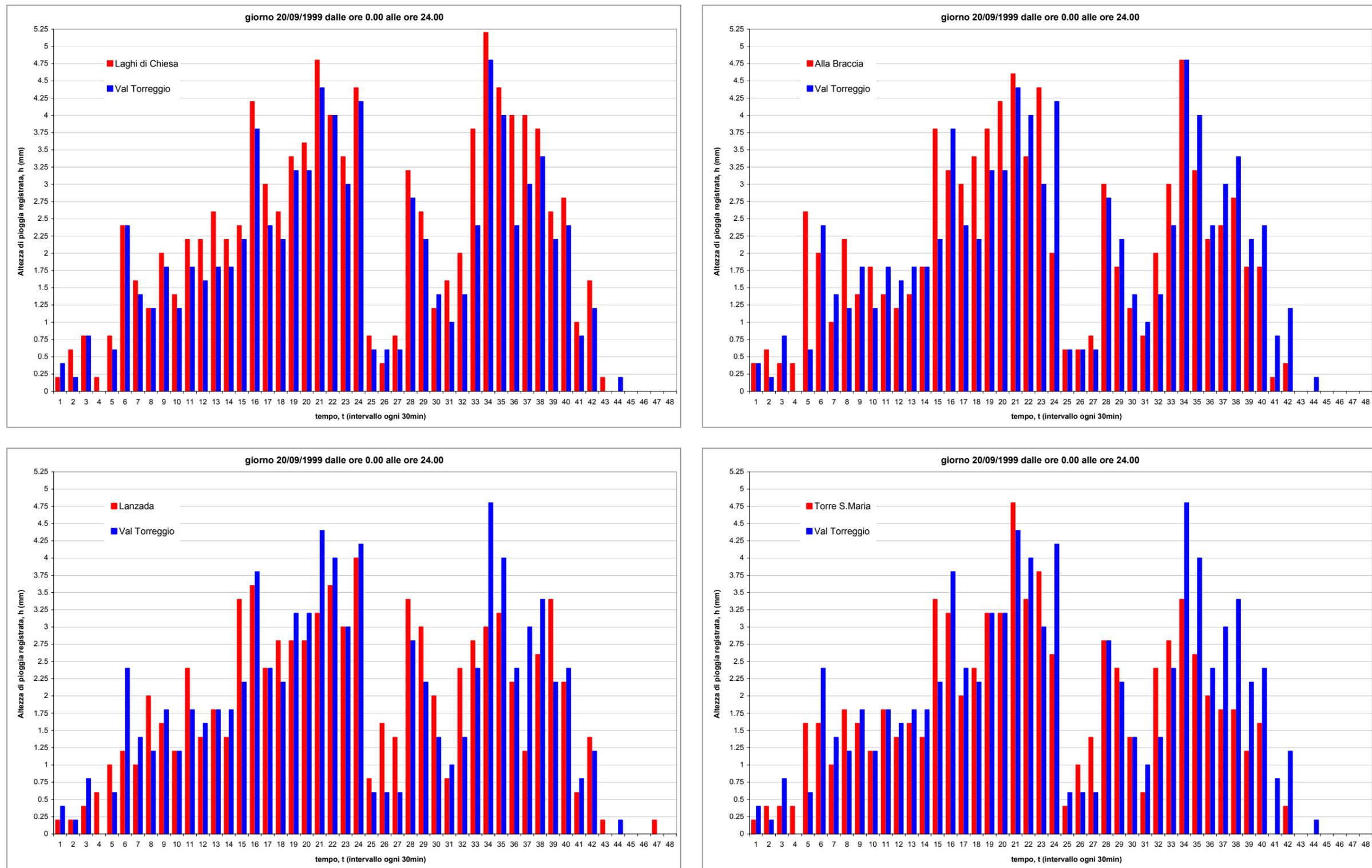


Figura 15 – Evento pluviom. del 25÷27-settembre-1999. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

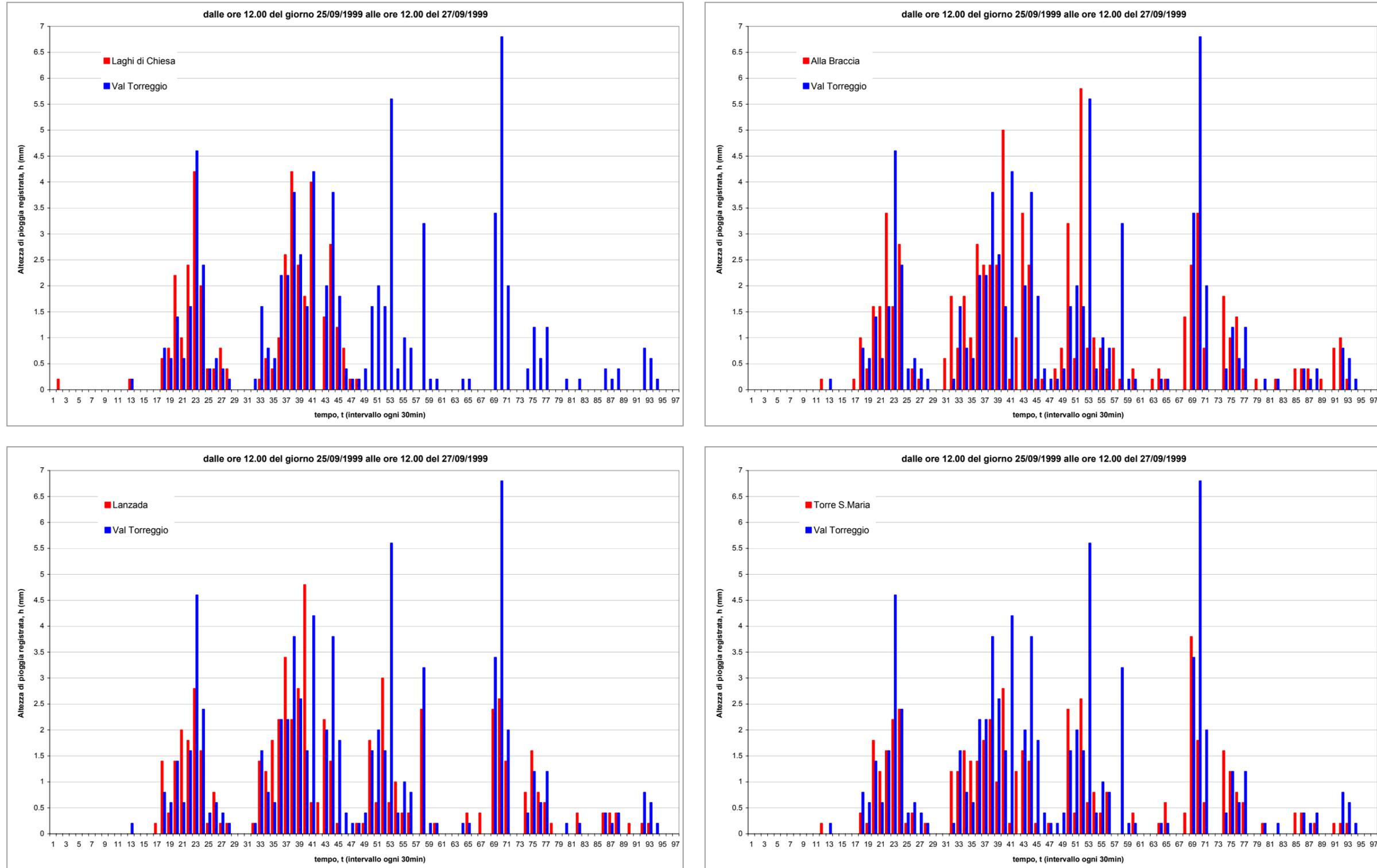


Figura 16 – Evento pluviom. del 24÷25-luglio-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

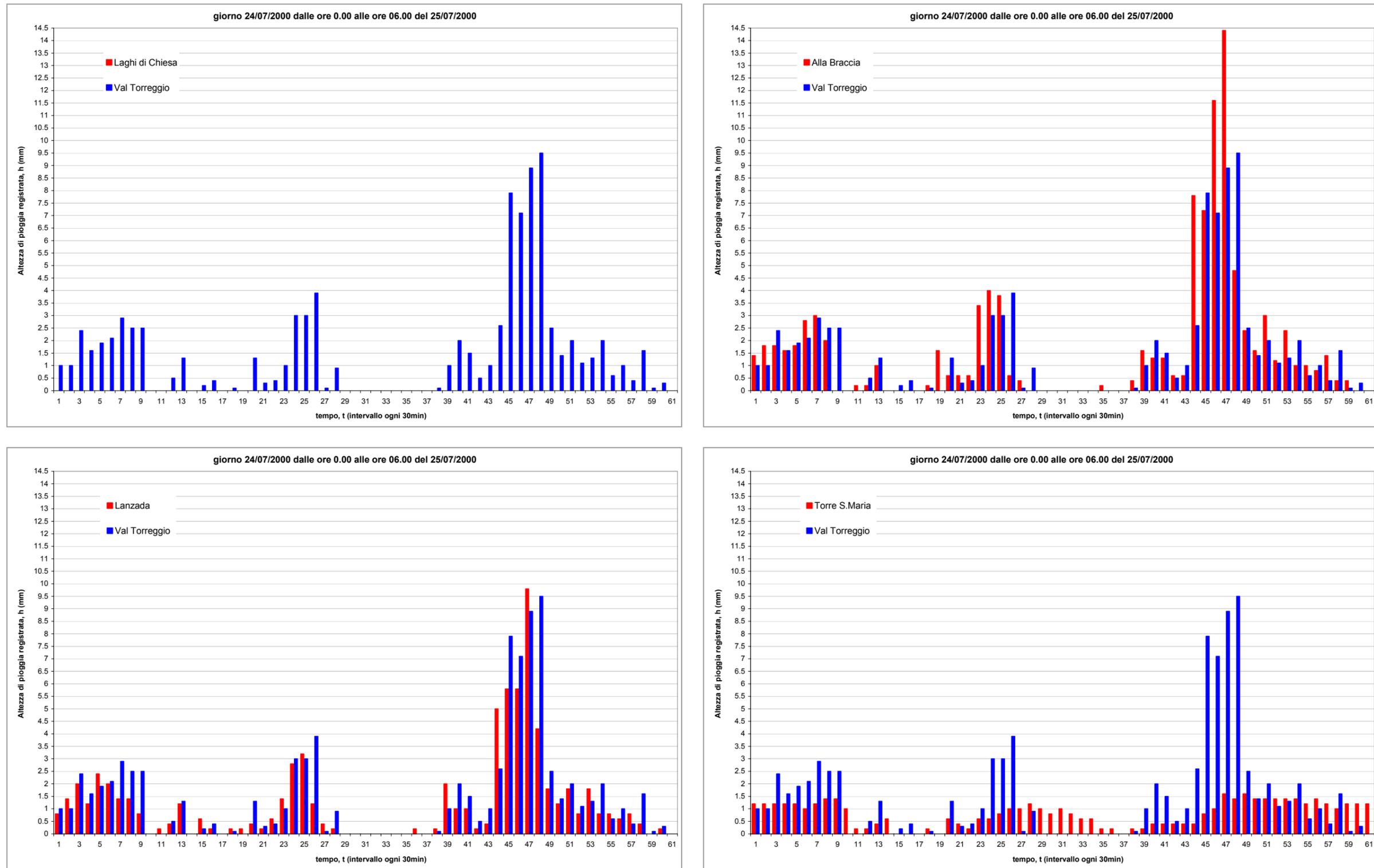


Figura 17 – Evento pluviom. del 20÷21-settembre-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

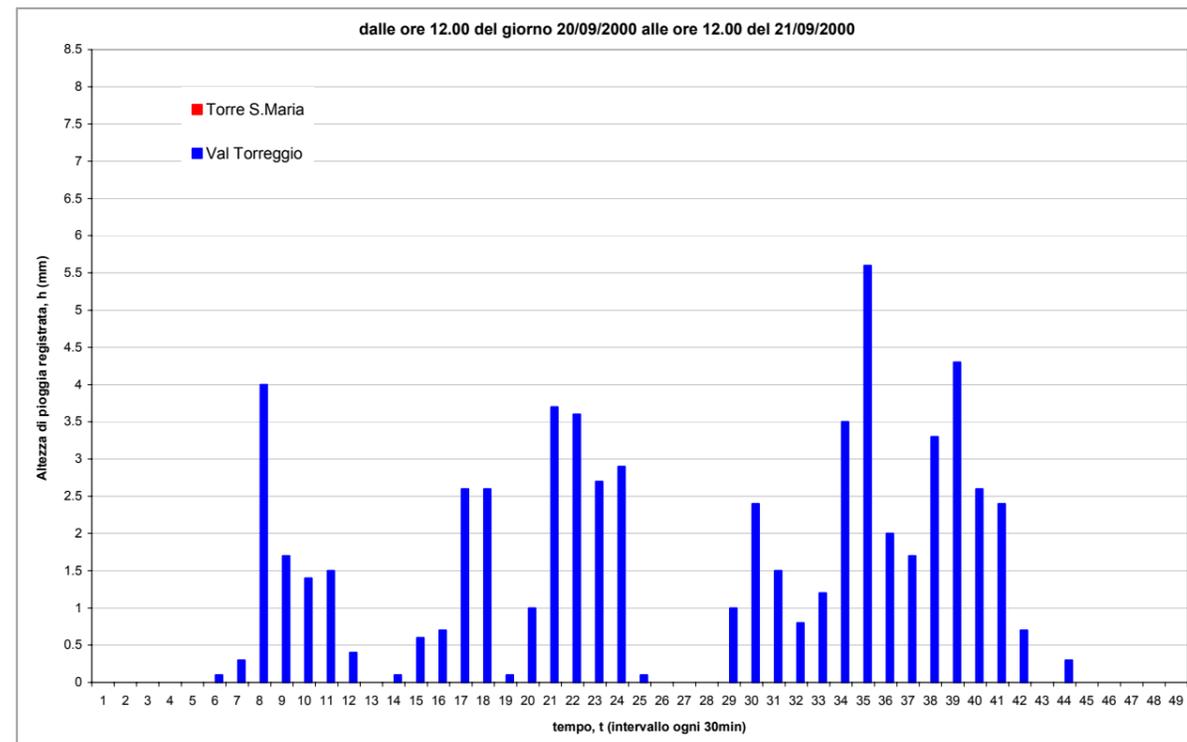
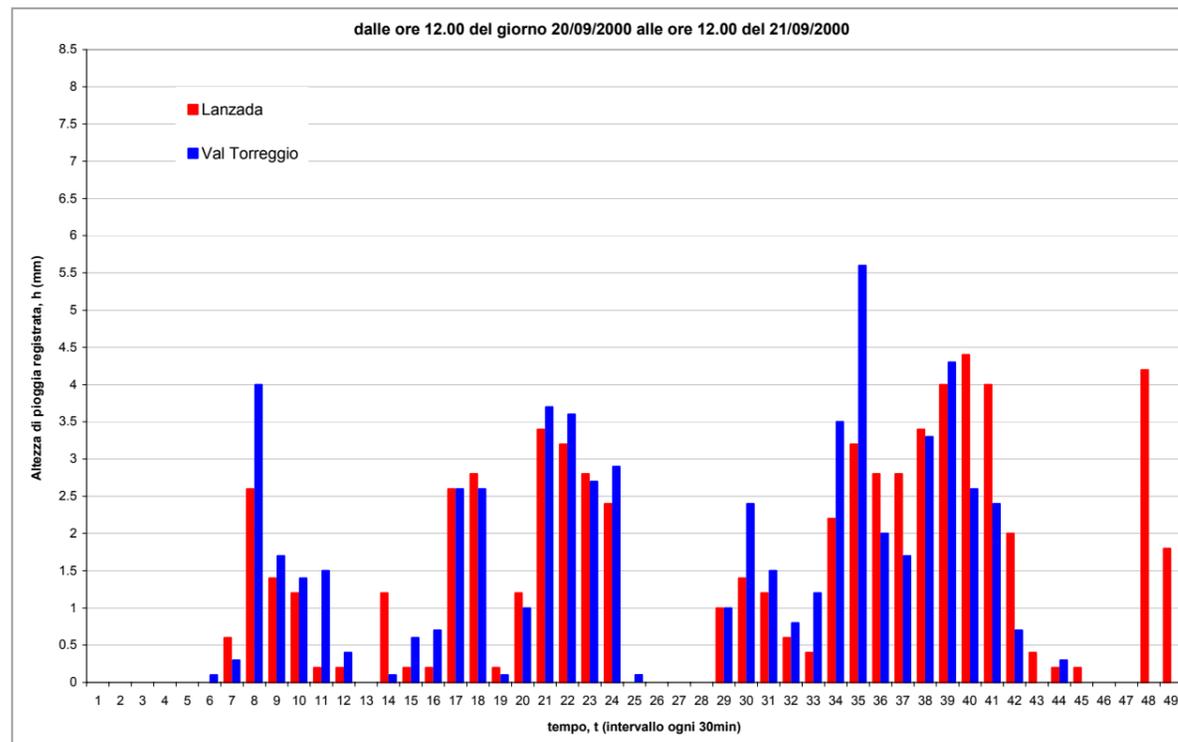
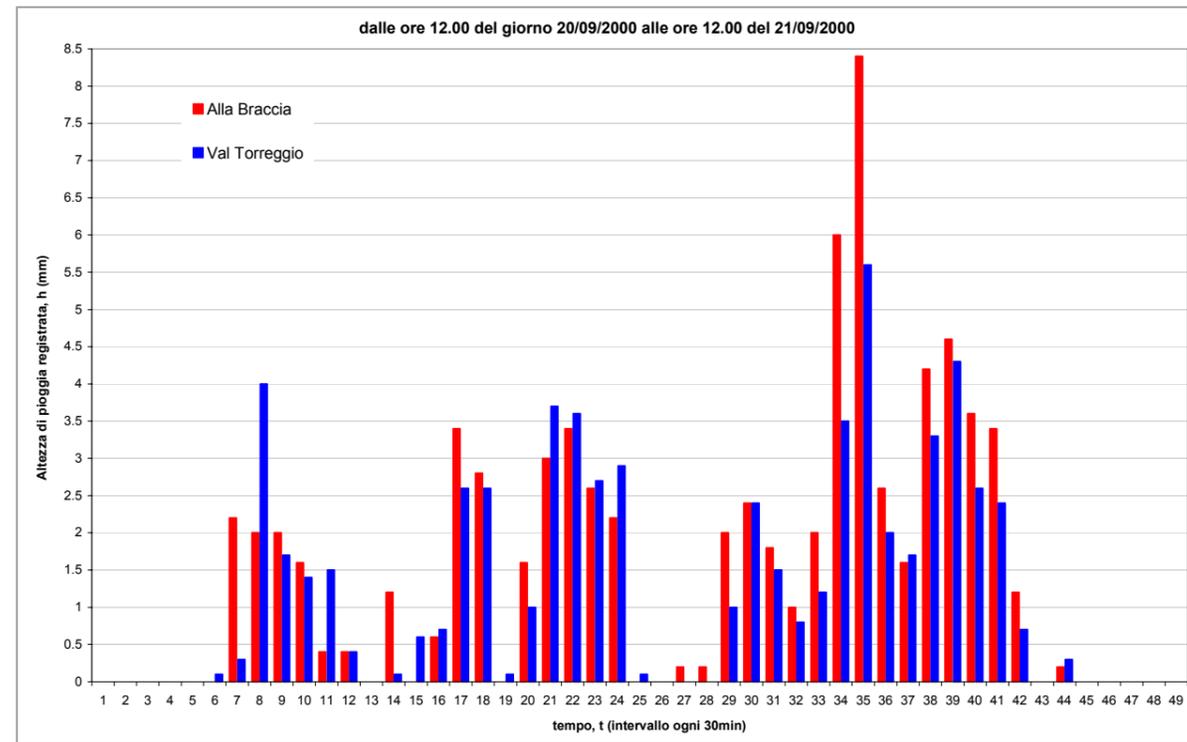
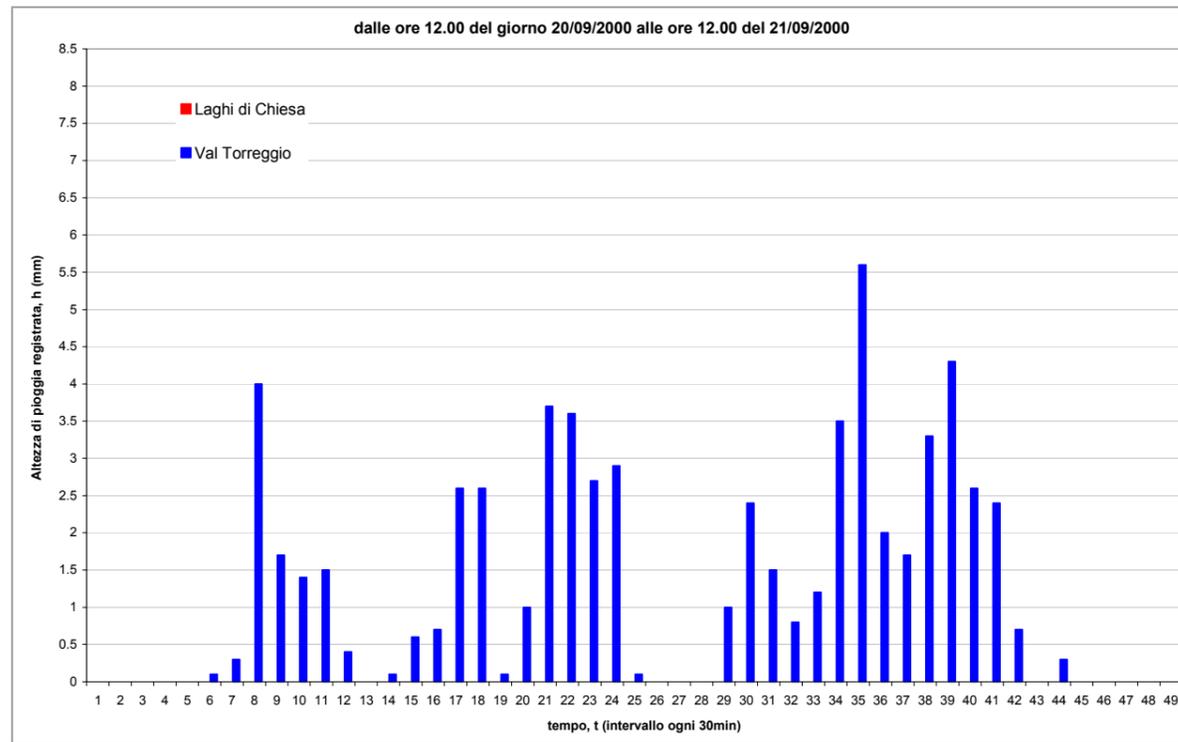


Figura 18 – Evento pluviom. del 11÷12-ottobre-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

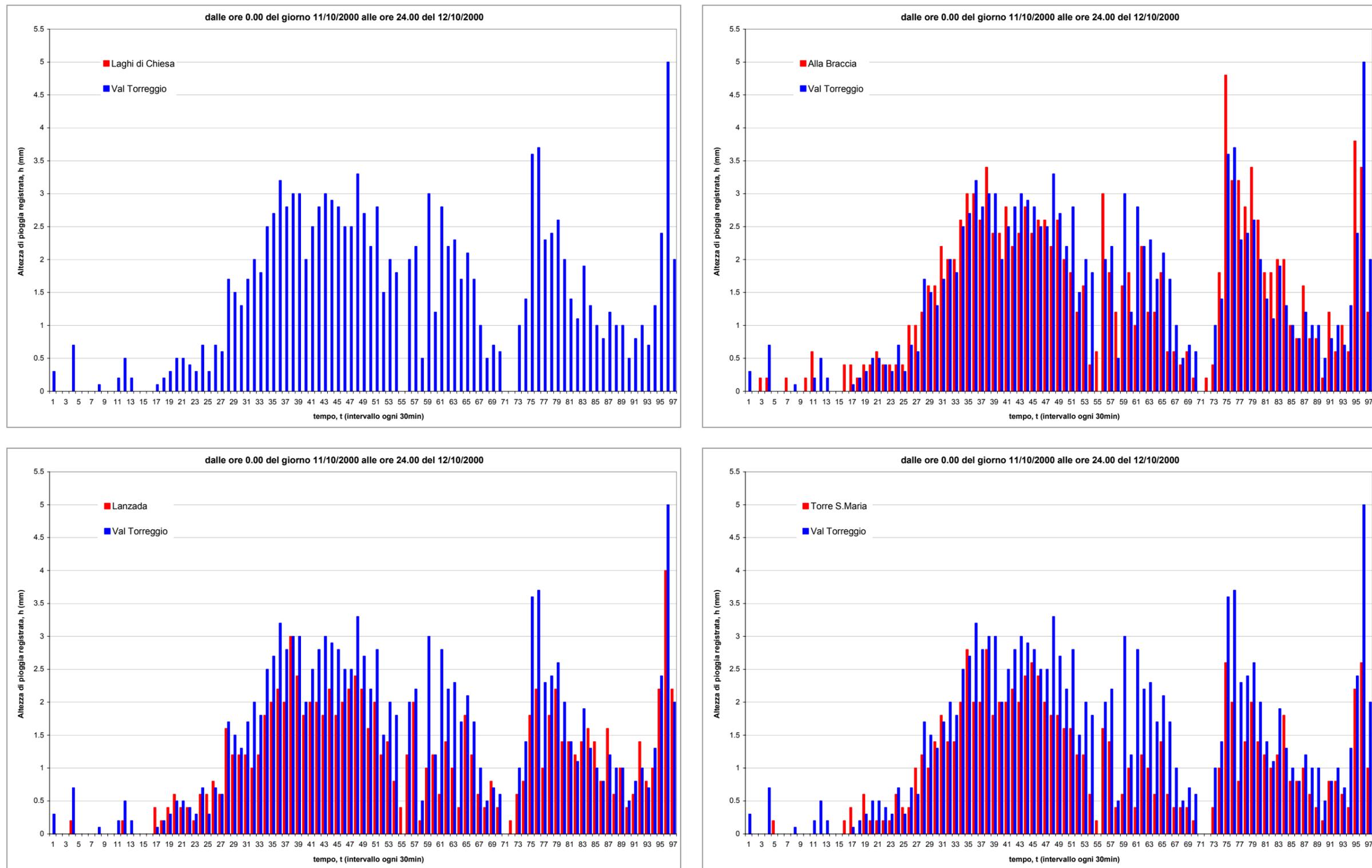


Figura 19 – Evento pluviom. del 14÷16-ottobre-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

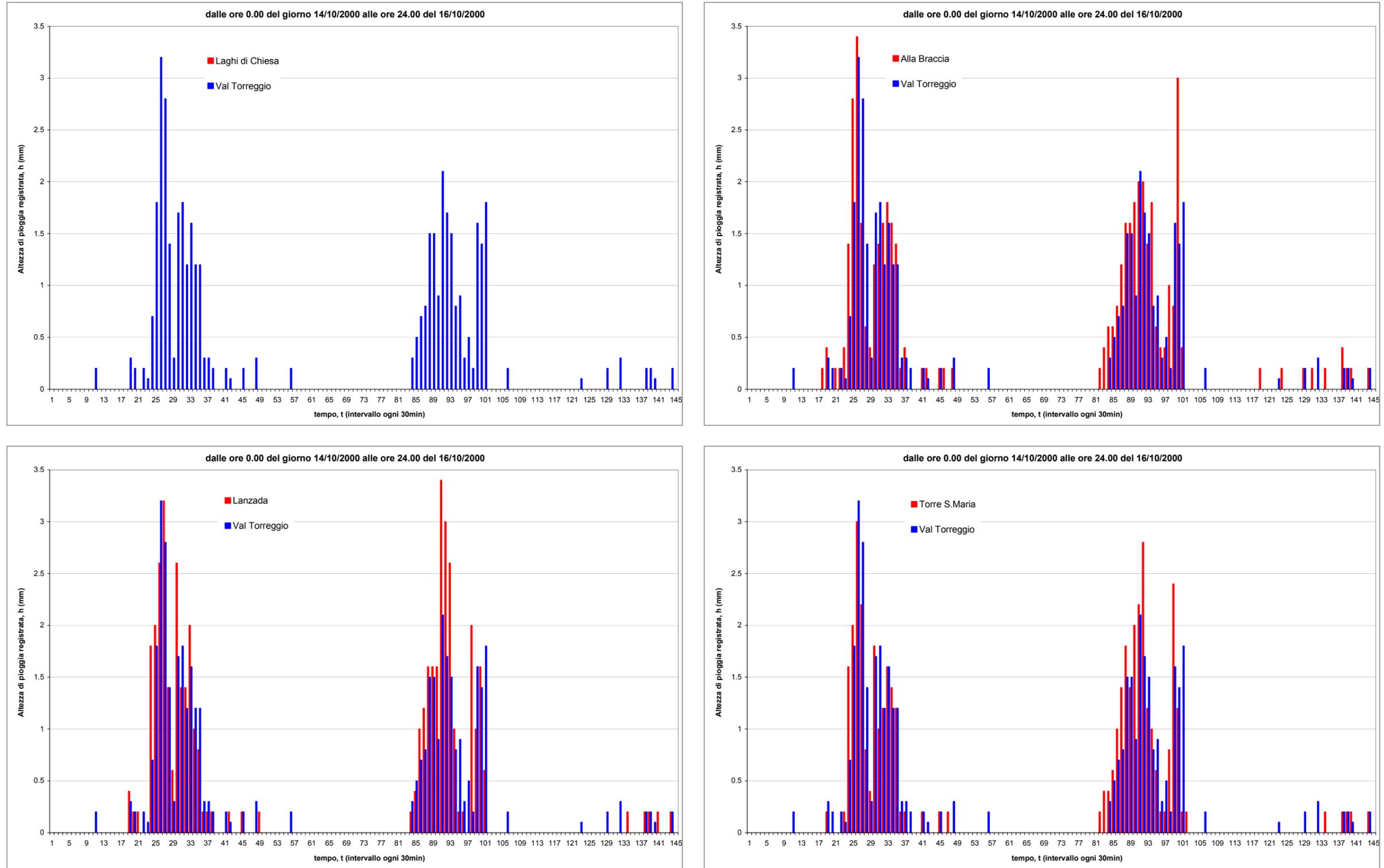


Figura 20 – Evento pluviom. del 13÷14-novembre-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

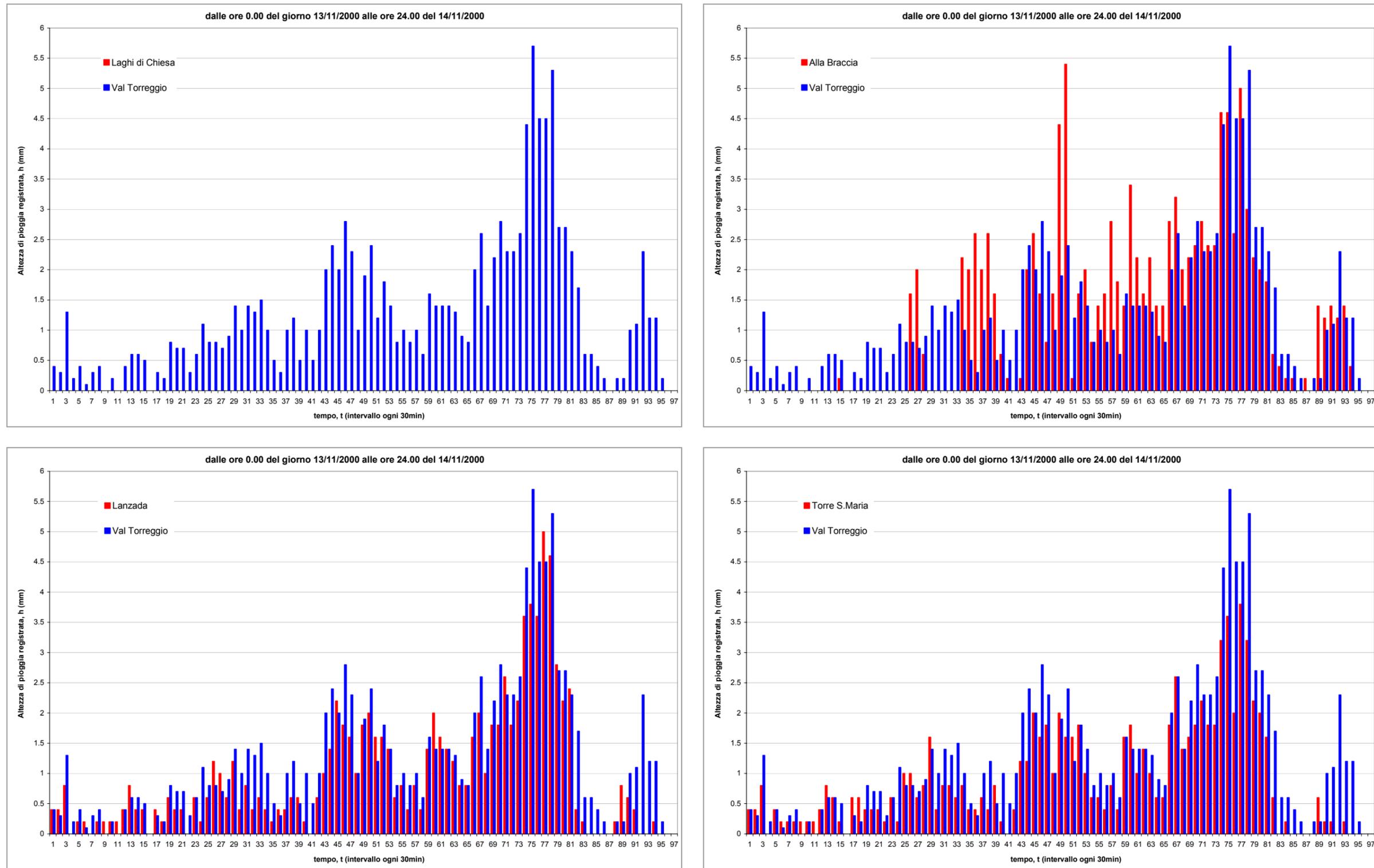


Figura 21 – Evento pluviom. del 16÷17-novembre-2000. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli registrati nelle quattro stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria.

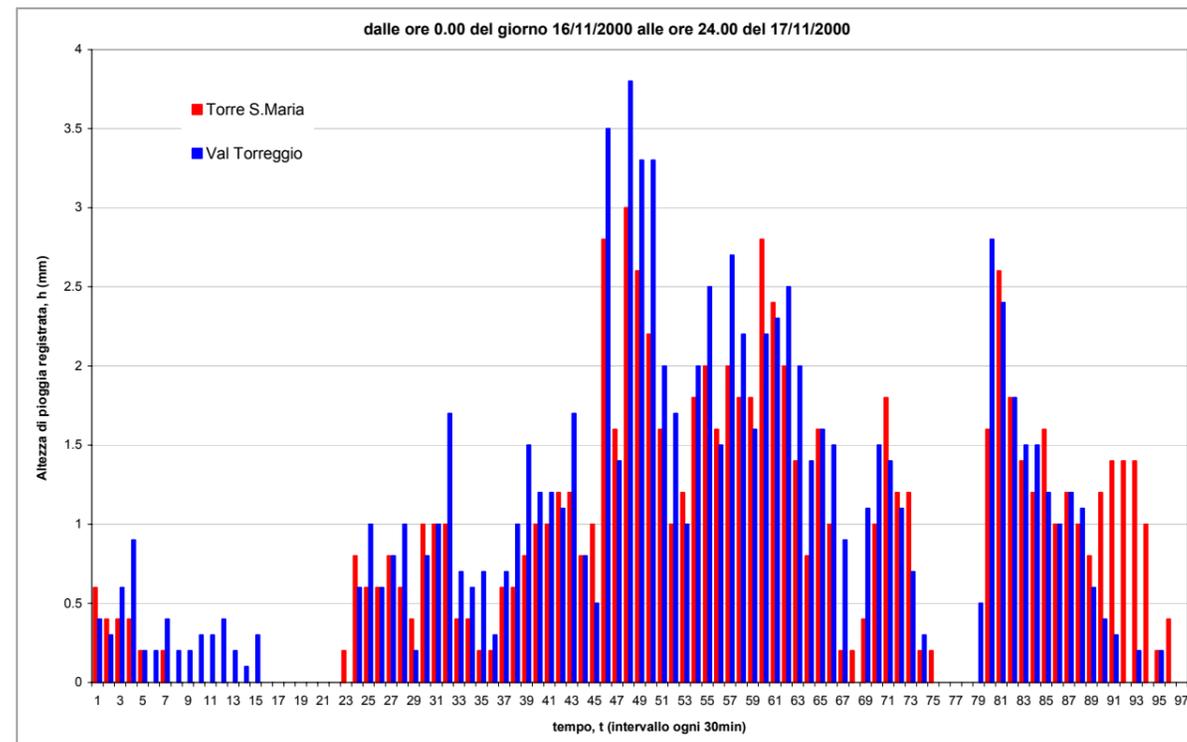
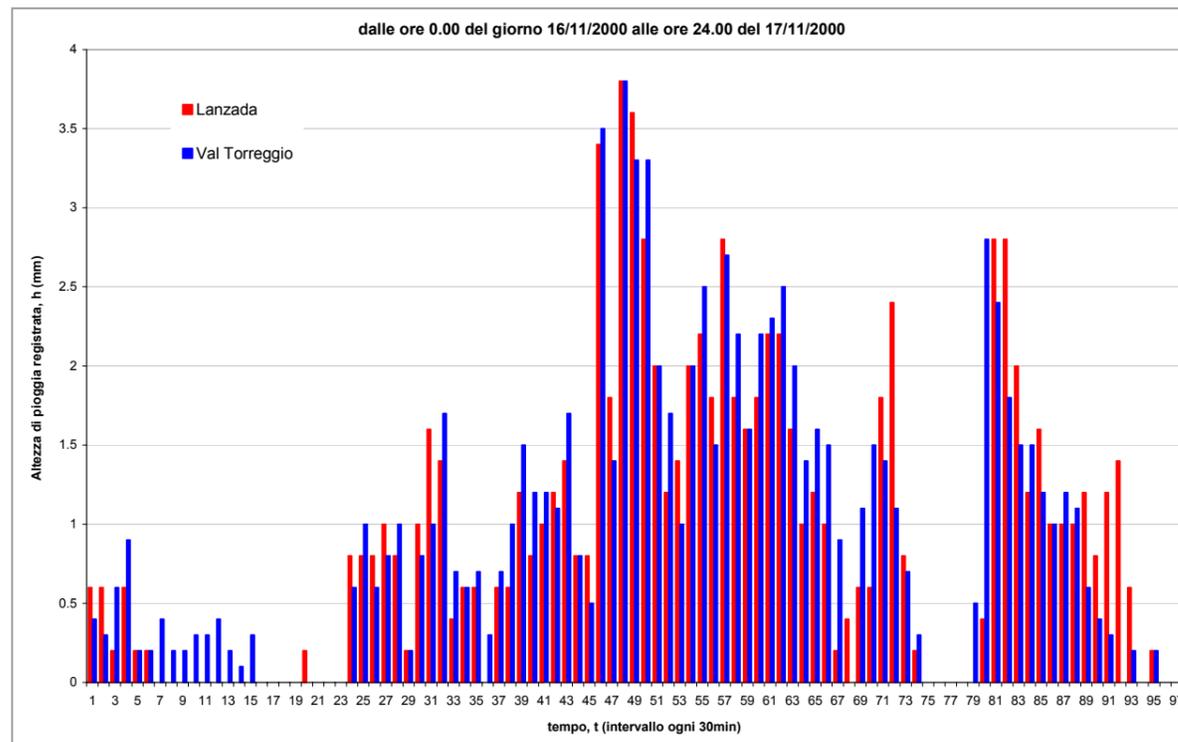
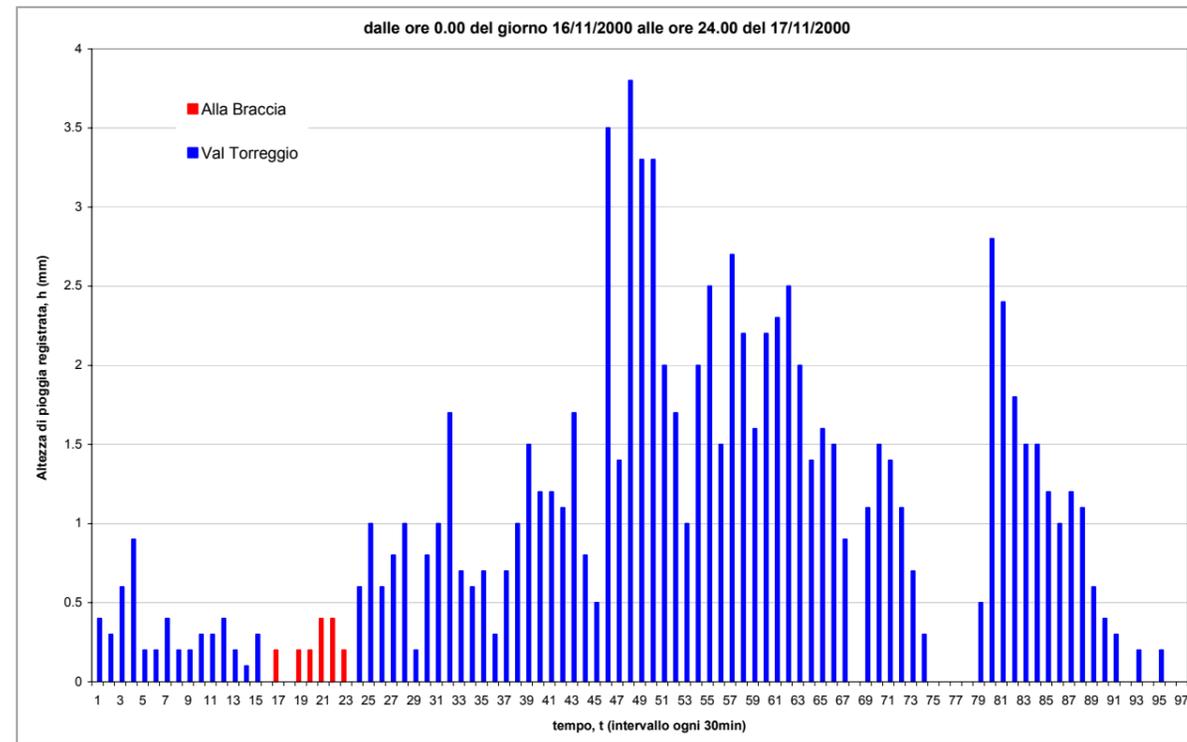
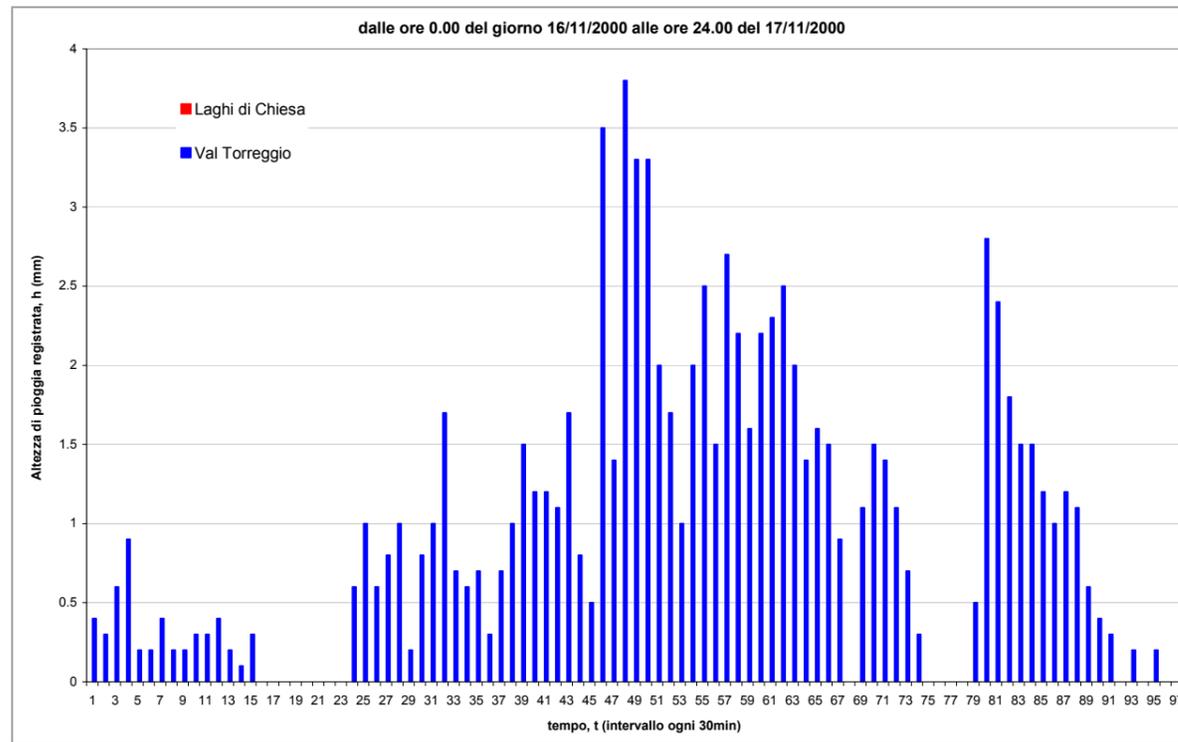


Figura 22 – Evento pluviom. del 07÷09-gennaio-2001. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli di Ganda di Lanzada.

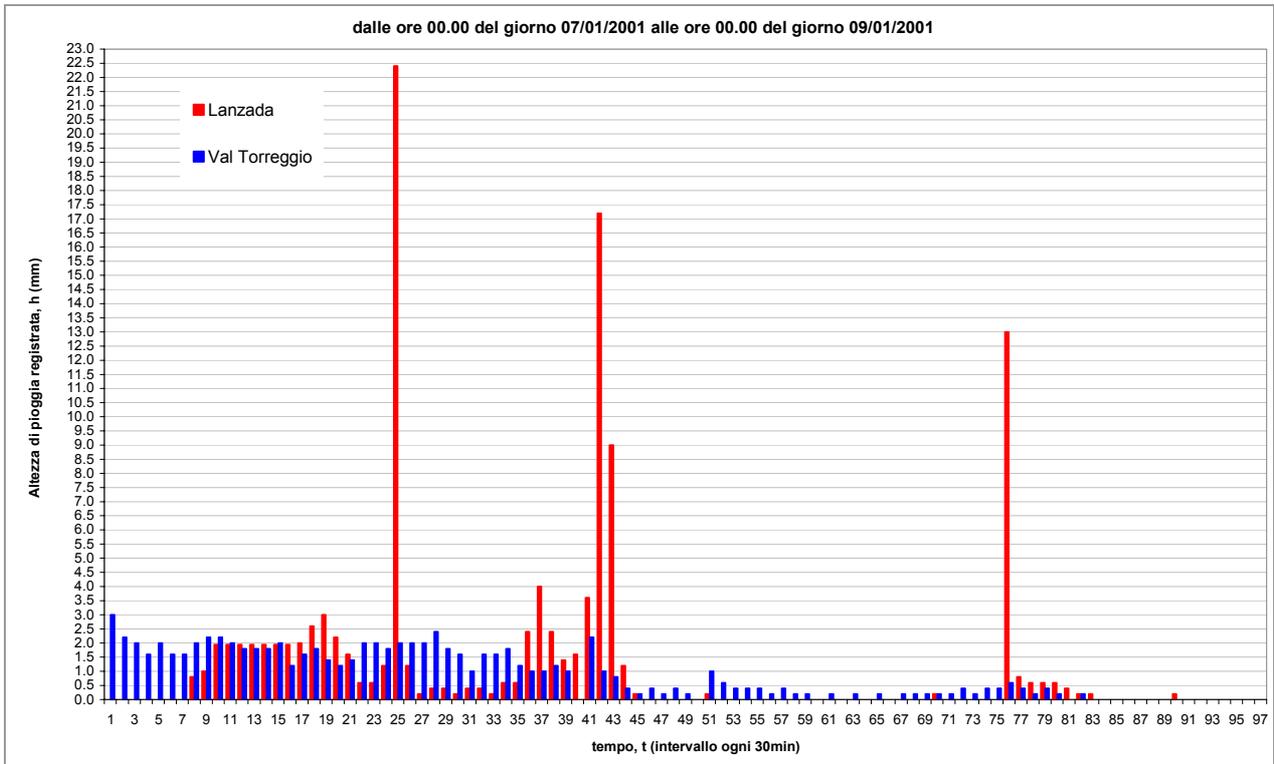


Figura 23 – Evento pluviom. del 08÷11-giugno-2001. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli di Ganda di Lanzada

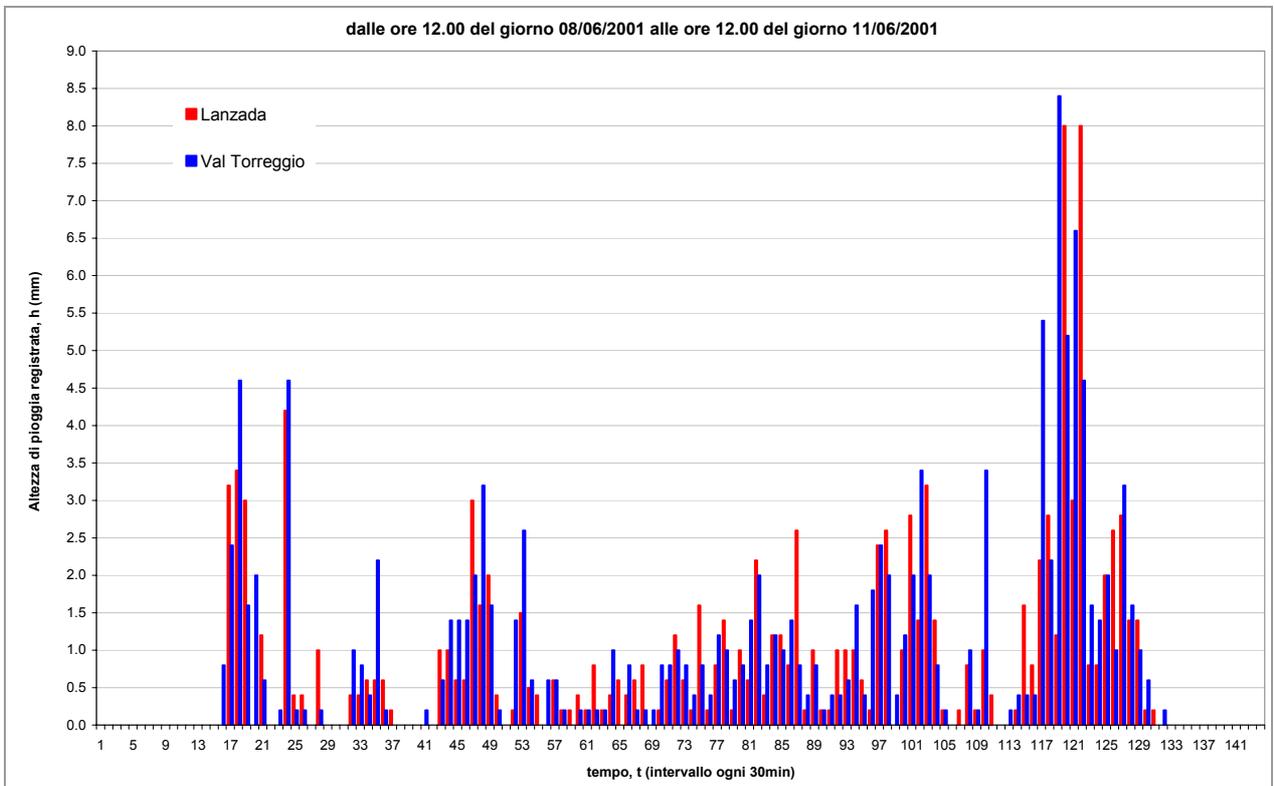


Figura 24 – Evento pluviom. del 24÷25-giugno-2002. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli di Ganda di Lanzada.

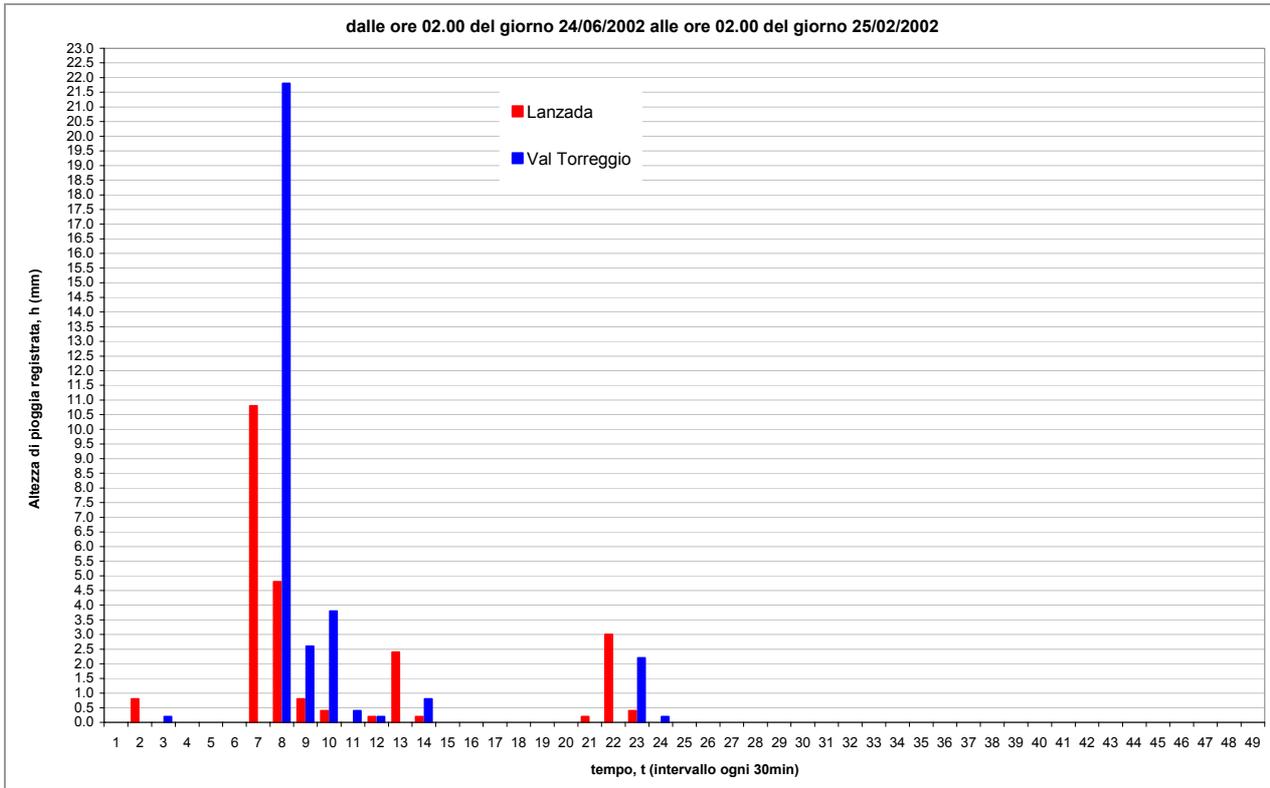
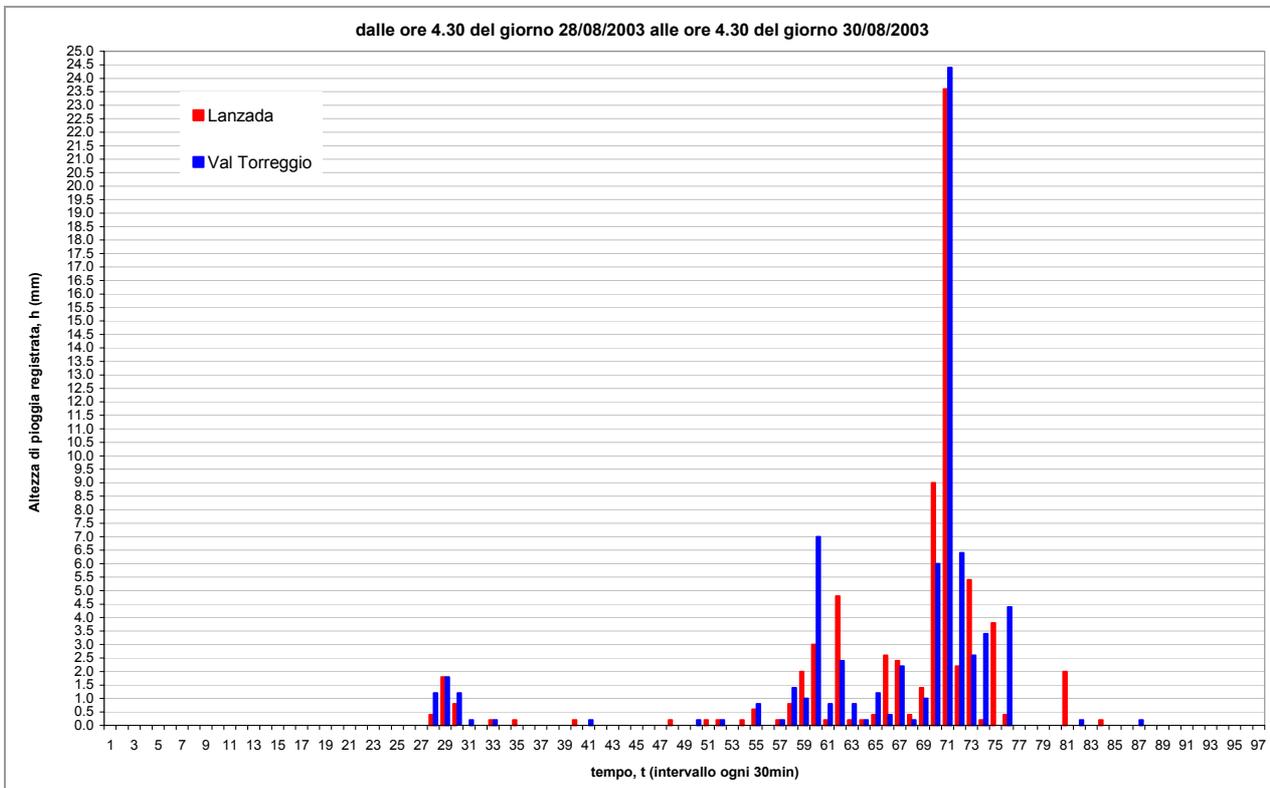


Figura 25 – Evento pluviom. del 28÷30-agosto-2003. Confronto dei dati registrati nella stazione di Val Torreggio con quelli di Ganda di Lanzada.



Dall'analisi degli eventi riportati nelle figure precedenti, si può osservare quanto segue:

- per gli eventi del 4 maggio 1999 (Figura 11), del 3-4 giugno (Figura 12) e del 20 settembre del 1999 si nota un andamento omogeneo per le quattro stazioni e Val Torreggio; si evidenzia soltanto un picco nelle registrazioni ad Alla Braccia nel primo evento e una mancanza di registrazioni a Laghi di Chiesa nel secondo;
- per l'evento del 20 agosto 1999 (Figura 13) si evidenzia una generale omogeneità nelle registrazioni, tranne che in corrispondenza di alcuni scrosci di differente intensità nei siti monitorati;
- l'evento del 20 settembre 1999 (Figura 14) si rivela abbastanza concorde per tutte le stazioni, anche se si può notare un'altezza di pioggia maggiore a Laghi di Chiesa;
- l'evento del 25÷27 settembre 1999 (Figura 15) è caratterizzato da altezze di pioggia prevalenti per Val Torreggio, soprattutto rispetto a Torre S.Maria e anche a Lanzada in corrispondenza di alcuni scrosci. Inoltre mancano alcune registrazioni a Laghi di Chiesa;
- per l'evento del 24÷25 luglio 2000 (Figura 16) si nota un'assenza di registrazioni a Laghi di Chiesa, una netta prevalenza delle altezze di Val Torreggio su Torre S.Maria, un andamento concorde con Ganda di Lanzada e una prevalenza delle altezze di Alla Braccia nella seconda parte dell'evento;
- lo stesso andamento omogeneo si riscontra anche nell'evento del 20÷21 settembre 2000 (Figura 17) per Val Torreggio, Ganda di Lanzada e Alla

Braccia, mentre mancano le registrazioni sia a Laghi di Chiesa che a Torre S.Maria;

- per l'evento del 11÷12 ottobre 2000 (Figura 18) si rileva un andamento uniforme per tutte le stazioni (tranne Laghi di Chiesa di cui mancano i dati), mantenendosi tuttavia mediamente superiori le altezze relative a Val Torreggio rispetto a Lanzada e Torre S.Maria;
- per gli eventi del 14÷16 ottobre 2000 (Figura 19) si ha sempre il sopradetto andamento omogeneo, questa volta con altezze mediamente superiori per le stazioni di Alla Braccia, Ganda di Lanzada e Torre S.Maria rispetto a Val Torreggio;
- gli eventi del 13-14 novembre e 16-17 novembre 2000 sono caratterizzati da andamenti molto concordi, soprattutto per le stazioni di Val Torreggio, Ganda di Lanzada e Torre S.Maria (le cui registrazioni sono, tuttavia, generalmente inferiori a quelle di Val Torreggio);

In sintesi si evince come le stazioni abbiano un andamento abbastanza concorde a meno della stazione di Laghi di Chiesa dove mancano delle registrazioni. Si nota anche un andamento mediamente inferiore per le registrazioni a Torre S.Maria – fondovalle – rispetto a Val Torreggio.

Per quanto ricavato già nel 2001 dalle osservazioni di ciascun evento e dal confronto delle medie pesate dei dati complessivi, la stazione di Ganda di Lanzada pare poter bene rappresentare la pluviometria del bacino del Torreggio, sia per la concordanza a livello temporale che come registrazioni pluviometriche, in attesa che la stazione di Val Torreggio possa acquisire una sua serie indipendente significativa, con dati di qualche decennio come quelli

disponibili per la stazione di Ganda di Lanzada.

Perciò i confronti per gli eventi registrati oltre il 2000 sono stati fatti esclusivamente tra la stazione di Val Torreggio e quella di Ganda di Lanzada, per ulteriore verifica delle conclusioni di cui sopra. Si può innanzitutto affermare che negli anni 2001÷2005 non si sono verificati eventi pluviometrici particolarmente intensi che abbiano sollecitato in modo significativo il bacino. Gli eventi significativi estrapolati dalle registrazioni sono stati riportati nelle precedenti Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25. Dall'analisi di detti grafici si conferma una buona corrispondenza tra le registrazioni di Val Torreggio e Ganda di Lanzada, sia per gli eventi più distribuiti e meno intensi (Figura 23), sia per quelli di maggiore intensità (Figura 25).

4.5 CONFRONTO CON LE CPP E DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI RITORNO DEGLI EVENTI REGISTRATI

Dalle analisi condotte sui dati disponibili e, in particolare dai confronti tra la Val Torreggio e Ganda di Lanzada del periodo 1999÷2005 (seppur breve ma caratterizzato da eventi di buona significatività), si può dedurre che la stazione di Ganda di Lanzada possa ben rappresentare pluviometricamente il bacino del Torreggio. Pertanto la sua serie storica del S.I.I. può fornire la base per il calcolo delle portate di massima piena. Inoltre l'analisi dei dati registrati ivi dal 1989 al 2000 può dare risposta alla domanda circa le sollecitazioni del bacino del Torreggio nell'ultimo quindicennio.

Pur non potendo pertanto escludere completamente la stazione di Scais o di Sondrio (servirebbero serie più prolungate), dalle analisi effettuate risulta che queste appaiono troppo lontane (e quindi non rappresentative) dalle

caratteristiche pluviometriche del bacino del Torreggio. Tale conclusione è confermata anche dal supporto fornito dalle registrazioni dei bacini svizzeri prossimi a quello di interesse, ove si rileva che i contributi unitari di piena (su serie centennali – quindi significative) non si adattano alla pluviometria di Scais e Sondrio.

In conclusione, per la determinazione degli idrogrammi sintetici di piena per i diversi tempi di ritorno si sono considerate le curve di possibilità pluviometrica relative a Ganda di Lanzada, ricavate dal precedente progetto di Bacchi del 1996, sfruttando i dati relativi agli anni 1930÷1987 (Tabella 5).

Tabella 5 – Curve di possibilità pluviometrica di Ganda di Lanzada (dal progetto preliminare di Bacchi del 1996)

TEMPO DI RITORNO	CURVE DI POSIBILITÀ PLUVIOMETRICA
5	$h = 16,38 t^{0,458}$
10	$h = 18,55 t^{0,459}$
20	$h = 20,64 t^{0,459}$
50	$h = 23,34 t^{0,460}$
100	$h = 25,36 t^{0,460}$
200	$h = 27,37 t^{0,461}$

Questi valori riportati in un diagramma tempo/altezza di pioggia (t/h) rappresentano l'andamento temporale delle altezze di pioggia per ciascuna durata, per determinato tempo di ritorno.

Utilizzando le CPP do Ganda di Lanzada sono state analizzate anche le sollecitazioni del bacino operando nel seguente modo: dalle registrazioni pluviometriche (con i dati ogni trenta minuti fornite dal Centro di Monitoraggio) sono stati estrapolati sia le altezze massime (non

necessariamente appartenenti ad uno stesso evento) sia gli eventi più intensi di durata pari a 0,5, 1, 3 e 6 ore per tutte le stazioni e per tutti gli anni di registrazione disponibili (fino al 2000 per le stazioni di Alla Braccia, Laghi di Chiesa e Torre S.Maria e fino al 2005 per le stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio).

Sia le altezze massime (per ciascuna durata), sia gli eventi più significativi sono stati confrontati con le curve di possibilità pluviometrica di Ganda di Lanzada, per poter definire il tempo di ritorno corrispondente.

I grafici di confronto delle CPP con le altezze massime registrate per data durata sono riportati nelle seguenti Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

Figura 26 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Ganda di Lanzada con le CPP di Ganda di Lanzada (dal 1989 al 1997)

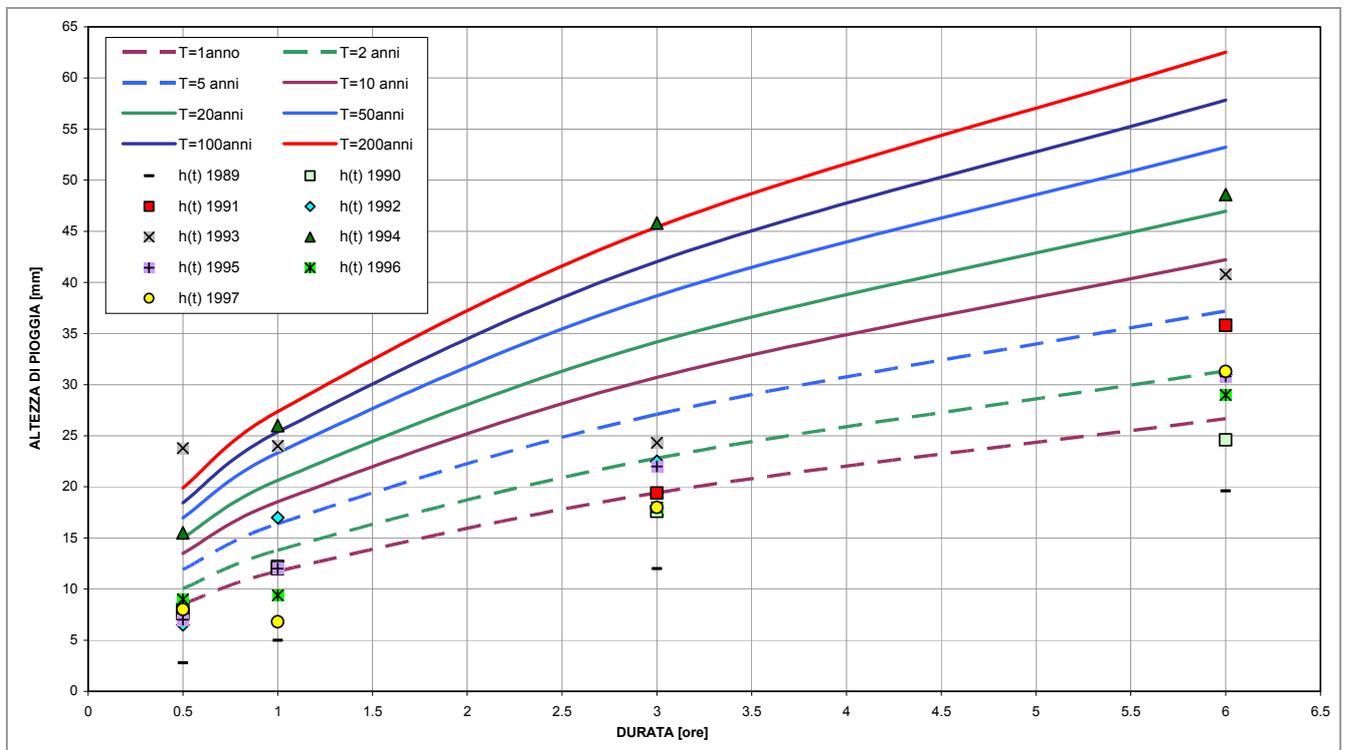


Figura 27 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Ganda di Lanzada con le CPP di Ganda di Lanzada (dal 1998 al 2005)

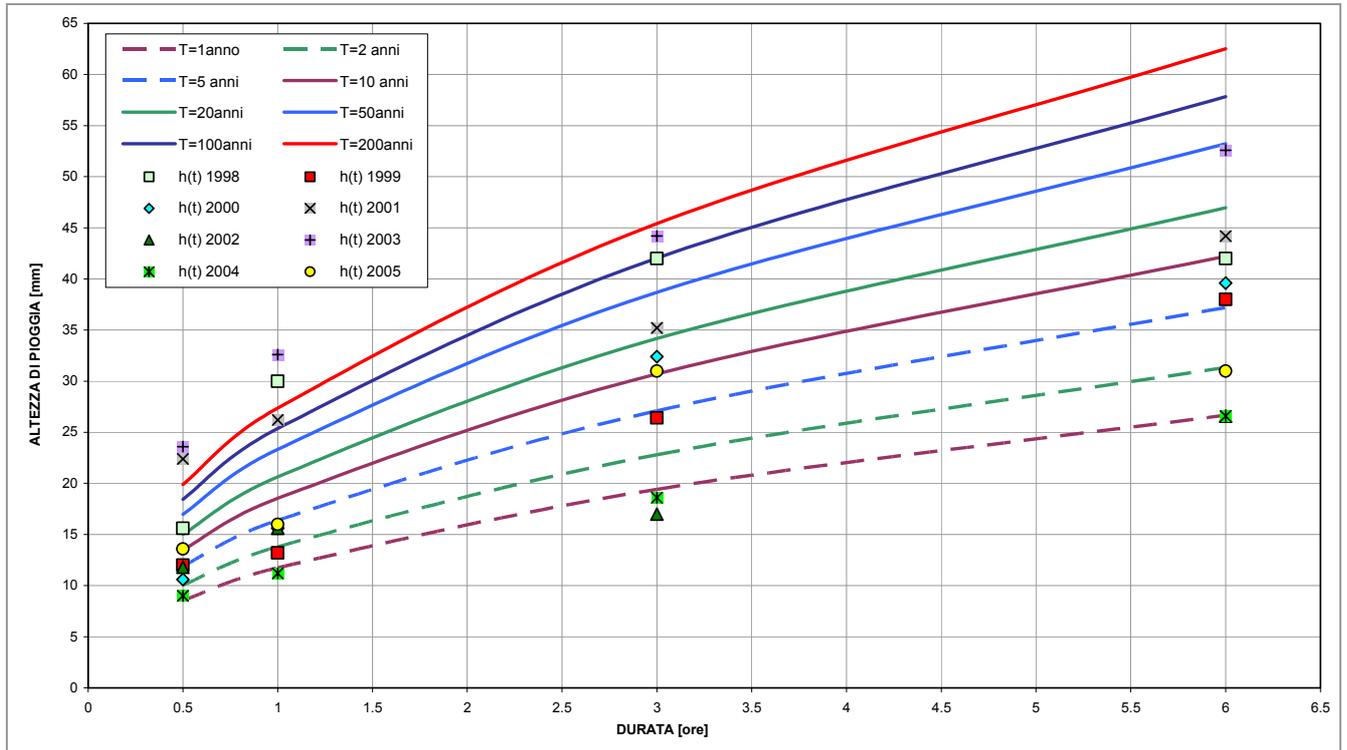


Figura 28 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Val Torreggio con le CPP di Ganda di Lanzada

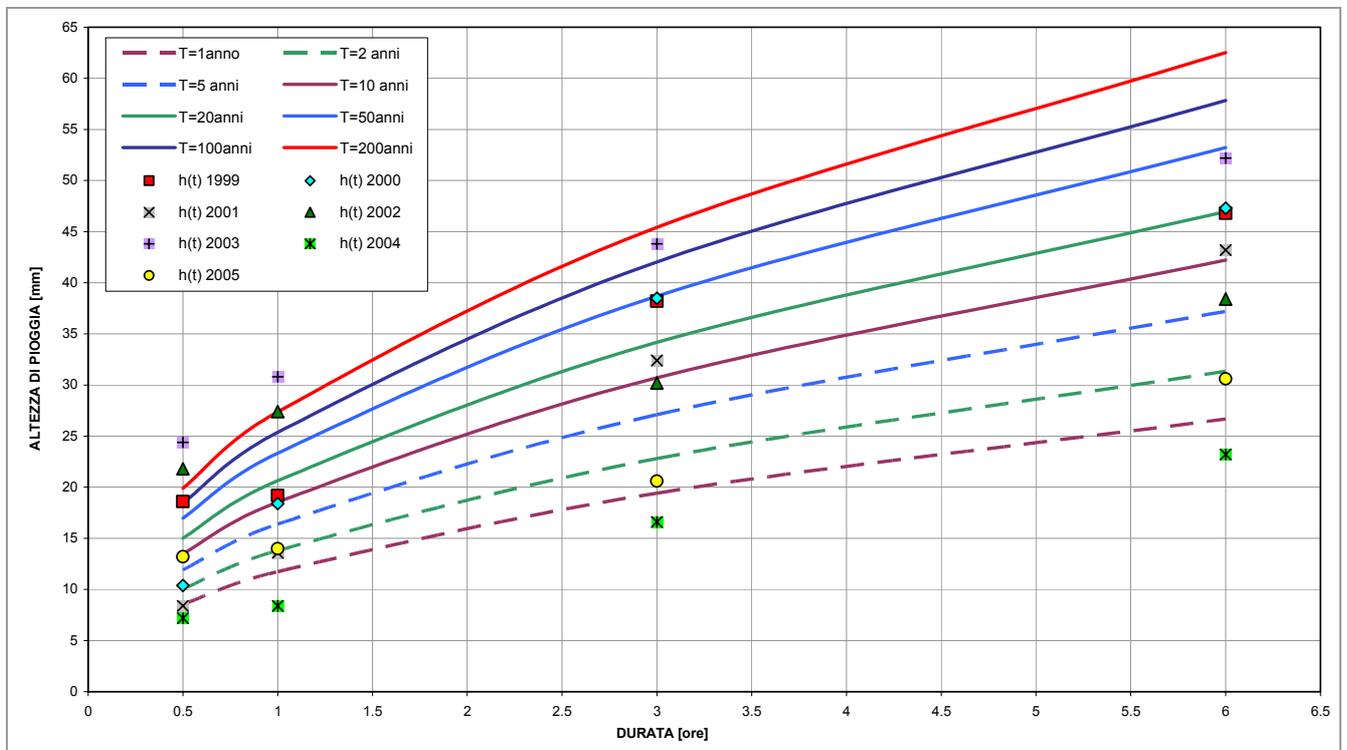


Figura 29 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Torre S.Maria con le CPP di Ganda di Lanzada

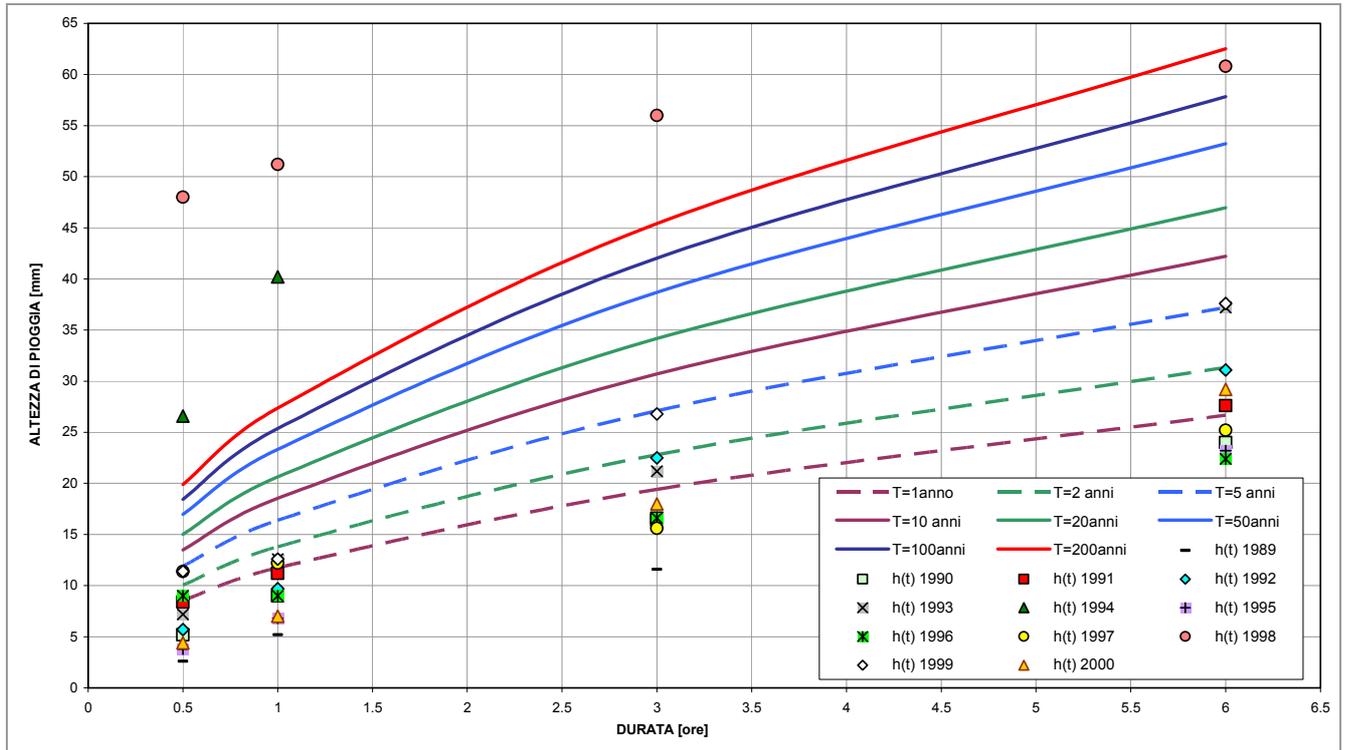


Figura 30 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Alla Braccia con le CPP di Ganda di Lanzada

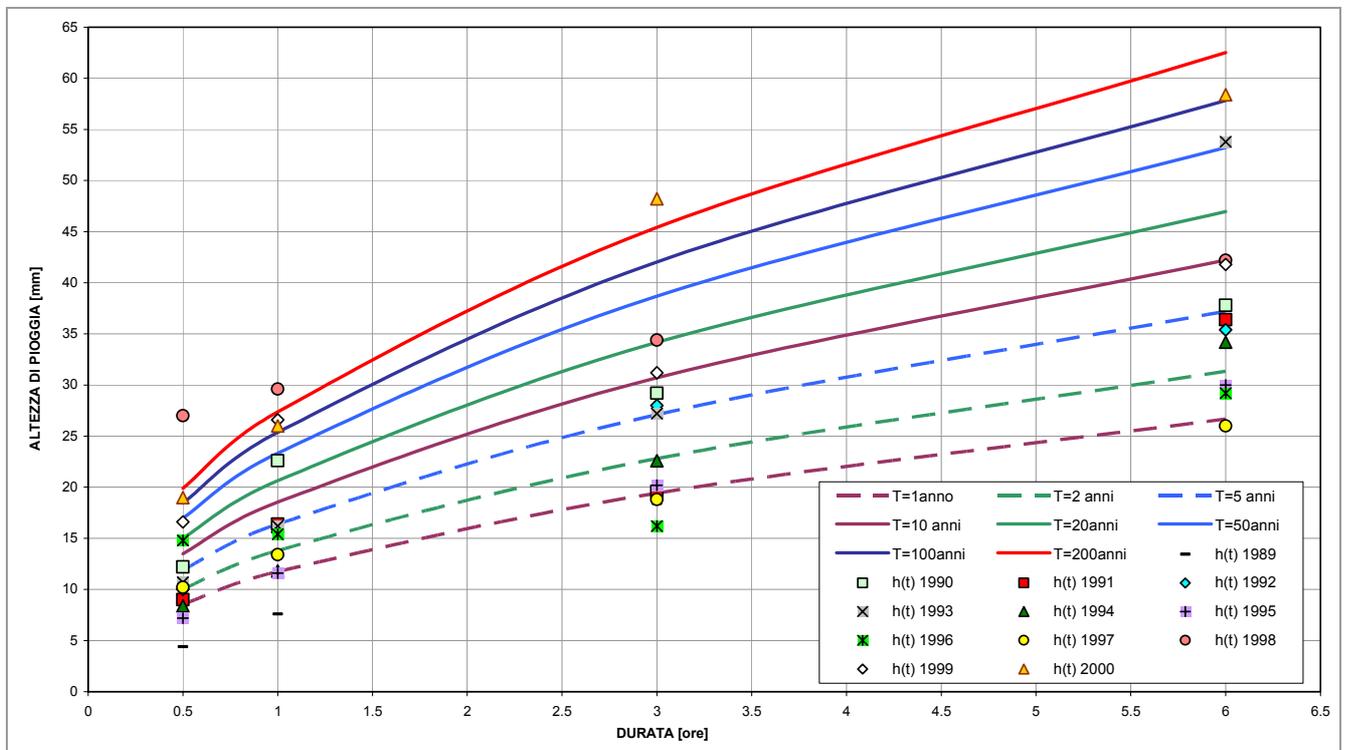
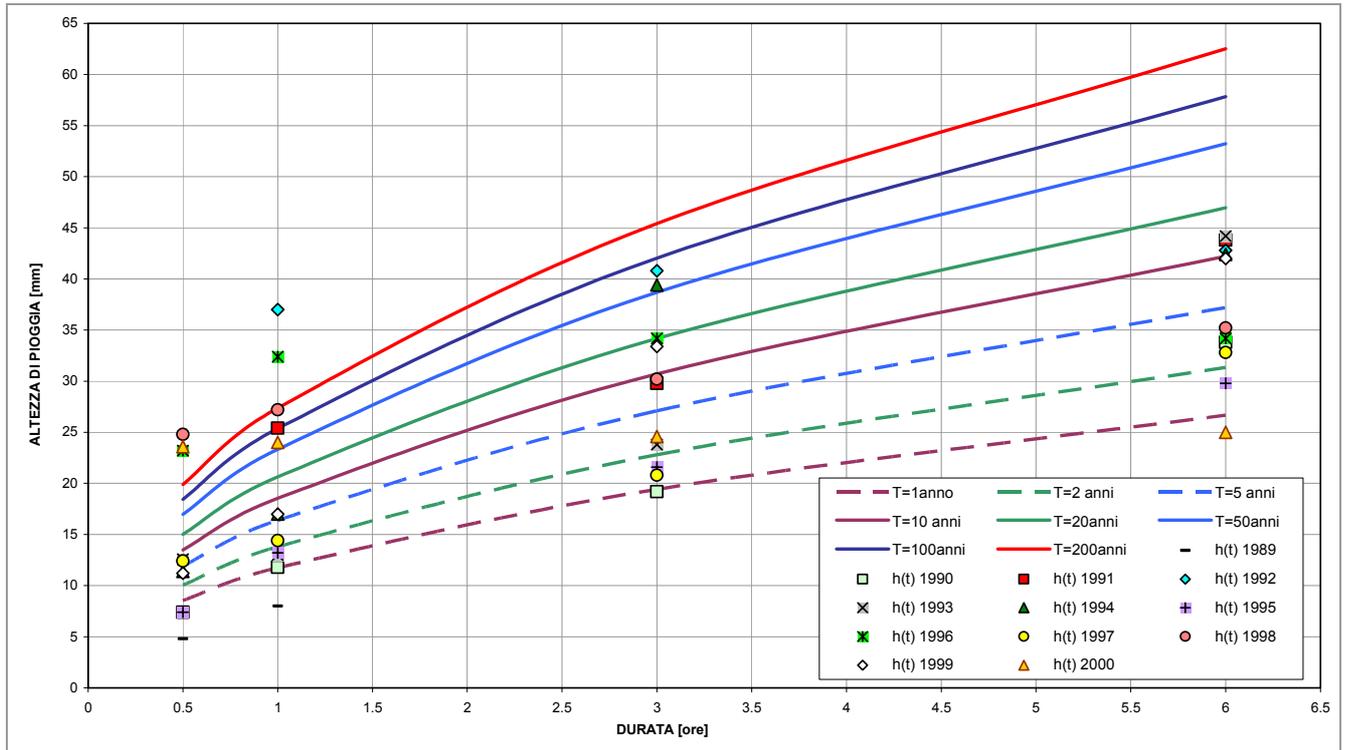


Figura 31 - Confronto tra gli eventi massimi per ciascuna durata registrati nella stazione Laghi di Chiesa con le CPP di Ganda di Lanzada



Il confronto tra le altezze massime di pioggia per ciascuna durata registrate nelle stazioni considerate, con le curve di possibilità pluviometrica di Ganda di Lanzada, fornisce, come detto, il tempo di ritorno corrispondente alla singola parte di evento registrato, come riportato nella seguente Tabella 6 per la stazione di Ganda di Lanzada e nella Tabella 7 per la stazione di Val Torreggio. In dette tabelle sono evidenziati in grassetto gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno significativo (maggiore o uguale a 10 anni).

Tabella 6 – Confronto tra le altezze di pioggia massime per ciascuna durata registrate nella stazione di Ganda di Lanzada, con le CPP ricavate dagli Annali Idrologici per Ganda di Lanzada

Anno	DURATA DI PIOGGIA											
	30 MINUTI			1 ORA			3 ORE			6 ORE		
	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.
1989	2.8	17-dic	T<1	5	17-dic	T<1	12	17-dic	T<1	19.6	17-dic	T<1
1990	8	23-24-set	T=1	12.2	23-24-set	T=1	17.6	23-24-set	T<1	24.6	21-giu	1<T<2
1991	7.6	16-giu	T<1	12	16-giu	T=1	19.4	16-giu	T=1	35.8	29-set	T=4
1992	6.5	20-giu	T<1	17	22-lug	T=5	22.5	20-giu	T=2	31	20-giu	T=2
1993	23.8	10-set	T>200	24	10-set	50<T<100	24.3	10-set	2<T<5	40.8	11-lug	5<T<10
1994	15.5	10-gen	T=20	26	6-ago	T=100	45.8	6-ago	T=200	48.6	6-ago	20<T<50
1995	7	13-set	T<1	12	13-set	T=1	22	13-set	1<T<2	30.8	13-set	1<T<2
1996	9	13-ago	T=1	9.4	13-ago	T<1	18	12-nov	T<1	29	14-nov	1<T<2
1997	8	12-giu	T=1	9.6	5-lug	T<1	18	06-07-nov	T=10	31.3	06-07-nov	T=2
1998	15.6	12-ago	T=20	30	12-ago	T>200	42	12-ago	T=100	42	12-ago	T=10
1999	12	8-ago	T=5	13.2	20-ago	1<T<2	26.4	20-ago	T=5	38	20-ago	T=5
2000	10.6	18-gen	T=2	15.6	24-lug	2<T<5	32.4	24-lug	10<T<20	39.6	24-lug	5<T<10
2001	22.4	7-gen	T>200	26.2	7-gen	100<T<200	35.2	7-gen	T=20	44.2	7-gen	10<T<20
2002	11.8	13-lug	T=5	15.6	24-giu	T=5	17	24-giu	T<1	26.6	4-mag	T=1
2003	23.6	29-ago	T>200	32.6	29-ago	T>200	44.2	29-ago	100<T<200	52.6	29-ago	T=50
2004	9	15-set	T=1	11.2	15-set	T=1	18.6	26-ott	T=1	26.6	26-ott	T=1
2005	13.6	17-dic	T=10	16	17-dic	T=5	31	18-lug	T=10	31	18-lug	T=2

h_{MAX} = Altezza di pioggia massima registrata nell'anno per la corrispondente durata [mm]

Tabella 7 – Confronto tra le altezze di pioggia massime per ciascuna durata registrate nella stazione di Val Torreggio, con le CPP ricavate dagli Annali Idrologici per Ganda di Lanzada

Anno	DURATA DI PIOGGIA											
	30 MINUTI			1 ORA			3 ORE			6 ORE		
	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	Data evento	TEMPO DI RITORNO CORRISP.
1999	18.6	20-ago	T=100	19.2	20-ago	10<T<20	38.2	20-ago	T=50	46.8	20-ago	T=6
2000	10.4	17-gen	T=2	18.4	24/25-lug	T=10	38.5	24/25-lug	T=50	47.3	24/25-lug	T=6
2001	8.4	10-giu	T=100	14	10-giu	T=2	32.4	10-giu	10<T<20	43.2	10-giu	10<T<20
2002	21.8	24-giu	T>200	27.4	19-giu	T=200	30.2	19-giu	T=10	38.4	16-nov	T=20
2003	24.4	29-ago	T>200	30.8	29-ago	T>200	43.8	29-ago	100<T<200	52.2	29-ago	T=50
2004	7.2	14-mar	T<1	8.4	14-mar	T<1	16.6	26-ott	T<1	23.2	26-ott	T<1
2005	13.2	29-giu	T=10	14	29-giu	T=2	20.59	18-lug	1<T<2	30.6	18-lug	T=2

h_{MAX} = Altezza di pioggia massima registrata nell'anno per la corrispondente durata [mm]

Osservando i risultati riportati si nota quanto segue:

- nel corso degli anni 1993, 1994, 1998, 2001, 2002 e 2003 si sono verificate intense precipitazioni, con tempi di ritorno fino a 200 anni;
- negli anni 1990, 1991, 1995, 1996 e 2004 i massimi tempi di ritorno

degli eventi sono associabili a 1 a 2 anni;

- negli anni 1992, 1999, 2000 e 2005 gli eventi variano da 2 a 10 anni di tempo di ritorno.

Inoltre, come detto, sono state analizzate anche le altezze (per ciascuna durata) corrispondenti agli eventi più intensi registrati nelle sole stazioni di Ganda di Lanzada e Val Torreggio. Tali altezze, che non sempre corrispondono con gli eventi massimi per ogni durata, sono state confrontate con le stesse curve di possibilità pluviometrica e riportate nelle seguenti Figura 32 e Figura 33.

Figura 32 – Confronto tra gli eventi più intensi registrati nella stazione Ganda di Lanzada con le CPP di Ganda di Lanzada (dal 1989 al 1997)

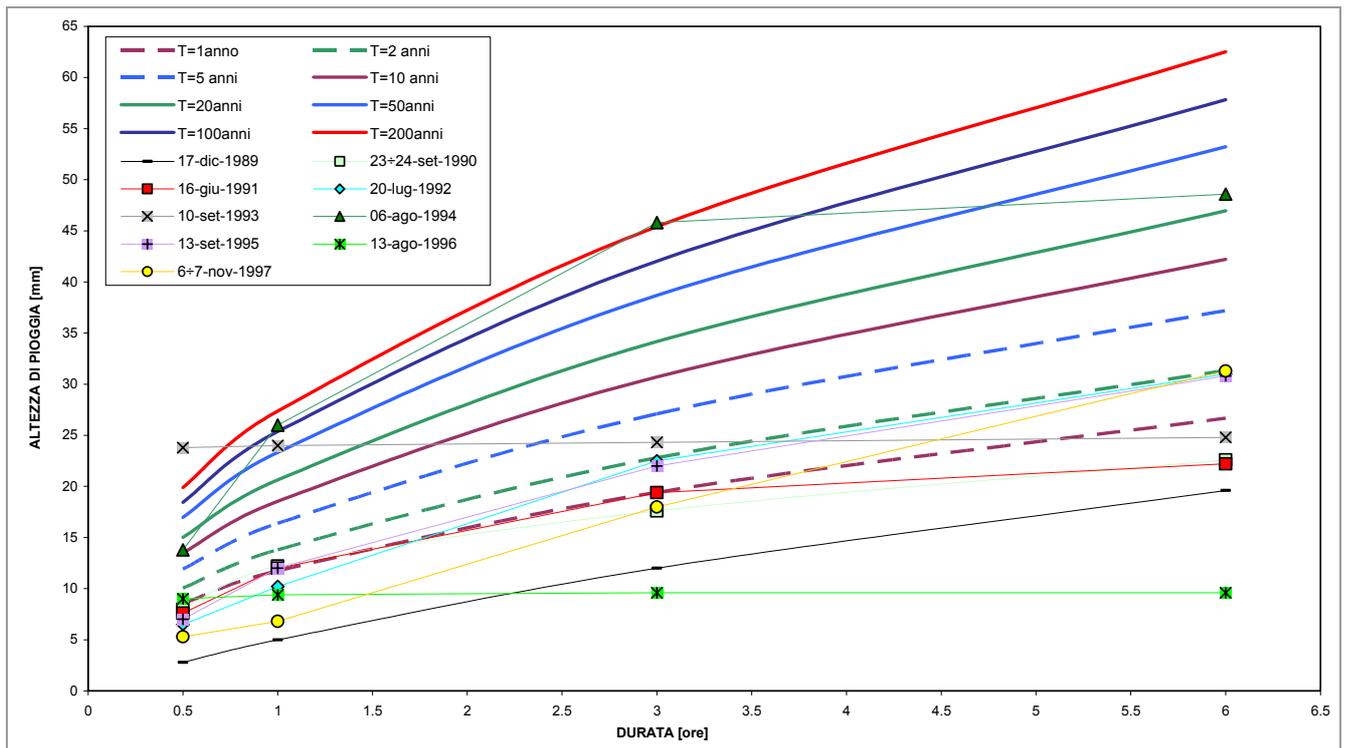


Figura 33 – Confronto tra gli eventi più intensi registrati nella stazione Ganda di Lanzada con le CPP di Ganda di Lanzada (dal 1998 al 2005)

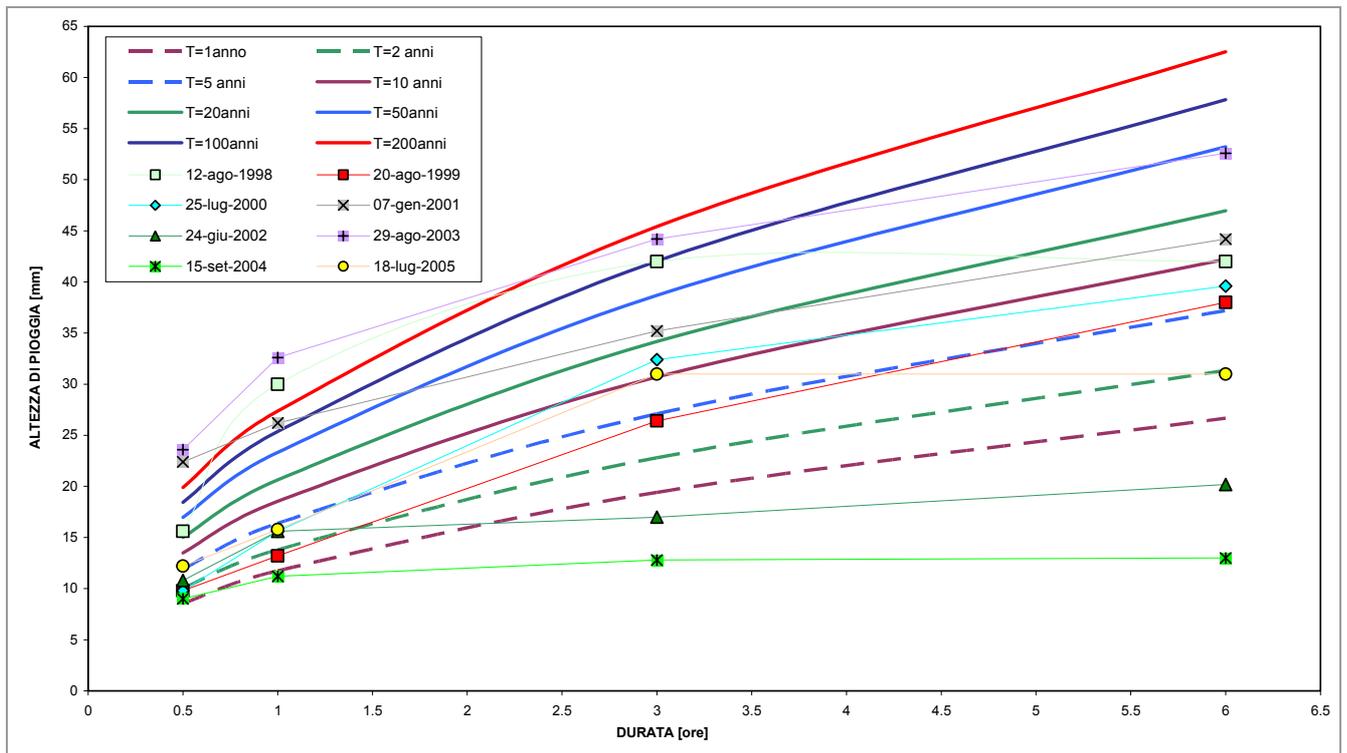
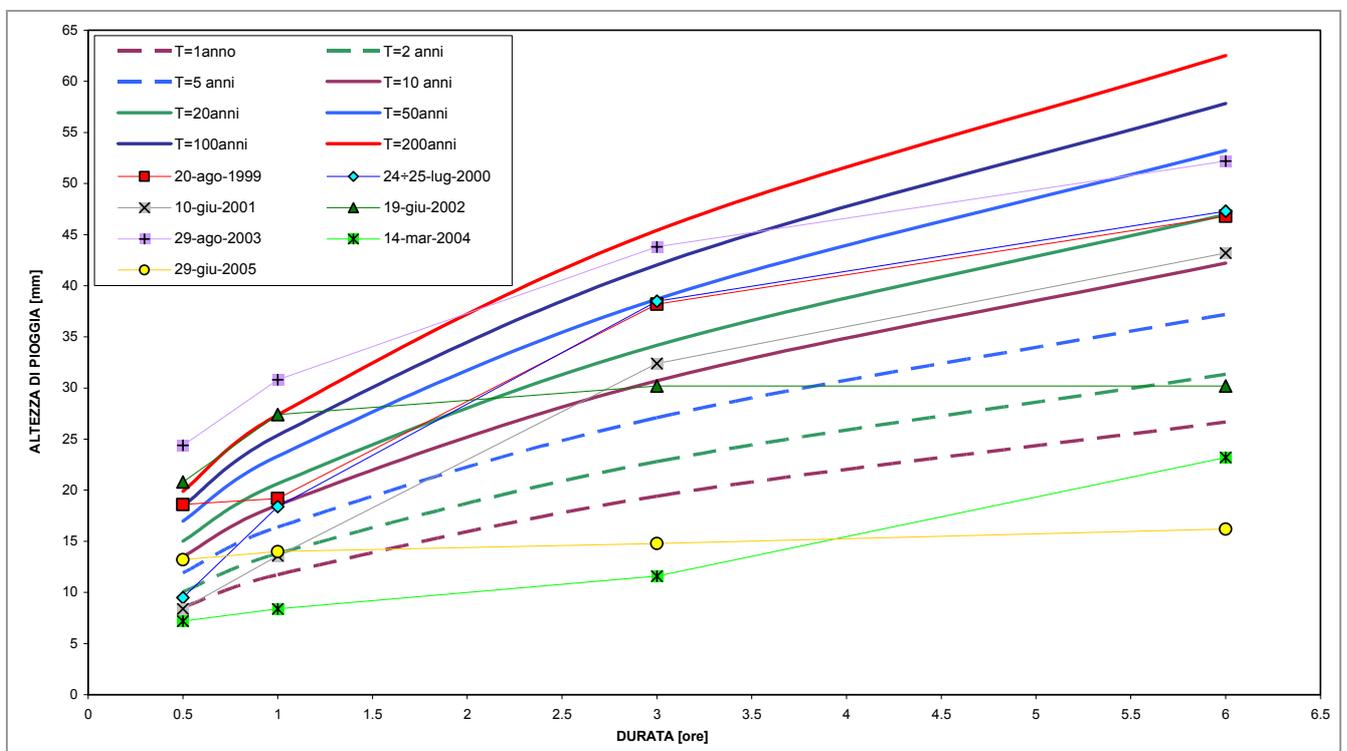


Figura 34 – Confronto tra gli eventi più intensi registrati nella stazione Val Torreggio con le curve di possibilità pluviometrica (CPP) di Ganda di Lanzada.



Il confronto tra le altezze di pioggia per ciascuna durata relative agli eventi più intensi registrati nelle stazioni considerate, con le curve di possibilità pluviometrica di Ganda di Lanzada, fornisce, come detto, il tempo di ritorno corrispondente all'evento registrato, come riportato nella seguente Tabella 8 per la stazione di Ganda di Lanzada e nella Tabella 9 per la stazione di Val Torreggio. In dette tabelle sono evidenziati in grassetto gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno significativo (maggiore o uguale a 10 anni).

Tabella 8 – Confronto tra le altezze di pioggia (per ciascuna durata) degli eventi più intensi registrate nella stazione di Ganda di Lanzada, con le CPP ricavate dagli Annali Idrologici per Ganda di Lanzada

Anno	DATA EVENTO	DURATA DI PIOGGIA							
		30 MINUTI		1 ORA		3 ORE		6 ORE	
		h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.
1989	17-dic	2.8	T< 1	5	T< 1	12	T< 1	19.6	T< 1
1990	23-24-set	8	T=1	12.2	T=1	17.6	T< 1	22.6	T< 1
1991	16-giu	7.6	T< 1	12	T=1	19.4	T=1	22.2	T< 1
1992	20-giu	6.5	T< 1	10.2	T< 1	22.5	T=2	31	T=2
1993	10-set	23.8	T> 200	24	50<T< 100	24.3	2<T< 5	24.8	T< 1
1994	06-ago	13.8	T=10	26	T=100	45.8	T=200	48.6	20<T< 50
1995	13-set	7	T< 1	12	T=1	22	1<T< 2	30.8	1<T< 2
1996	13-ago	9	T=1	9.4	T< 1	9.6	T< 1	9.6	T< 1
1997	06-07-nov	5.3	T< 1	6.8	T< 1	18	T=10	31.3	T=2
1998	12-ago	15.6	T=20	30	T> 200	42	T=100	42	T=10
1999	20-ago	9.8	1<T< 2	13.2	1<T< 2	26.4	T=5	38	T=5
2000	24-lug	9.8	T=2	15.6	2<T< 5	32.4	10<T< 20	39.6	5<T< 10
2001	07-gen	22.4	T> 200	26.2	T=100	35.2	T=20	44.2	10<T< 20
2002	24-giu	10.8	2<T< 5	15.6	2<T< 5	17	T< 1	20.2	T< 1
2003	29-ago	23.6	T> 200	32.6	T> 200	44.2	100<T< 200	52.6	T=50
2004	15-set	9	1<T< 2	11.2	T=1	12.8	T< 1	13	T< 1
2005	18-lug	12.2	T=5	15.8	T=5	31	T=10	31	T=2

h_{MAX} = Altezza di pioggia massima registrata nell'anno per la corrispondente durata [mm]

Tabella 9 – Confronto tra le altezze di pioggia (per ciascuna durata) degli eventi più intensi registrate nella stazione di Val Torreggio, con le CPP ricavate dagli Annali Idrologici per Ganda di Lanzada

Anno	DATA EVENTO	DURATA DI PIOGGIA							
		30 MINUTI		1 ORA		3 ORE		6 ORE	
		h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.	h_{MAX} [mm]	TEMPO DI RITORNO CORRISP.
1999	20-ago	18.6	T=100	19.2	10<T< 20	38.2	T=50	46.8	T=6
2000	24-25-lug	9.5	T=1	18.4	T=10	38.5	T=50	47.3	T=6
2001	10-giu	8.4	T=1	13.6	T=2	32.4	10<T< 20	43.2	T=10
2002	19-giu	20.8	T=200	27.4	T=200	30.2	T=10	30.2	T=2
2003	29-ago	24.4	T=200	30.8	T=200	43.8	100<T< 200	52.2	T=50
2004	14-mar	7.2	T=1	8.4	T=1	11.6	T<1	23.2	T<1
2005	29-giu	13.2	T=10	14	T=2	14.8	T<1	16.2	T<1

h_{MAX} = Altezza di pioggia massima registrata nell'anno per la corrispondente durata [mm]

Si può osservare che non sempre gli eventi significativi per un'anno, coincidono con gli stessi che hanno fatto registrare le massime altezze di pioggia per le diverse durate.

In particolare si osserva che:

- gli eventi intensi sono tutti concentrati nei mesi estivi (giugno-agosto);
- nell'anno 1999 le precipitazioni in val Torreggio di durata mezz'ora hanno tempo di ritorno di 100 anni, che si riduce con l'aumentare della durata, mantenendo comunque un valore compreso tra i 10 e i 20 anni;
- negli anni 2002 e 2003 le precipitazioni in val Torreggio di durata mezz'ora e un'ora hanno tempo di ritorno di 200 anni. L'evento intenso del 2003 mantiene tempi di ritorno alti anche per le durate di 3 e 6 ore;
- negli anni 2004÷2005 l'intensità delle precipitazioni in val Torreggio è stata molto scarsa, in particolare per le durate di 3 e 6 ore;

Come accennato in premessa, una tale concentrazione di eventi così

significativi potrebbe far pensare (escludendo, per tutto quanto rilevato con le analisi di cui ai precedenti capitoli, che la stazione di Ganda non sia aderente alla realtà della Valmalenco) ad una sottostima degli eventi associati a tempi di ritorno con $T > 50$ anni da parte della curva che interpola i dati storici di Lanzada. Tale comportamento, tenendo conto che le curve di possibilità pluviometrica sono tracciate sulla base di numerosi dati nella zona medio-bassa e pochi dati nella zona alta, non è infrequente e per tale motivo la progettazione in oggetto non deve tendere (nonostante gli indicatori rilevati) a minimizzare i valori di portata (da Scais a Lanzada la differenza dei dati base è sensibile). Ciò comunque anche perché di fatto le registrazioni hanno dimostrato come negli ultimi 15 anni nell'asta del Torreggio sono transitate portate anche significative (cfr. capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** successivo).

5. PORTATA DI PIENA

5.1 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

La determinazione dell'onda di piena ritenuta critica è stata condotta impiegando opportune metodologie per la trasformazione afflussi-deflussi, partendo da piogge sintetiche critiche dedotte dalle curve di possibilità pluviometrica e assumendo, in questo procedimento, che la piena così ottenuta abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha prodotta.

I modelli impiegati per la trasformazione in deflussi dei cosiddetti afflussi netti, cioè depurati dalle perdite idrologiche (infiltrazione sotterranea, evapotraspirazione, ecc.), a partire dalle piogge sintetiche nette calcolate con il metodo descritto, procedono alla determinazione delle onde di piena prodotte nei bacini scolanti attraverso la trasformazione afflussi netti - deflussi eseguita mediante l'adozione di un modello idrologico lineare di tipo globale in grado di fornire la risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche e di rappresentare globalmente i fenomeni di infiltrazione e di trasformazione afflussi netti - deflussi.

La trasformazione afflussi netti-deflussi è effettuata attraverso l'applicazione di un modello lineare basato sulla teoria dell'idrogramma unitario istantaneo. La trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi viene eseguita numericamente attraverso la convoluzione di un idrogramma unitario istantaneo (IUH) scelto opportunamente tra i diversi tipi esistenti.

L'IUH racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che interessano la formazione delle piene, come per esempio la capacità di invaso ed il tempo di risposta del bacino.

Nel caso in esame è stato scelto l'IUH del metodo di corrivazione, date le caratteristiche del territorio, le elevate pendenze e la prevalenza della corrivazione sull'invaso.

La convoluzione fra l'idrogramma unitario istantaneo lo ietogramma netto di progetto di ciascun bacino consente di determinare l'onda di piena teorica che, con assegnato tempo di ritorno, può verificarsi nella sezione di chiusura del bacino.

5.2 IETOGRAMMI REALI

Per la taratura del modello sono stati determinati, come detto al precedente capitolo 4, gli idrogrammi reali a partire dalle piogge registrate dalla stazione di Torreggio nel 1999÷2005.

Per gli altri anni si è fatto riferimento, per quanto riportato sempre al capitolo 4, alla registrazioni della stazione di Ganda di Lanzada.

In entrambi i casi si è attuato un confronto con gli idrogrammi del Mallero tramite le registrazioni idrometriche di Torre S.Maria.

Partendo dalle osservazioni idrometriche sul Mallero a Torre S.Maria sono stati considerati, per tutti gli anni di registrazione, gli eventi caratteristici in termini di intensità e di durata dell'onda di piena. Questi sono stati confrontati con gli idrogrammi ricostruiti per la sezione di chiusura del Torreggio, utilizzando il modello afflussi-deflussi a partire dalle registrazioni pluviometriche reali di Val Torreggio (per gli anni 1999÷2005) e di Ganda di Lanzada (per gli anni dal 1987 al 1998). Questa procedura è stata utilizzata per ottenere coerenti coefficienti di taratura che tengano conto delle caratteristiche del bacino.

5.3 IETOGRAMMA DI PROGETTO

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche più o meno utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, è stato qui utilizzato lo ietogramma Chicago, le cui caratteristiche principali sono: l'andamento temporale non costante dell'intensità di precipitazione; la presenza di un picco d'intensità all'interno della durata complessiva dell'evento; la congruità esistente tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica per qualsiasi durata t minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo.

Lo ietogramma Chicago è poco sensibile alla variazione della durata totale dell'evento meteorico e contiene in sé, proprio per il modo in cui è costruito, le piogge critiche per tutte le durate parziali; lo stesso ietogramma può essere utilizzato per tutti i sottobacini di uno stesso bacino, purché la durata dell'evento di progetto sia sicuramente maggiore del tempo di corrivazione del bacino complessivo.

Lo ietogramma Chicago, rispetto ad altri tipi di ietogramma, è più aderente alla realtà degli eventi meteorici intensi i quali non sono mai caratterizzati da un andamento temporale costante delle precipitazioni; inoltre si verifica che i picchi d'intensità sono i maggiori responsabili dei colmi di piena specialmente nei bacini di piccole e medie dimensioni.

Per il calcolo dello ietogramma ci si è avvalsi di un software che richiede come dati in ingresso: i parametri a e n della prescelta CPP, la durata della pioggia; il parametro r dello ietogramma Chicago.

La durata dello ietogramma è stato assunto pari a 6 ore e il parametro r è stato

assunto pari a 0,5.

Lo ietogramma determinato secondo il procedimento descritto rappresenta la pioggia che cade nel bacino.

Nell'alveo non viene convogliata la totalità delle precipitazioni che interessano il bacino in quanto, a causa delle perdite idrologiche, una parte della pioggia viene dispersa. Per la valutazione delle perdite idrologiche si è utilizzato sia il metodo proporzionale, il quale consiste nell'adozione di un coefficiente di afflusso ϕ (rapporto tra volume di pioggia netta e volume di pioggia lorda) assunto costante nel tempo, sia il metodo CN.

5.4 SCELTA DEL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO

Per la definizione del coefficiente d'afflusso si è fatto riferimento:

- allo studio relativo alle Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri, di cui sono stati analizzati i valori della portata specifica massima, che è stata confrontata con la portata specifica assunta dai precedenti studi ($8 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$). Sono state considerate le stazioni di Prese Poschiavo e quelle di Pontresina facenti parte dei bacini di Berninabach e di Rosegbach. La prima è stata scelta in base alla sua collocazione geografica, prossima a quella del bacino del Torreggio, che potrebbe rappresentarla sia dal punto di vista pluviometrico che come uso del suolo; le altre due seppure più lontane geograficamente sono state considerate per verificare le conclusioni ottenute. Dalle analisi emerge che a Prese Poschiavo il valore storico di contributo specifico di piena, associato alla piena centennale, è pari a $0,8 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ (portata massima di $135 \text{ m}^3/\text{s}$ su una superficie del bacino di 169 km^2) contro gli $8 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$

calcolati nel Torreggio (che corrisponderebbe ad un coefficiente di afflusso di 0,9). Considerando allo stesso modo, le stazioni di Pontresina, sono stati ricavati come coefficienti idrometrici i valori di $1,2 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ ed $1,7 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ rispettivamente; questi risultano in ogni caso decisamente inferiori agli $8 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ del Torreggio calcolati nel 1990 (a partire da Scais) ed ai $6,7 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ calcolati nel 1996. Di conseguenza, accettando che si abbia il medesimo regime pluviometrico sia a Prese Poschiavo che nel bacino de Torreggio, il valore del coefficiente di afflusso ricavato nei precedenti studi, ammettendo portate di circa $170\div 200 \text{ m}^3/\text{s}$, risulta eccessivo e dovrebbe essere sostituito con un valore nettamente inferiore (pari a 0,3 o 0,4);

- al confronto degli idrogrammi calcolati per il Torreggio a partire dagli eventi degli anni 1999÷2005 con gli idrogrammi registrati nel Mallero. Dal confronto di questi due serie di idrogrammi, si evince che coefficienti di afflusso di 0.9 portano a onde di piena derivanti dal Torreggio addirittura superiori a quelle osservate nel Mallero. Ciò fa escludere quindi coefficienti così elevati.

Assumendo, come ci è parso verosimile un valore di CN pari a 85 e di I_a pari a 5 mm, si è ricavato un valore del coefficiente di afflusso pari a 0.63, che assumeremo per il calcolo della portate di piena.

Nelle seguenti figure sono riportati alcuni idrogrammi di confronto tra i dati registrati all'idrometro di Torre S.Maria e le portate ricavate per il Torreggio con il modello afflussi-deflussi.

Figura 35 – Evento del 24÷28 luglio 2000

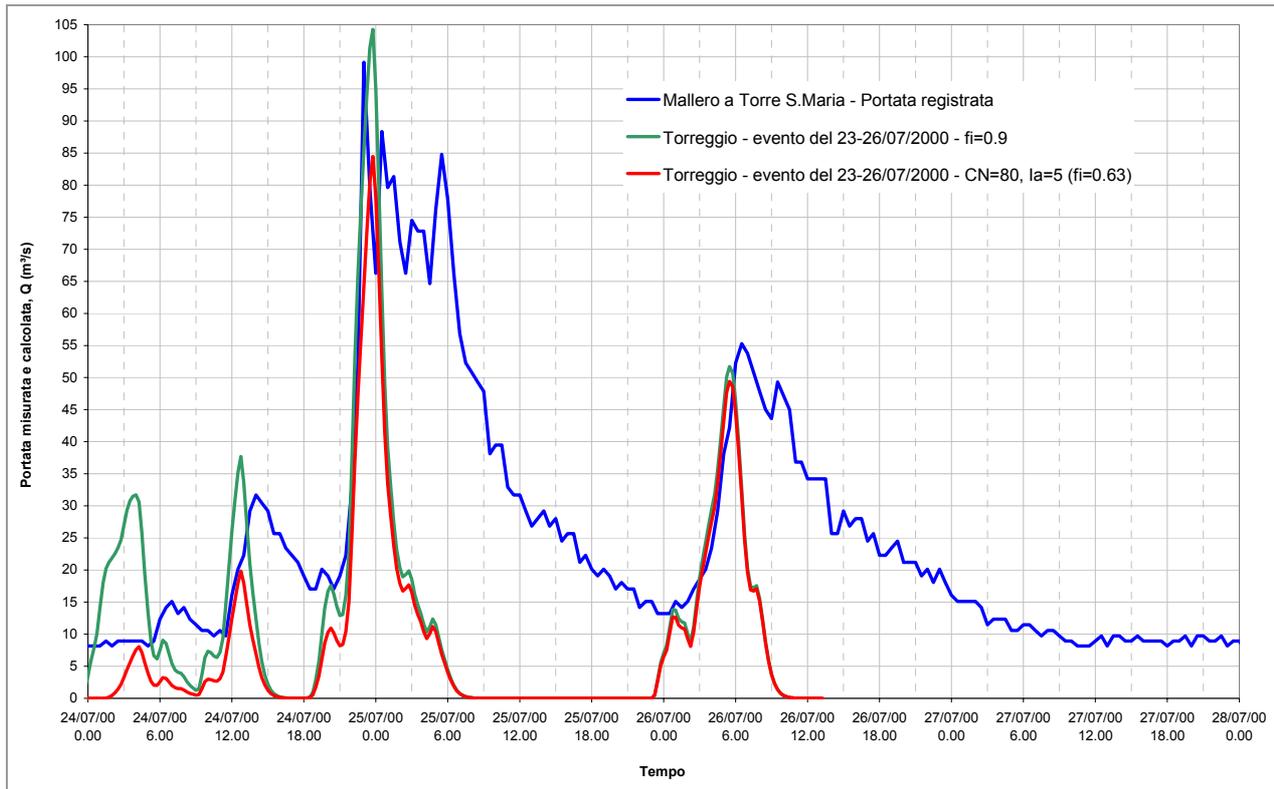


Figura 36 – Evento del 11÷17 ottobre 2000

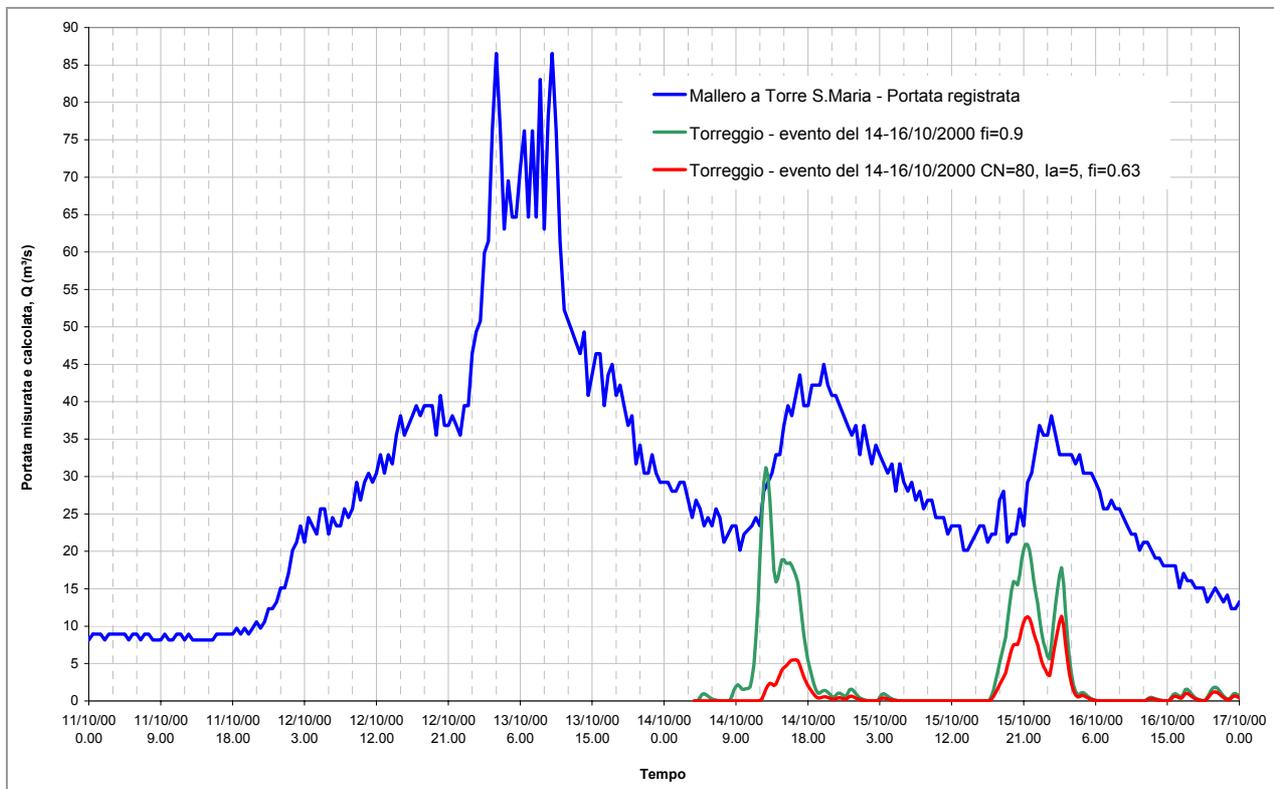


Figura 37 – Evento del 13÷18 novembre 2000

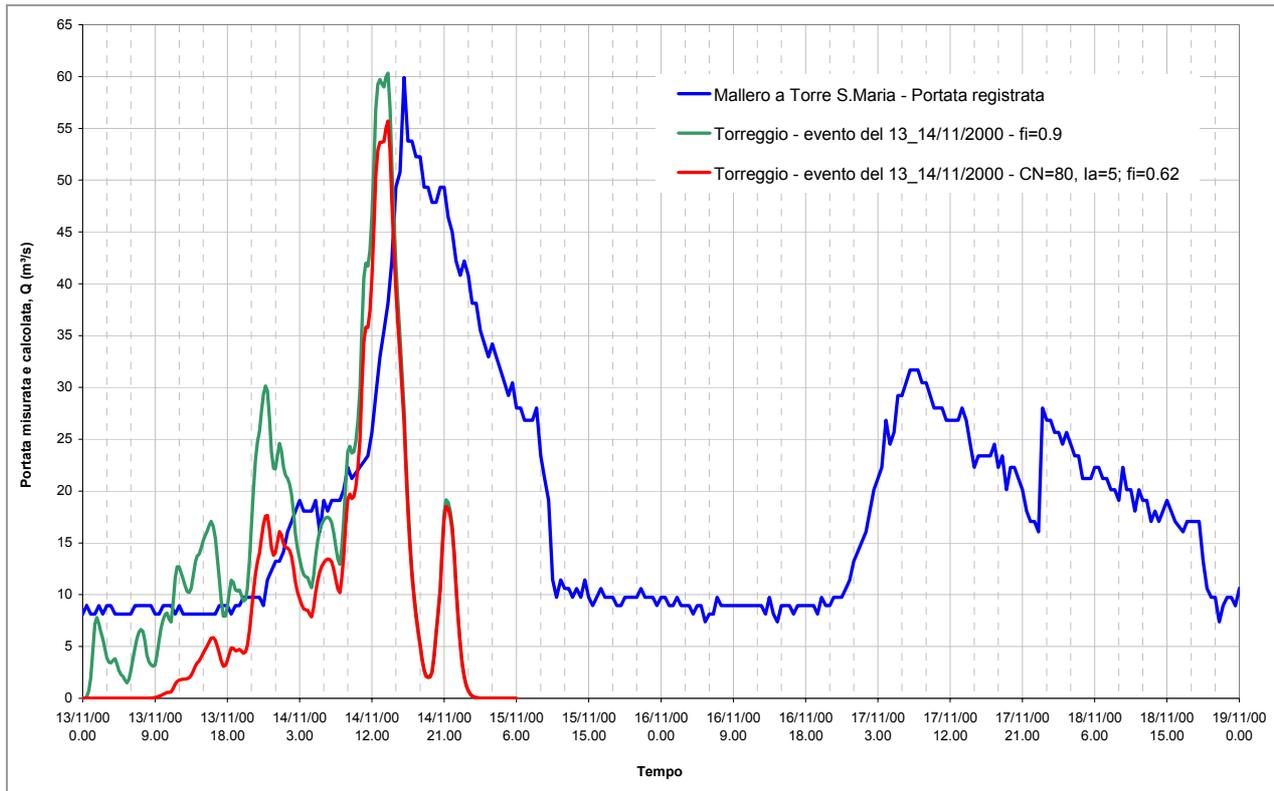


Figura 38 – Evento del 8÷14 giugno 2001

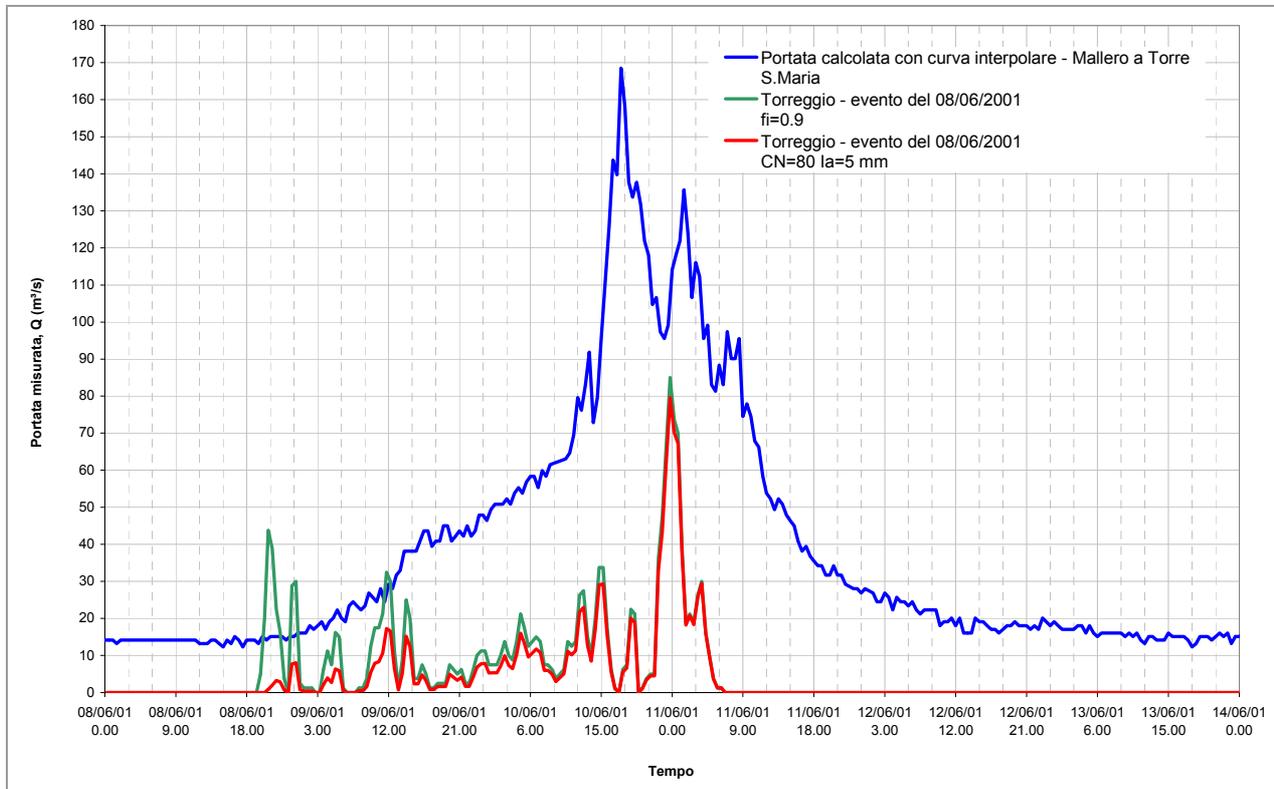


Figura 39 – Evento del 16÷18 novembre 2002

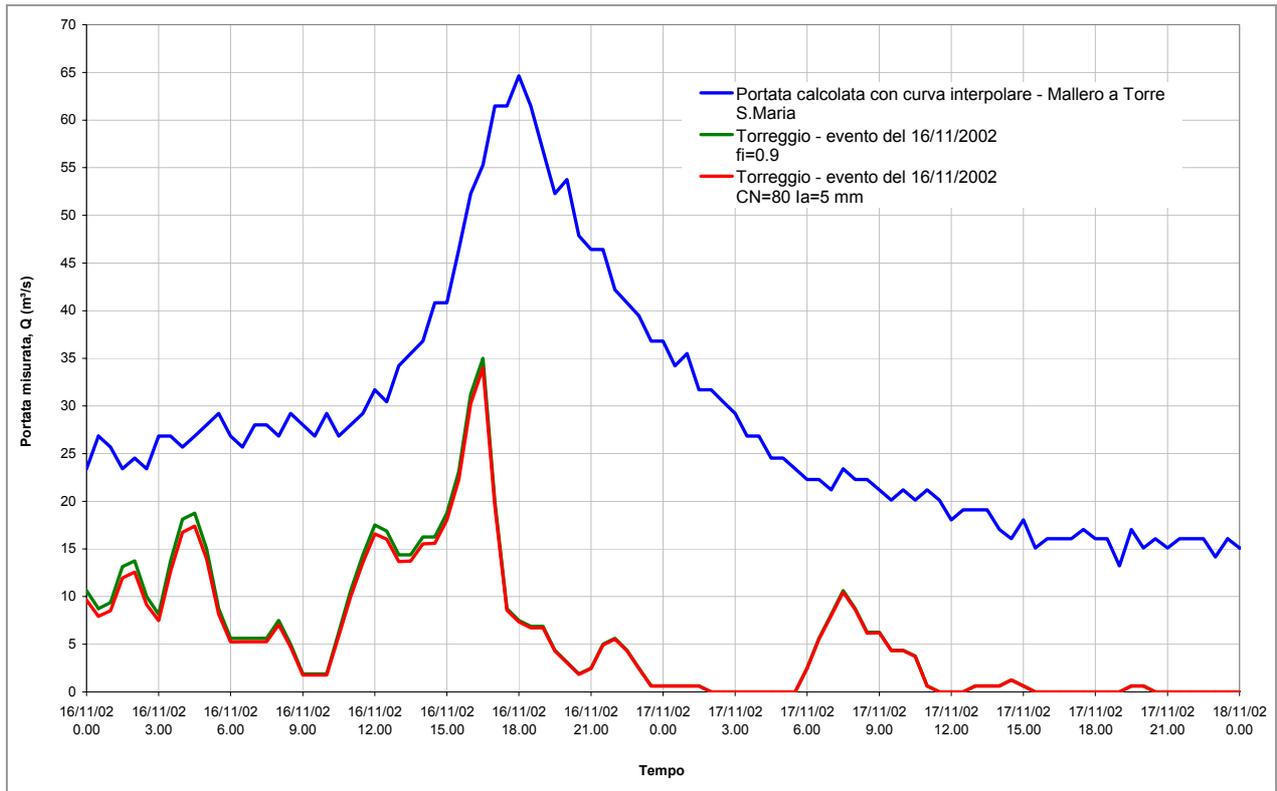
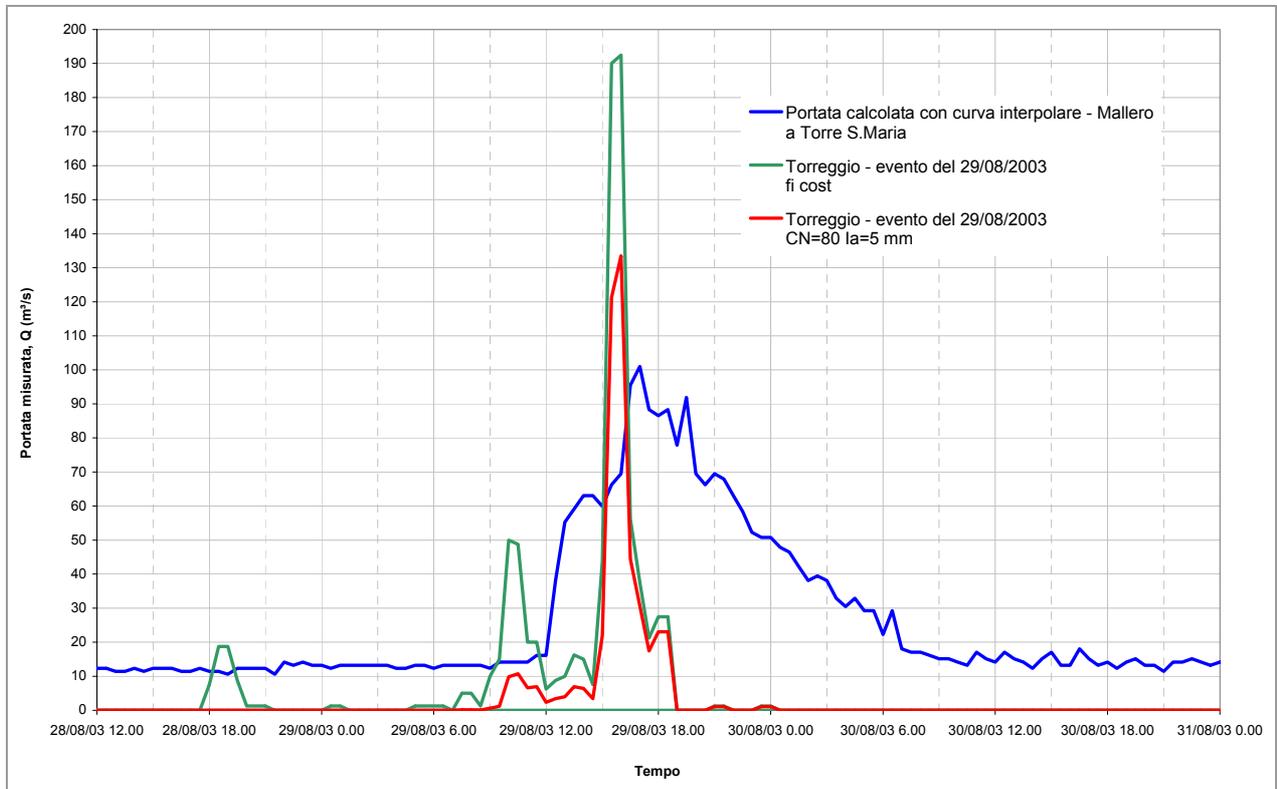


Figura 40 – Evento del 28÷31 agosto 2003



5.5 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA

Assumendo pertanto a favore di sicurezza $CN=85$ e di $I_a=5$ mm è stata calcolata la portata relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni ottenendo il valore di $72,8$ m³/s. Tale valore sembrerebbe in linea con le statistiche delle stazioni idrometriche svizzere.

Considerando, tuttavia, la variabilità della risposta del bacino a seconda delle condizioni precedenti l'evento (piogge nelle 24/48 ore precedenti) e assumendo pertanto $CN=91$ e $I_a=0$, si ottiene un coefficiente di afflusso di $0,70$, e quindi il valore di portata, per un tempo di ritorno di 200 anni, di 121 m³/s assunto a base dei calcoli.

Come già detto in altre parti del progetto, tale valore non conduce comunque ad un sovradimensionamento delle opere, in quanto le condizioni di verifica delle opere nella zona più sollecitata (a valle del piede di frana A) sono state assunte pari alle ipotesi di collasso dell'ipotetico sbarramento (quindi con portata ben maggiore di quella sopra calcolata).

Milano, dicembre 2006

I PROGETTISTI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

Dott. Geol. Lamberto Griffini

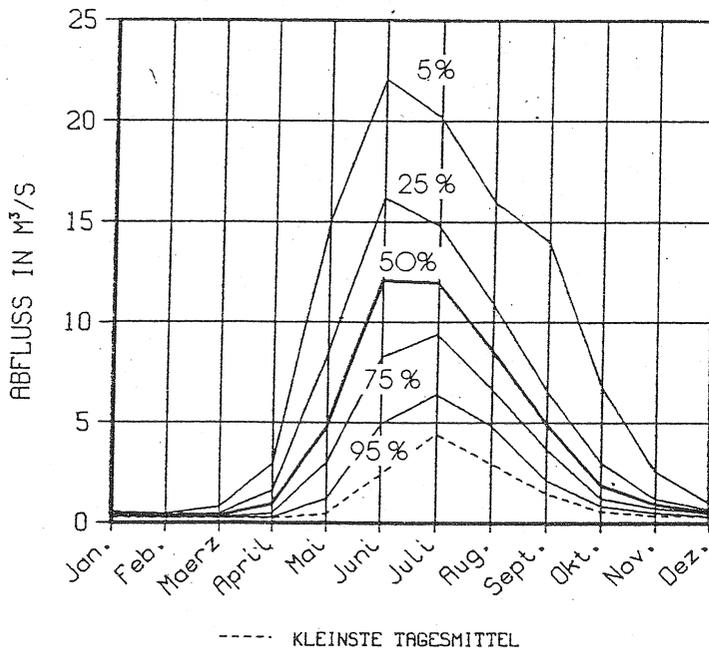
ALLEGATO 1

Serie storiche stazioni idrometriche svizzere

1. Beschreibung der Station

Datenbanknummer	782
Standortkoordinaten	789 440 / 151 320
Stationshöhe	1804 m ü.M.
Einzugsgebietsgrösse	107 km ²
Beobachtungsperiode	1954-1984
Betriebsunterbruch	---
Messgeräte Messmethoden	Limnigraph Flügel an Stange
Gerinnestabilität	veränderlich
Höchste Abflussmessung	49,9 m ³ /s
Grösste gemessene mittlere Geschwindigkeit	3,54 m/s

2. Angaben zum Regime



Mittlerer Jahresabfluss
über die Untersuchungs-
periode:

1955-84: 4,47 m³/s

Mittlerer spezifischer
Abfluss:

41,8 l/s*km²

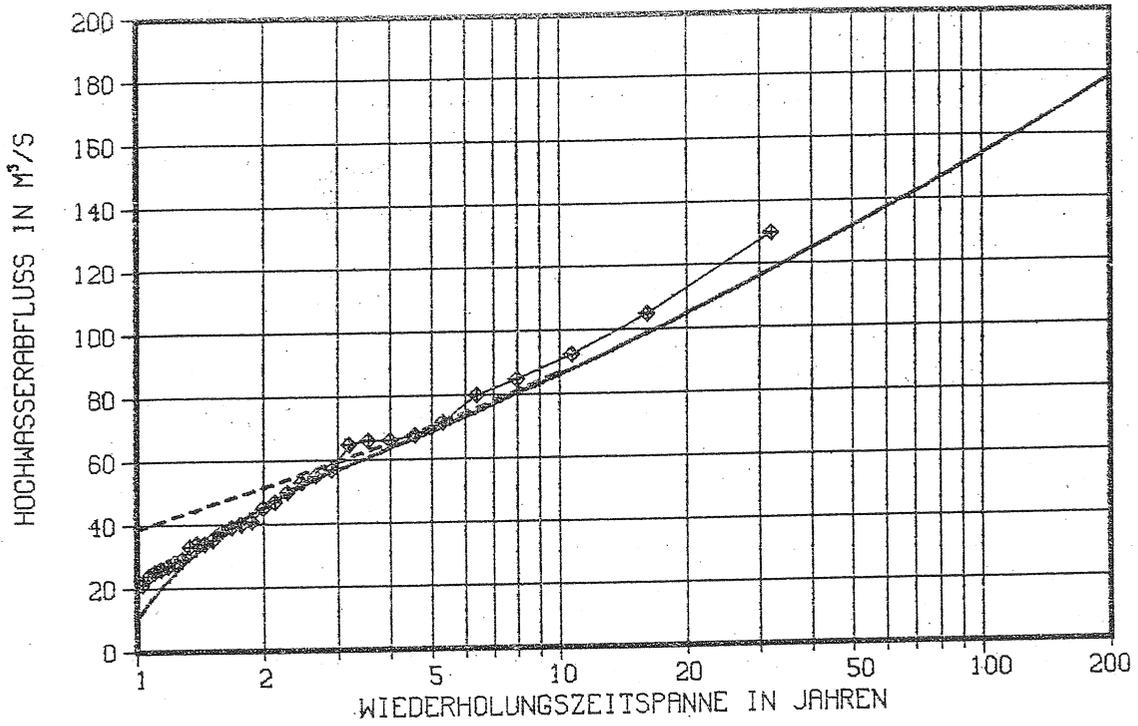
Maximaler spezifischer
Abfluss:

1215 l/s*km²

Dauer der Abflussmengen für die
Untersuchungsperiode 1955-1984

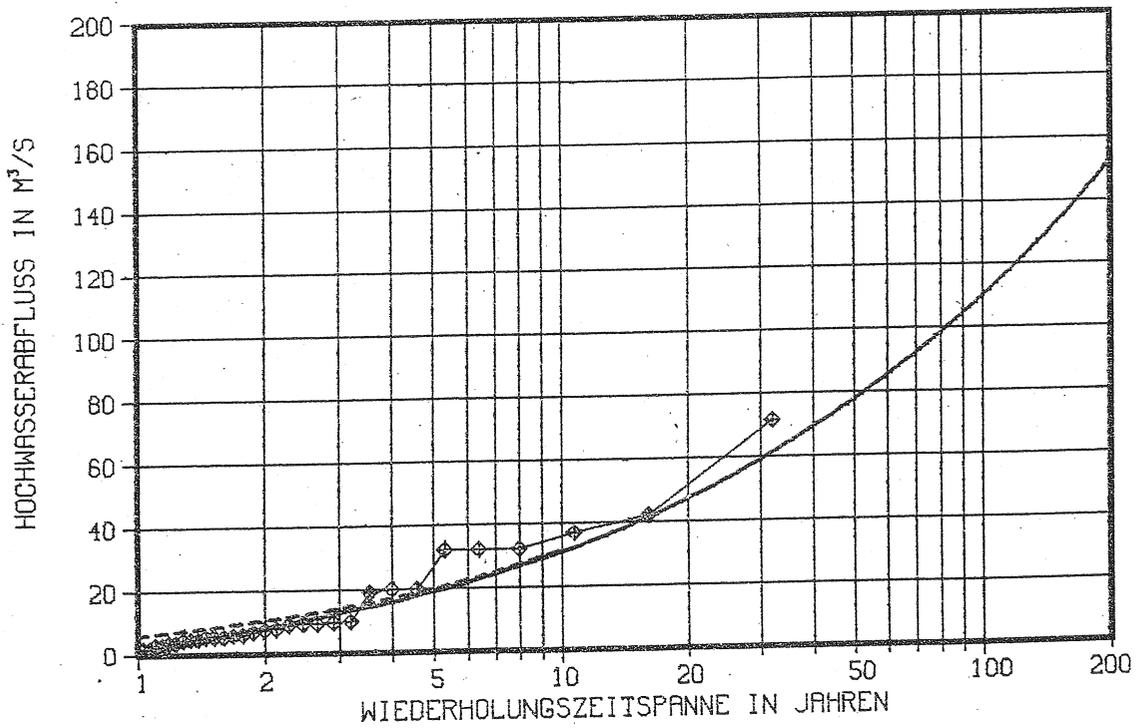
Beeinflussung des Regimes: Gering durch Trinkwasserableitung.

Bemerkung: Hydrologisches Untersuchungsgebiet. Hochwasser vom
18./19.7.1987 166 m³/s, vom 24./25.8.1987 103 m³/s.
(bisheriges Maximum 130 m³/s)



----- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

Hochwasserwahrscheinlichkeit basierend auf den jährlichen Hochwasserspitzen der Untersuchungsperiode 1954-1984

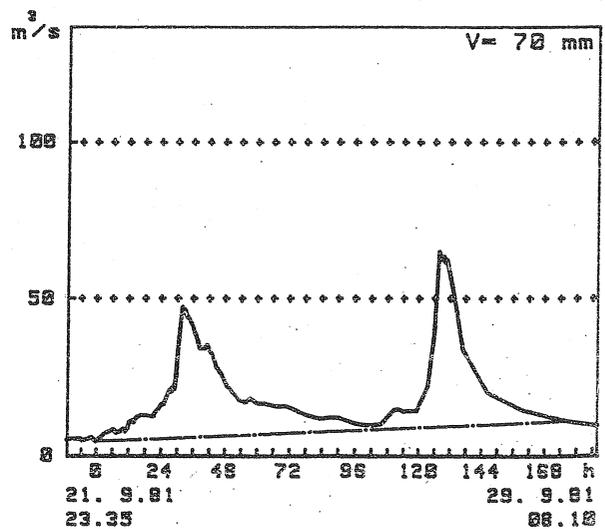
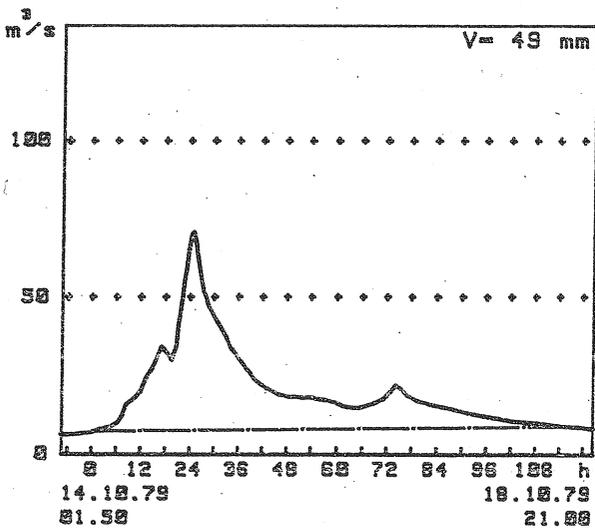
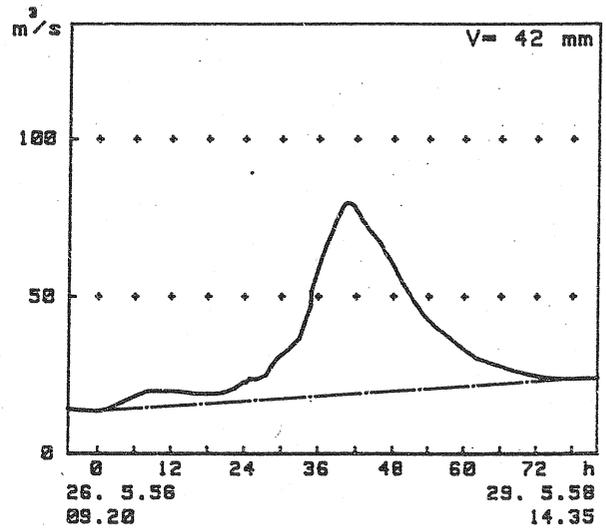
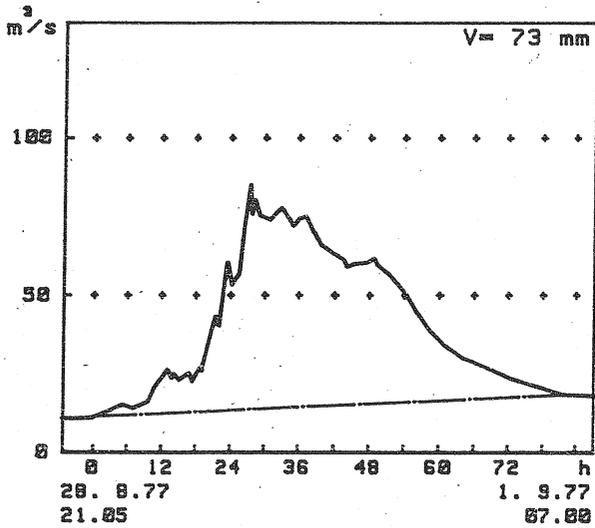
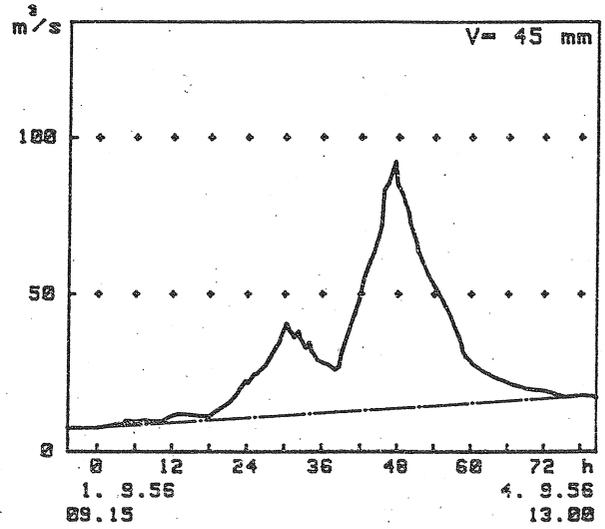
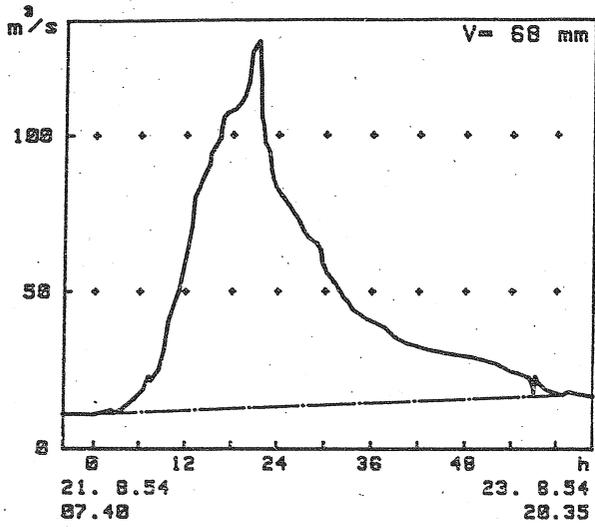


----- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

Hochwasserwahrscheinlichkeit basierend auf den Winter-Hochwasserspitzen der Untersuchungsperiode 1954-1984

3.2 Hochwasserfrachten

BERNINABACH PONTRESINA

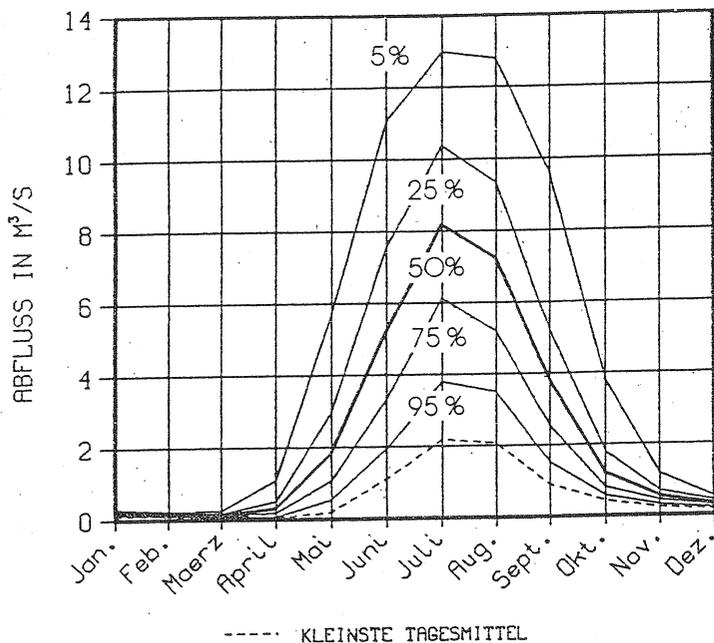


V: Abflussvolumen ohne Basisabfluss in mm

1. Beschreibung der Station

Datenbanknummer	468 / 778
Standortkoordinaten	788 780 / 151 680
Stationshöhe	1766 m ü.M.
Einzugsgebietsgrösse	66,5 km ²
Beobachtungsperiode	1911-1921 / 1954-1984
Betriebsunterbruch	1922-1953
Messgeräte Messmethoden	Limnigraph seit 1954 Flügel an Stange
Gerinnestabilität	veränderlich
Höchste Abflussmessung	29,3 m ³ /s
Grösste gemessene mittlere Geschwindigkeit	2,46 m/s

2. Angaben zum Regime



Mittlerer Jahresabfluss
über die Untersuchungs-
periode:

1955-84: 2,67 m³/s

Mittlerer spezifischer
Abfluss:

40,2 l/s*km²

Maximaler spezifischer
Abfluss:

1729 l/s*km²

Dauer der Abflussmengen für die
Untersuchungsperiode 1955-1984

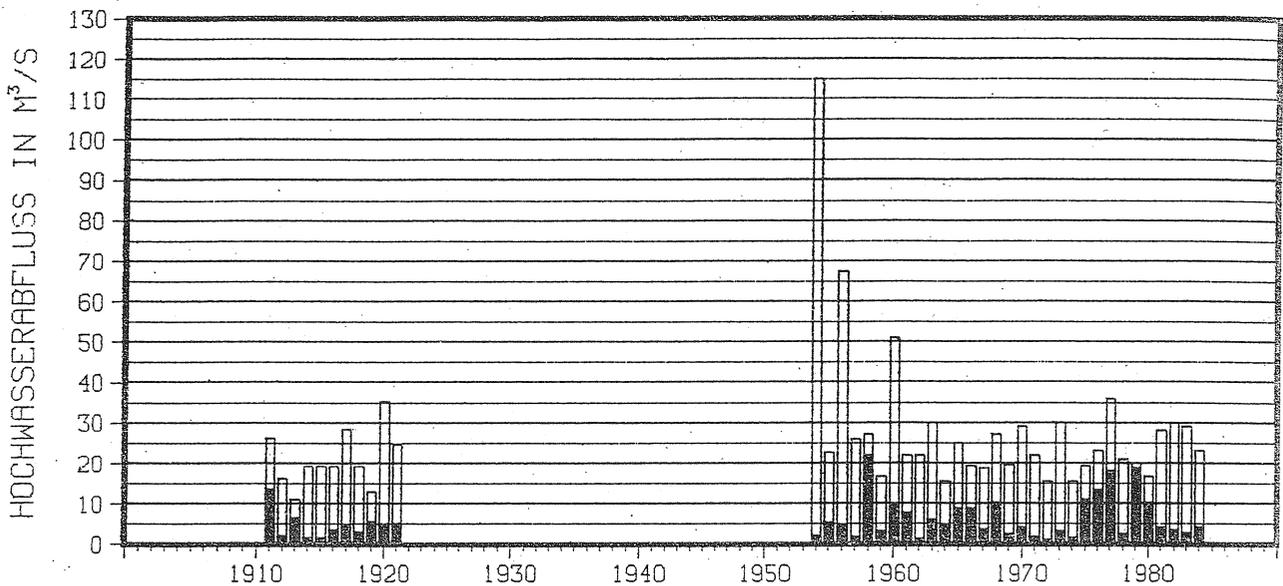
Beeinflussung des Regimes: Trinkwasserableitung.

Bemerkung: Hydrologisches Untersuchungsgebiet. Hochwasser vom
18./19.7.1987 55 m³/s, vom 24./25.8.1987 49 m³/s.
(bisheriges Maximum 115 m³/s)

3. Hochwasserabflüsse

3.1 Hochwasserspitzen

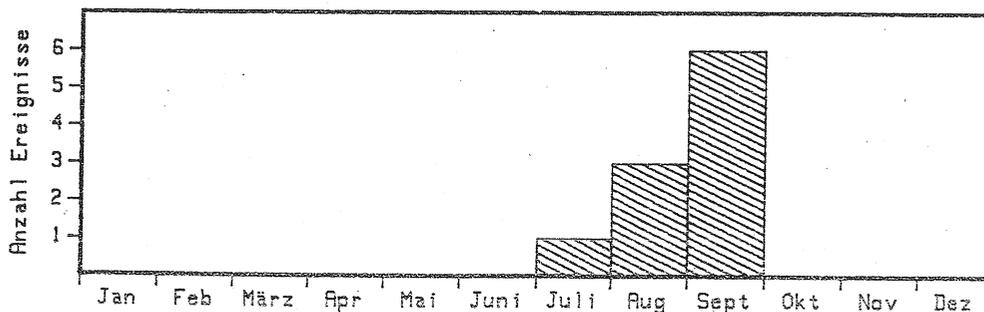
Jahresmax.  Jahresmax.
 ▲ Sommermax.  ▲ Wintermax.
 Wintermax.  Sommermax. 



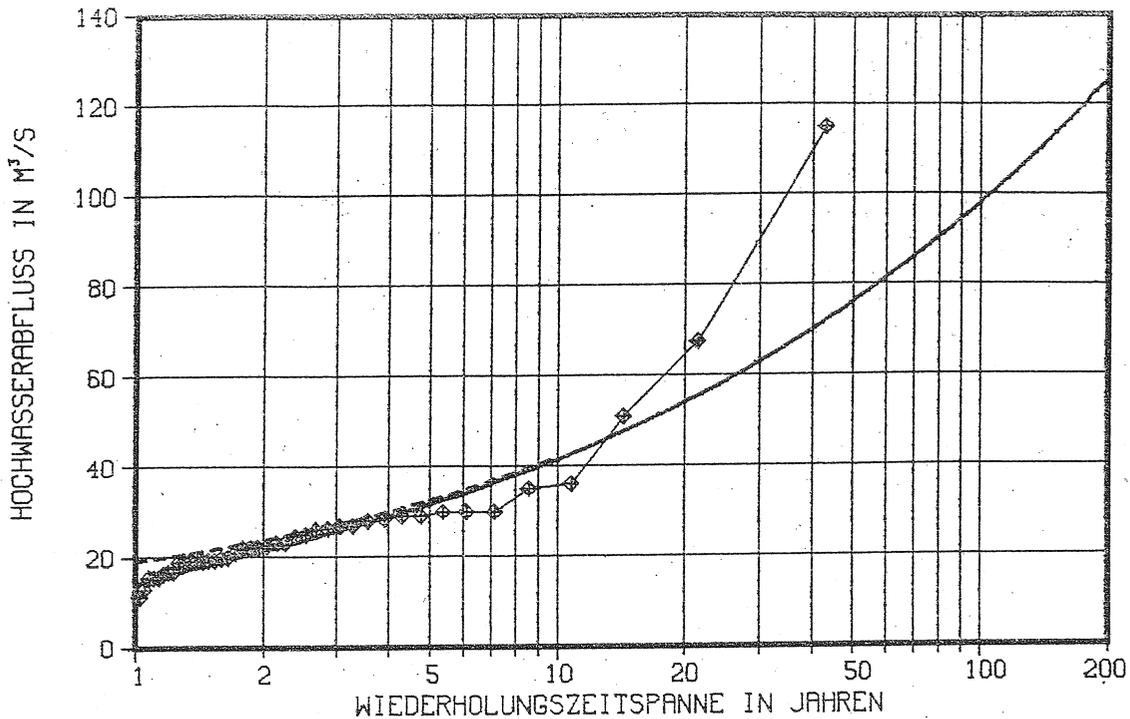
Grösste Sommer- und Winter-Hochwasserabflüsse der Beobachtungsperiode 1954 - 1984

	MAXIMAL- WERT	MINIMAL- WERT	MITTEL- WERT	STANDARD- ABWEICHUNG	SCHIEFE	VARIATIONS- KOEFFIZIENT
JANUAR	0.4	0.2	0.28	0.06	0.34	0.23
FEBRUAR	0.3	0.1	0.20	0.05	0.45	0.25
MAERZ	0.5	0.1	0.22	0.10	0.90	0.45
APRIL	4.1	0.2	1.03	0.81	2.00	0.78
MAI	27.0	1.8	6.61	4.79	2.49	0.73
JUNI	26.0	9.3	13.52	4.09	1.47	0.30
JULI	30.0	11.3	17.74	3.52	1.16	0.20
AUGUST	115.0	8.4	22.08	18.20	4.26	0.82
SEPTEMBER	67.5	4.0	17.34	13.79	1.95	0.80
OKTOBER	22.0	1.0	6.21	5.52	1.41	0.89
NOVEMBER	10.2	0.5	1.60	1.93	3.24	1.21
DEZEMBER	0.7	0.2	0.45	0.12	0.05	0.28
SOMMER	115.0	15.4	28.47	19.22	3.20	0.68
WINTER	22.0	1.0	6.57	5.47	1.29	0.83
JAHR	115.0	15.4	28.47	19.22	3.20	0.68

Statistik der Hochwasserabflüsse der Untersuchungsperiode 1954 - 1984

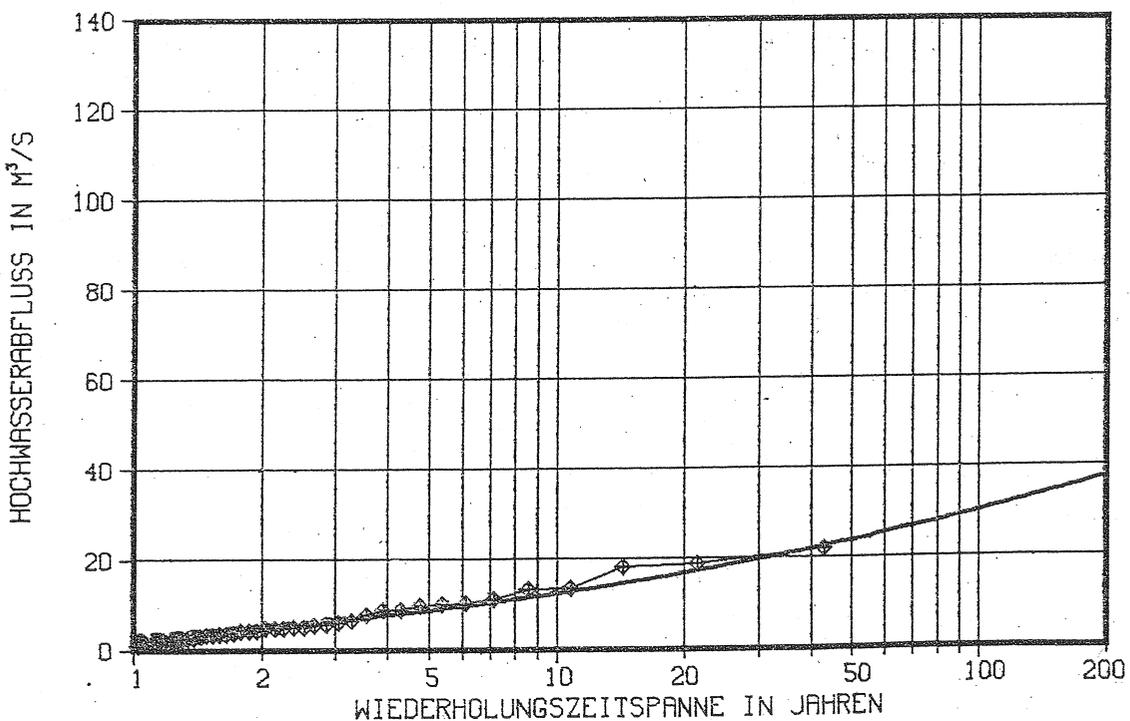


Jahreszeitliche Verteilung der 10 höchsten Abflüsse der Untersuchungsperiode 1954 - 1984



----- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

Hochwasserwahrscheinlichkeit basierend auf den jährlichen Hochwasserspitzen der Untersuchungsperiode 1911-1921 und 1954-1984

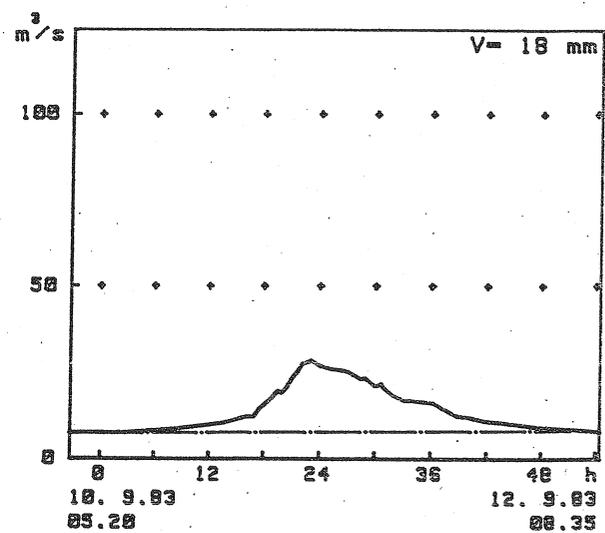
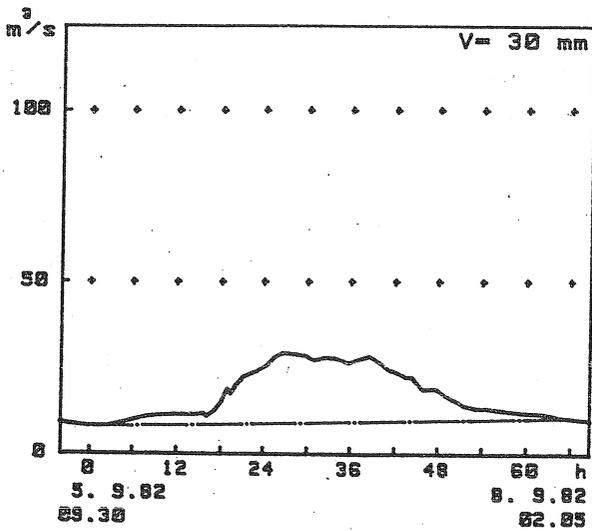
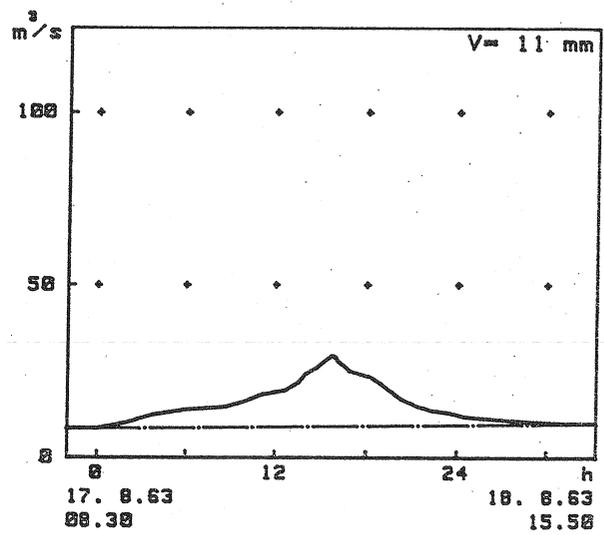
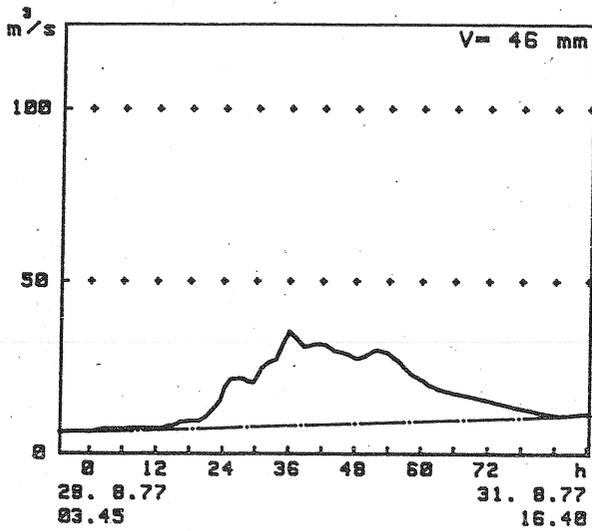
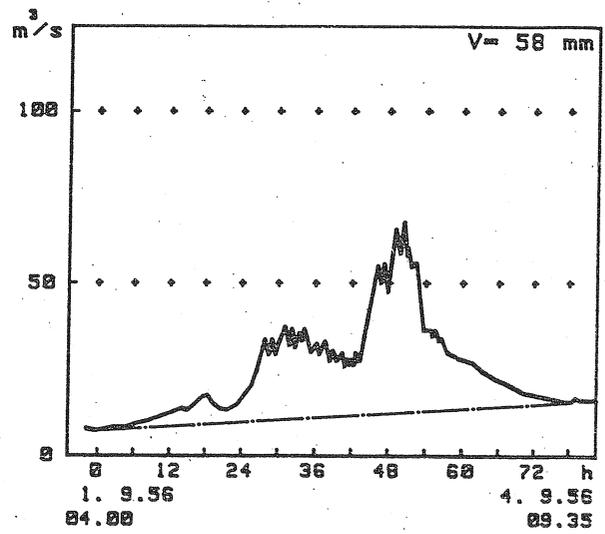
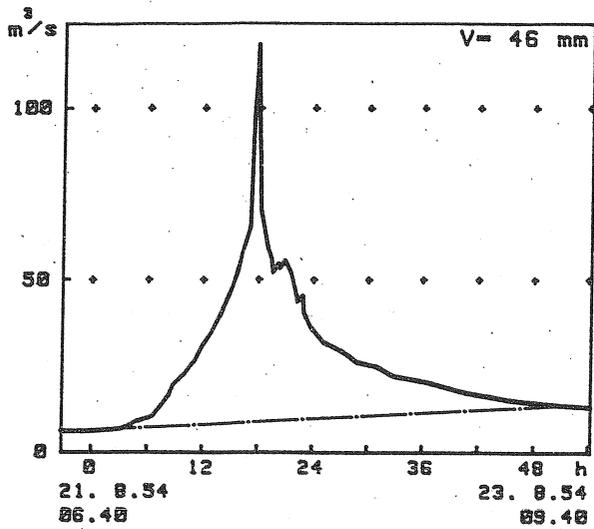


----- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

Hochwasserwahrscheinlichkeit basierend auf den Winter-Hochwasserspitzen der Untersuchungsperiode 1911-1921 und 1954-1984

3.2 Hochwasserfrachten

ROSEGBACH PONTRESINA

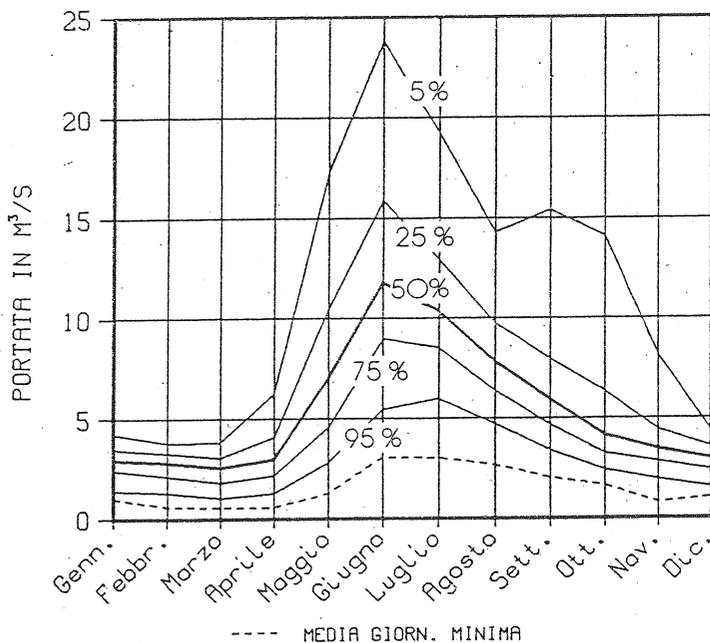


V: Abflussvolumen ohne Basisabfluss in mm

1. Descrizione della stazione

No banca dei dati	1064
Coordinate	803 490 / 130 520
Altitudine	967 m. s. m.
Superficie del bacino imbrifero	169 km ²
Periodo di osservazione	1931-1984
Interruzione di esercizio	---
Istrumenti di misura/ Metodi di misura	limnigrafo con mulinello su asta
Stabilità dell'alveo	variabile
Portata massima misurata	27,7 m ³ /s
Massima velocità media determinata	2,17 m/s

2. Indicazioni sul regime



Durata delle portate del periodo
considerato 1931-1984

Portata media annuale
del periodo conside-
rato:

1931-84: 6,03 m³/s

Portata specifica
media:

35,7 l/s*km²

Portata specifica
massima:

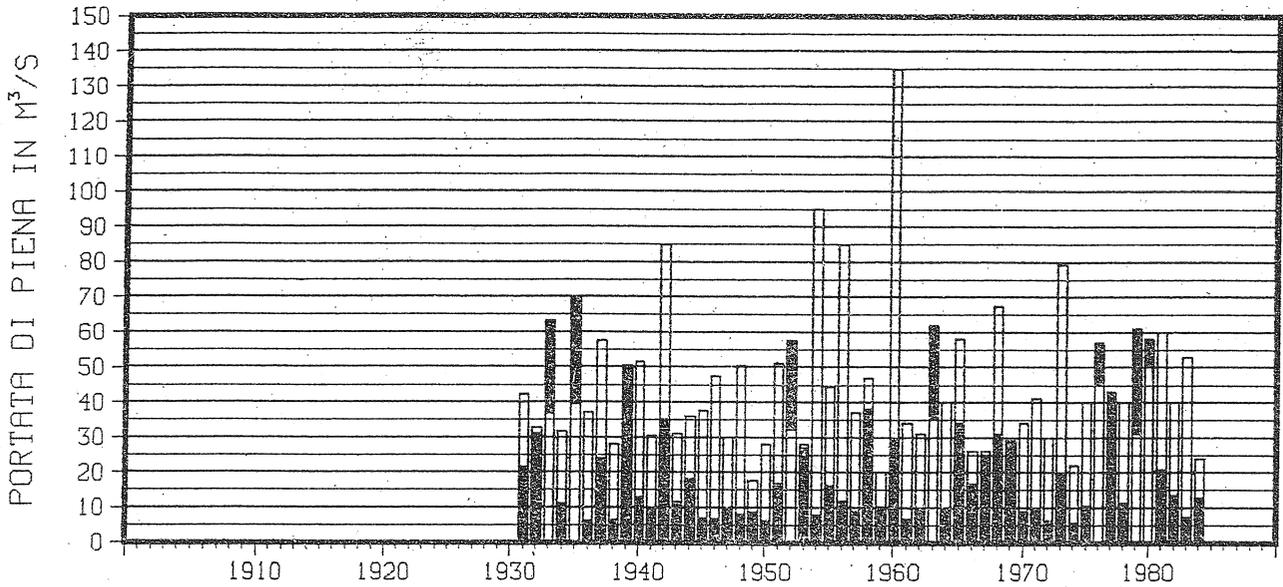
799 l/s*km²

Fattori influenti sul regime: esercitato dagli impianti idroelettrici.

Oservazione: compreso Canale industriale a Le Prese. Piena del 18./19.7.1987
135 m³/s, del 24./25.8.1987 : 55,6 m³/s (massimo finora : 135 m³/s).

3. Portate di piena

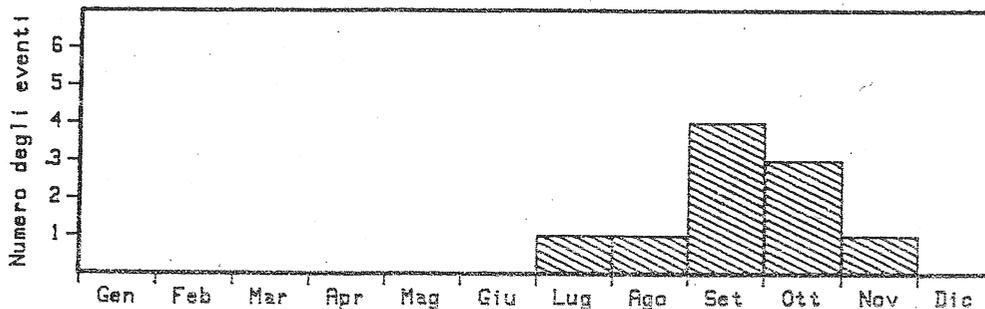
3.1 Ponte



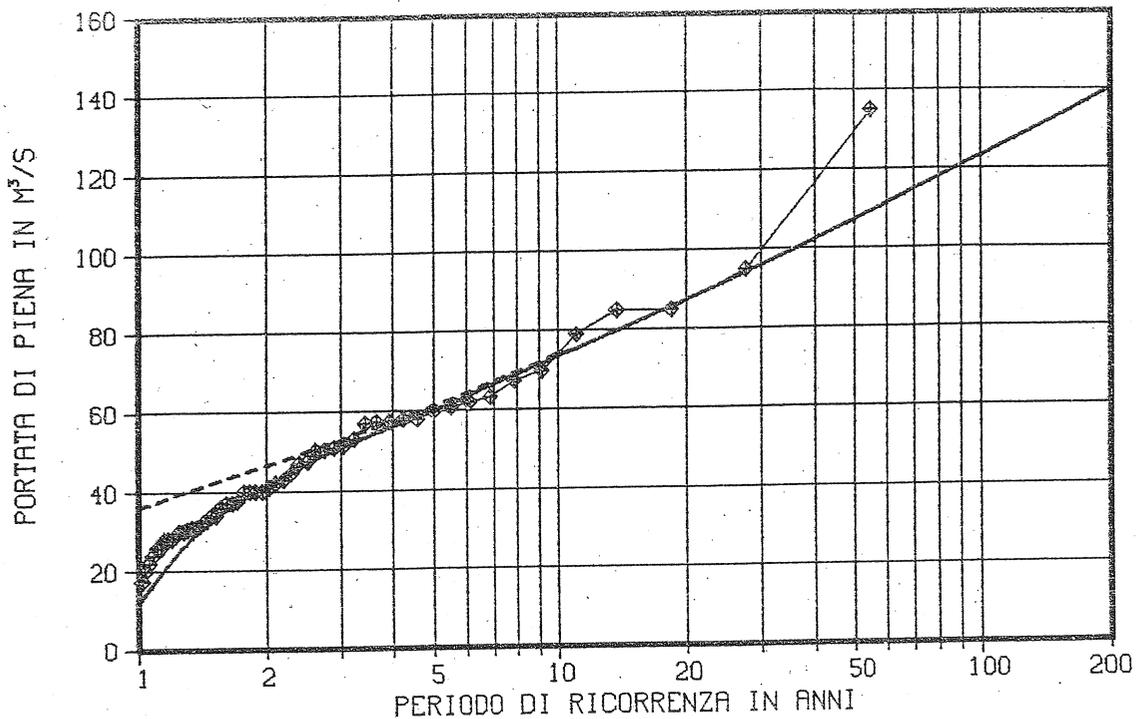
Piense massime estive e invernali del periodo di osservazione 1931 - 1984

	VALORE MASSIMO	VALORE MINIMO	VALORE MEDIO	SCARTO TIPO	ASIM-METRIA	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE
GENNAIO	11.5	3.4	5.65	1.35	1.74	0.24
FEBBRAIO	9.6	3.1	5.19	1.20	1.10	0.23
MARZO	21.0	3.0	5.49	2.46	4.62	0.45
APRILE	26.0	3.0	7.78	4.02	2.30	0.52
MAGGIO	53.0	5.2	19.70	11.02	1.32	0.56
GIUGNO	50.5	10.0	26.58	9.06	0.33	0.34
LUGLIO	79.0	10.9	24.77	11.95	2.12	0.48
AGOSTO	95.0	8.6	24.84	14.67	2.18	0.59
SETTEMBRE	135.0	5.7	27.55	24.07	2.22	0.87
OTTOBRE	70.0	4.3	19.66	18.17	1.37	0.92
NOVEMBRE	62.0	4.0	10.20	9.89	3.26	0.97
DICEMBRE	9.9	3.8	5.79	1.37	1.03	0.24
ESTATE	135.0	17.5	43.61	20.80	2.09	0.48
INVERNO	70.0	5.7	22.41	18.40	1.17	0.82
ANNO	135.0	17.5	46.54	21.41	1.60	0.46

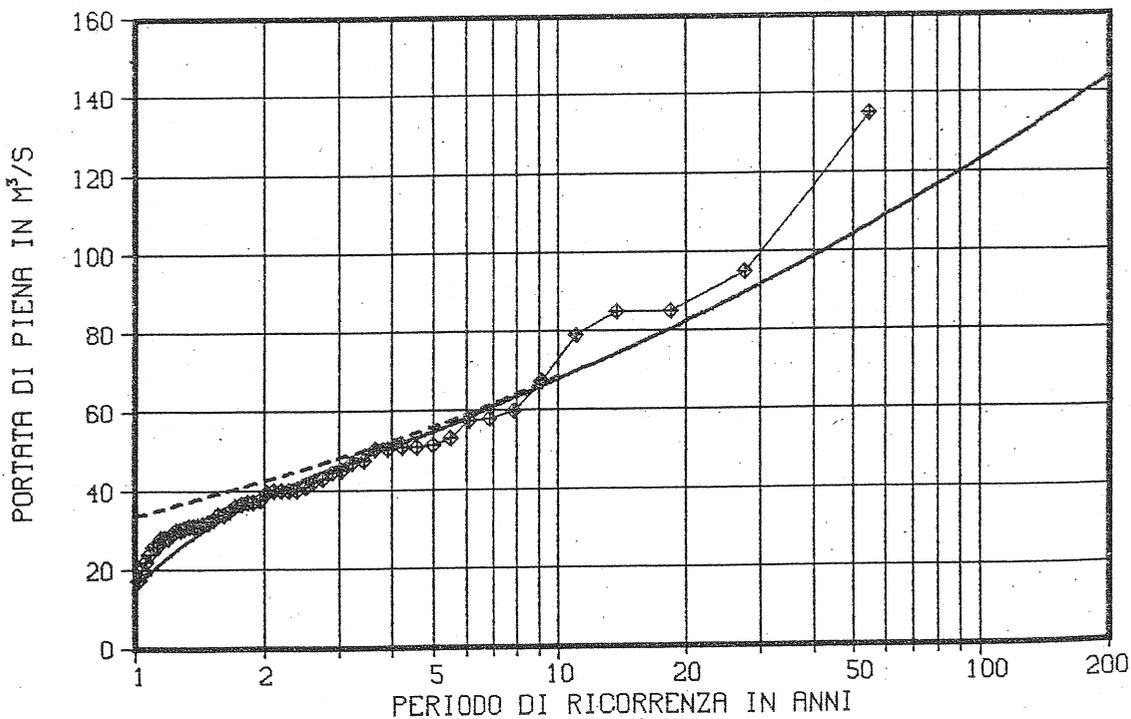
Statistica delle piene del periodo considerato 1931 - 1984



Ripartizione annuale delle 10 massime portate del periodo considerato 1931 - 1984



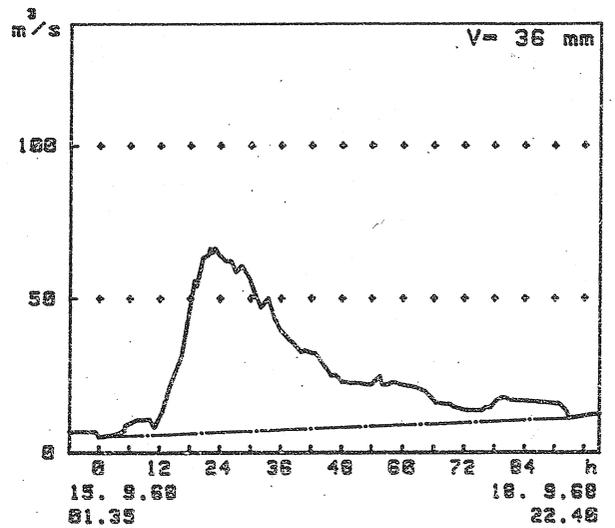
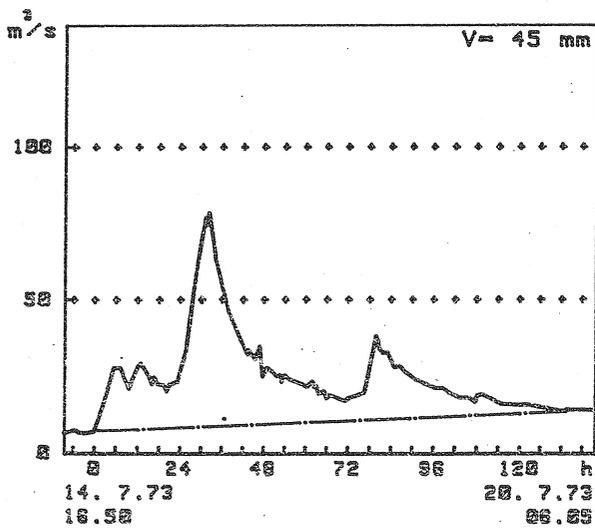
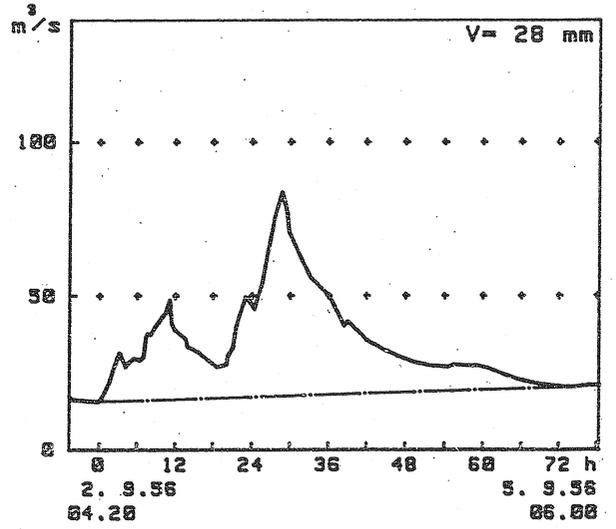
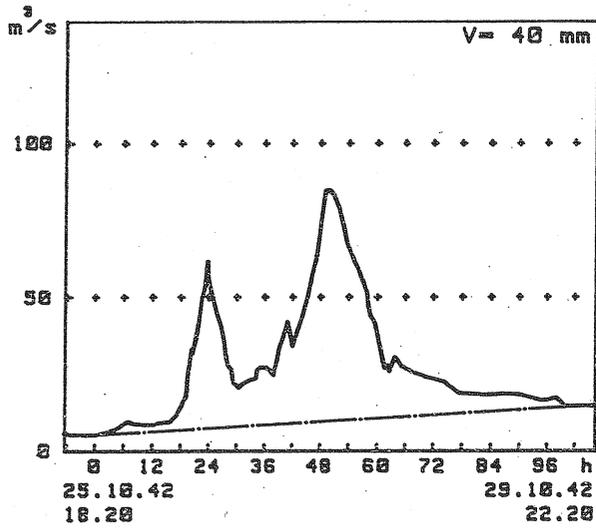
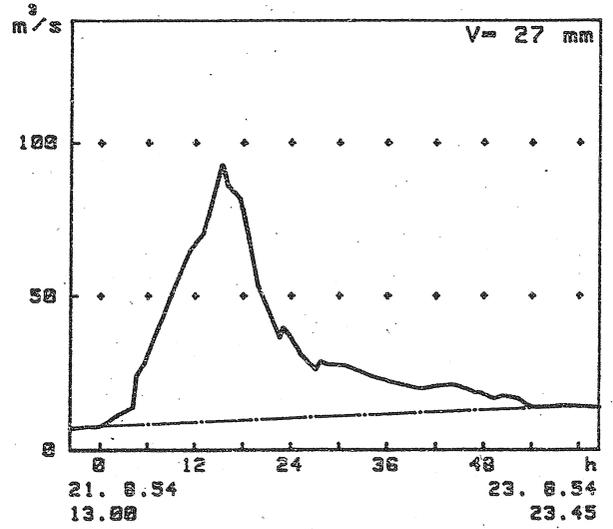
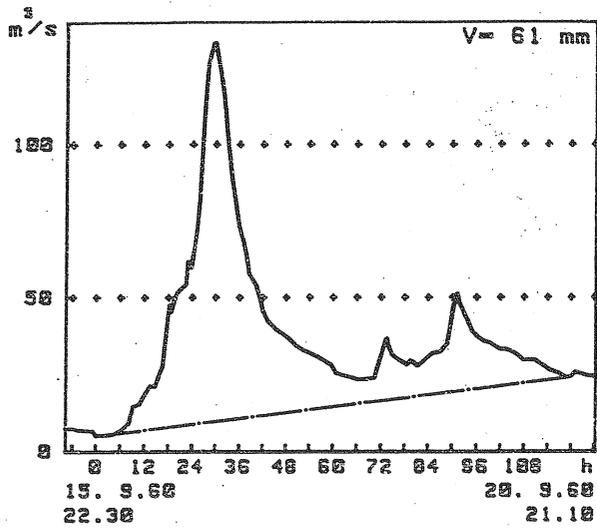
----- CURVA PER PERIODO DI RICORRENZA INFERIORE AI 15 ANNI
Probabilità di piena fondata sulle punte annuali del periodo considerato 1931-1984



----- CURVA PER PERIODO DI RICORRENZA INFERIORE AI 15 ANNI
Probabilità di piena fondata sulle punte estive del periodo considerato 1931-1984

3.2 Volumi di piene defluiti

POSCHIARVINO LE PRESE



V: Volume di deflusso senza il volume di soglia in mm