

ANALISI DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DI MESTRE (VE) DEL 26 SETTEMBRE 2007

T. Settin¹, G. Egiatti¹, G. Formentini¹, F. Rech¹ & I. Saccardo¹

(1) Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto –
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio, Belluno, Italy

SOMMARIO

La nota riporta un'analisi dell'evento di precipitazione verificatosi nell'entroterra veneziano il 26 settembre 2007. Le intense precipitazioni concentrate nell'arco di poche ore hanno determinato diffusi fenomeni di allagamento e notevoli disagi e danni. Mediante l'analisi puntuale e spazialmente distribuita delle osservazioni pluviometriche è stato possibile valutare l'eccezionalità dell'evento e raffrontarla con fenomeni simili che hanno interessato in passato la parte settentrionale dell'area costiera adriatica. Gli approfondimenti condotti hanno permesso di generalizzare alcune osservazioni relativamente ai criteri di dimensionamento delle opere idrauliche a servizio di aree fortemente antropizzate ed urbanizzate.

1 INTRODUZIONE

La mattina di mercoledì 26 settembre 2007 un intenso e persistente sistema temporalesco interessa con forti precipitazioni la fascia costiera centro-meridionale del Veneto tra il Piovese (zona sudorientale della provincia di Padova) il Veneziano centrale ed il basso Trevigiano, colpendo in modo particolare la zona adiacente alla laguna tra Codevigo (PD) e Venezia-Mestre. I fenomeni risultano in prevalenza concentrati nell'arco di 6 ore, le precipitazioni registrano picchi massimi di intensità che in alcune località monitorate dalla rete di stazioni meteorologiche dell'ARPAV superano i 100 mm in un'ora e i 200 mm in 3 ore. A fine evento, presso alcune stazioni meteo nelle aree più colpite, si registrano quantitativi di pioggia ragguardevoli.

2 INQUADRAMENTO METEOROLOGICO

Le principali caratteristiche meteorologiche dell'evento possono essere brevemente schematizzate (Barbi *et al.*, 2007):

- presenza di un nucleo di bassa pressione al suolo centrato sul Golfo Ligure e, in quota, di una saccatura con aria fredda di origine artica, estesa dal Nord-Europa alla Francia meridionale in rapido avvicinamento all'arco alpino;
- una iniziale fase caratterizzata da una mini-supercella temporalesca piuttosto isolata (temporale in grado di scaricare a terra grandi quantità di acqua, grandine e, spesso, associato anche a moti vorticosi);
- la trasformazione della convenzione in un sistema multicellulare, grazie all'iniezione di aria molto umida ed instabile proveniente da E;

- una convergenza di aria caldo-umida proveniente dal mare e aria più fresca continentale causa una forte instabilità atmosferica e la formazione a più riprese di celle temporalesche intense che colpiscono per più ore la stessa area (Figura 1a);
- sistema convettivo a mesoscala con chiara forma a V (Figura 1). La rigenerazione che continua in un unico punto, rappresenta l'elemento chiave capace di produrre i tipici effetti da Flash Flood.

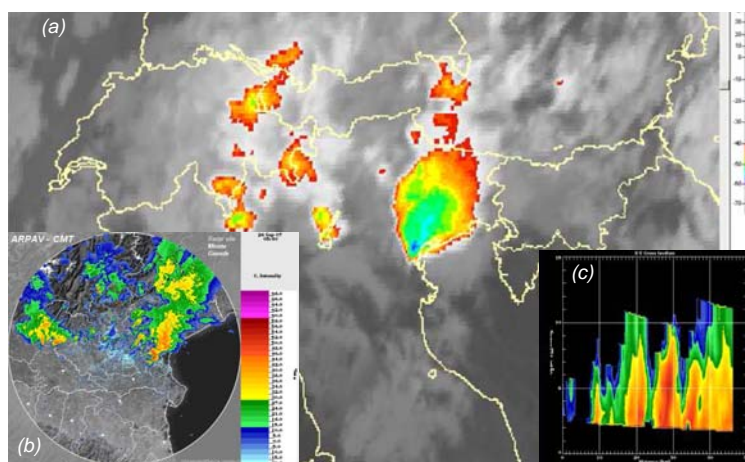


Figura 1. (a) immagine del satellite MET-9, in azzurro sono evidenziate le minime temperature registrate al top delle nubi (inferiori ai -55°C), in corrispondenza della parte più meridionale del sistema; (b) immagine radar delle ore 6.40 solari, si nota la persistenza del sistema temporalesco sul Veneziano; (c) esempio di sezione verticale dei dati radar di Monte Grande.

3 ANALISI PLUVIOMETRICA

Le precipitazioni più abbondanti registrate nel corso dell'evento risultano concentrate in prossimità della fascia costiera centromeridionale del Veneto. Le stazioni che rilevano i totali pluviometrici maggiori alla conclusione dell'evento sono: Valle Averso, nel Comune di Campagna Lupia, (VE) con 324.6 mm, Mestre-Marghera (VE) con 260.4 mm, Mogliano Veneto (TV) con 166.4 mm, Mira (VE) con 166 mm, Codevigo (PD) con 160 mm. Nel grafico di Figura 2 sono riportati i diagrammi di precipitazione progressivamente accumulata in alcune delle stazioni più colpite: si distinguono tra tutte le due stazioni di Marghera e Valle Averso (linee rossa e blu, rispettivamente) che già intorno alle ore 6.30 solari raggiungono i 100 mm, verso le ore 7 superano i 150 mm per raggiungere poco dopo i 200 mm e portarsi verso i 250 mm a Marghera e 300 mm circa a Valle Averso intorno alle ore 8.30-9.00 (*Barbi et al., 2007*).

Per meglio comprendere l'estrema rilevanza dei fenomeni si ricorda che la precipitazione totale annua in queste zone raggiunge mediamente i 700-800 mm; inoltre, secondo una classificazione standard, viene riconosciuta come nubifragio una precipitazione di almeno 40 mm in mezz'ora o 60 mm in un'ora. I valori più elevati di intensità (cfr. Tabella 1) si riscontrano in prossimità di Mestre per le durate di pioggia più brevi (da 5 minuti a 1 ora) ed a Valle Averso per le durate maggiori (da 3 a 24 ore). Si sottolinea inoltre come il 90% circa della precipitazione totale registrata il 26

settembre sia caduta nell'arco di 6 ore e il 75% circa in sole 3 ore.

Precipitazioni del 26 settembre 2007 - Culumate dalle ore 1 alle 13 solari

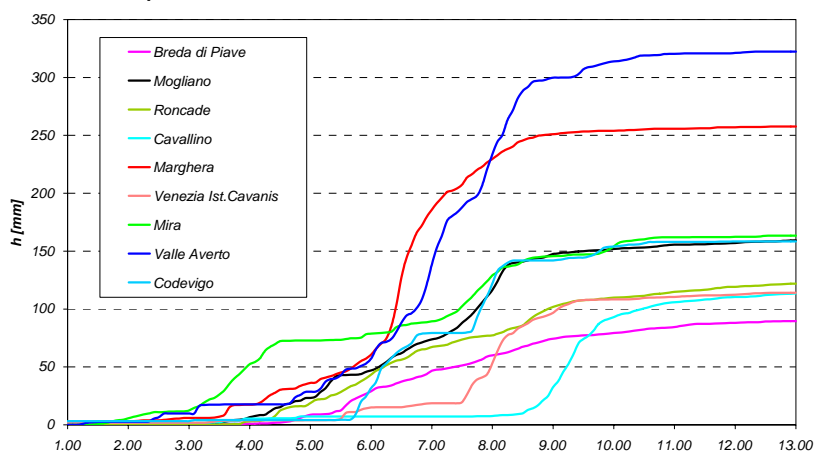


Figura 2. Andamento delle precipitazioni progressivamente accumulate dalle ore 1.00 (solari) alle ore 13 del 26 settembre 2007, registrate presso alcune stazioni meteorologiche.

Intervallo temporale	Mestre-Marghera 26/09/2007	Massimi 1956-2006 ¹	Massimi 26/09/2007
5 minuti	24.0	12.8	24.0
10 minuti	42.2	22.8	42.2
15 minuti	59.2	33.0	59.2
30 minuti	91.2	51.6	91.2
45 minuti	111.4	55.2	111.4
1 ora	126.6	55.6	126.6
3 ore	201.0	90.0	248.4
6 ore	246.8	107.6	301.4
12 ore	257.6	129.8	322.2

Tabella 1. Confronto tra le osservazioni pluviometriche registrate nel corso dell'evento del 26 settembre 2007 ed i valori storici delle stazioni di Mestre-Marghera.

Va segnalato come l'area in esame non sia nuova ad eventi estremi, specialmente in questa stagione. Pur non raggiungendo i valori eccezionali di questo evento, circa un anno prima, tra il 14 e il 17 settembre 2006, nella stessa zona si verificarono precipitazioni assai abbondanti, anche se diluite nell'arco di tre giorni. Un interessante confronto riguarda le massime intensità di precipitazione registrate a Mestre-Marghera in occasione del 26 settembre 2007 ed i massimi storici relativamente al periodo 1956-2006 (cfr., Tabella 1). Da tale confronto emerge chiaramente l'eccezionalità dell'evento: in tutti gli intervalli temporali sono stati superati abbondantemente, anche di 2-3 volte, i valori massimi storici. Si osservi inoltre come questi ultimi siano stati registrati negli ultimi 15-20 anni. Tale constatazione risulta indicatrice, coerentemente con quanto osservato sia a scala nazionale sia internazionale, di possibili condizioni di mutamento climatico ed estremizzazione degli eventi intensi (IPCC, 2007).

¹ Per le intensità sub-orarie i dati sono relativi al periodo 1992-2006 mentre per durate maggiori si riferiscono all'intero periodo 1956-2006 (fonte ARPAV e Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale)

4 ANALISI SPAZIO-TEMPORALE DELL'EVENTO SU SCALA REGIONALE

Le osservazioni puntuali disponibili presso la rete fiduciaria di ARPAV sono state elaborate spazialmente mediante tecniche di kriging (Goovaerts, 1997). La cross-validation sui dati ha permesso di individuare il modello esponenziale di semivariogramma (con range prossimo a 30 km) come l'interpolatore ottimo in grado di minimizzare gli errori. A tal proposito si evidenzia tuttavia come l'estrema variabilità spaziale del fenomeno comporti una tendenza alla sottostima della precipitazione (media della distribuzione dei residui non centrata sullo zero) oltre che una coda lunga della distribuzione di probabilità dei residui.

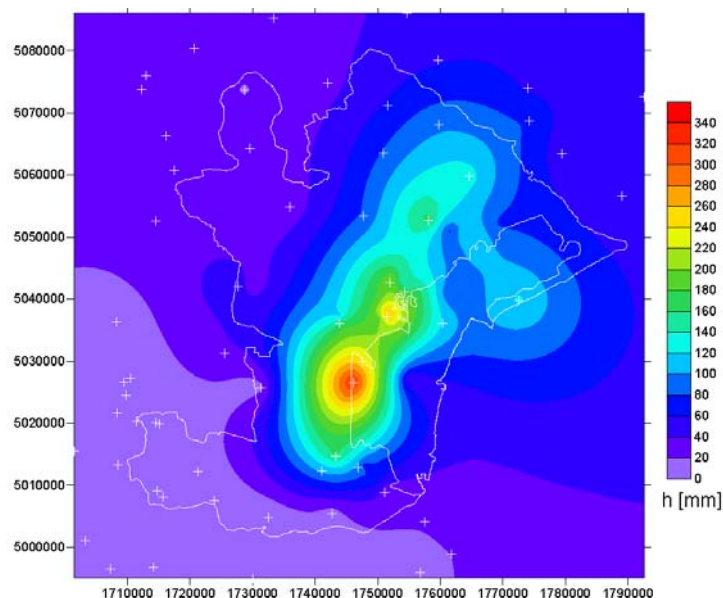


Figura 3. Rappresentazione della distribuzione spaziale delle precipitazioni medie giornaliere del 26 settembre 2007 nell'area costiera veneta. Analisi ottenuta mediante kriging dei dati orari di precipitazione rilevati nelle stazioni gestite da ARPAV. Si riportano i confini del bacino scolante e della Laguna di Venezia e l'ubicazione delle stazioni di misura (i.e., croci bianche).

In Figura 3 si riporta l'andamento spaziale delle precipitazioni cumulate nel corso dell'evento del 26 settembre. Si può osservare il carattere fortemente localizzato dei fenomeni con l'individuazione di due nuclei intensi di precipitazione, il primo, più a nord, localizzato nell'entroterra del comune di Venezia (Mestre-Marghera), responsabile dei diffusi fenomeni di allagamento che hanno interessato le vaste aree urbanizzate presenti nella zona. Il secondo e più intenso nucleo, a sud, localizzato nel comune di Campagna Lupia è stato invece responsabile di diffusi allagamenti nelle aree agricole, dovuti all'incapacità di scolo delle reti di bonifica. Si segnala inoltre il carattere fortemente localizzato del fenomeno essendosi registrate precipitazioni pressoché nulle a circa 10 km di distanza dal nucleo più intenso di precipitazione.

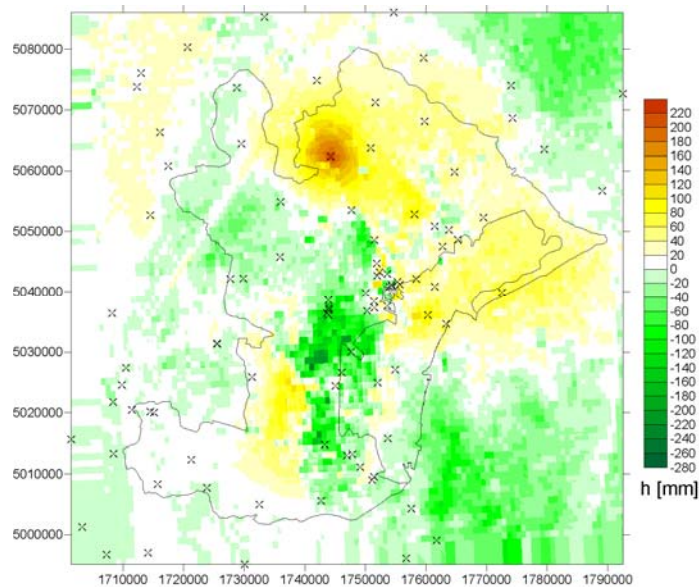


Figura 4. Rappresentazione della distribuzione spaziale delle differenze cumulate giornaliere tra le stime di precipitazione ottenute mediante kriging dei dati puntuali osservati a terra e le stime degli apporti pluviometrici ottenute mediante dati radar. I dati dei pluviometri della rete ARPAV sono stati integrati con le osservazioni di altre reti di misura presenti nel territorio considerato (le croci in figura individuano l'ubicazione delle stazioni). I valori positivi individuano le aree nelle quali la stima mediante dati pluviometrici risulta essere superiore alla stima radar mentre i valori negativi individuano una configurazione opposta. Il grafico è ottenuto considerando il valore cumulato giornaliero (26 settembre 2007) delle differenze calcolate su base oraria.

Si osservi come sia impensabile disporre, a livello regionale, di una rete pluviometrica talmente fitta da permettere valutazioni di dettaglio riguardo fenomeni intensi e localizzati caratterizzati da un'elevata variabilità spatio-temporale. Al fine di colmare tale lacuna, invece, le informazioni radar-meteorologiche costituiscono un utile strumento di supporto. Sono stati quindi utilizzati i dati forniti dai due radar (i.e., Teolo e Concordia Sagittaria) gestiti da ARPAV. Il confronto puntuale tra le osservazioni a terra delle stazioni pluviometriche e le corrispettive stime radar evidenzia una sostanziale tendenza alla sottostima delle precipitazioni effettivamente osservate al suolo. Tale sottostima non risulta descrivibile in modo univoco mediante una funzione matematica. Questo è indicativo del fatto che la differenza non è collegabile unicamente ad un errore sistematico dello strumento o degli algoritmi di conversione ma è altresì legata alle specifica posizione spaziale ed all'effetto di schermatura dell'atmosfera nelle diverse posizioni. Per l'evento analizzato, sono stati reperiti presso altri enti territoriali ulteriori dati pluviometrici. Tali informazioni, tuttavia, non possono garantire eguale affidabilità rispetto ai dati ARPAV per i quali si è provveduto ad una validazione (post evento) mediante verifica del corretto funzionamento dei pluviometri ai differenti regimi di precipitazione. Il set complessivo di informazioni è stato spazializzato mediante kriging (come in precedenza semivariogramma esponenziale con range prossimo a 30 km) e raffrontato alle stime radar (cfr., Figura 4). L'utilizzo di dati radar risulta quindi funzionale anche ad una validazione incrociata dei dati dei pluviometri. In

particolare si può osservare (cfr., Figura 4) la presenza di una stazione (non ARPAV), ubicata nella parte settentrionale del bacino scolante, nella quale la misura a terra risulta sovrastimare fortemente il dato radar. Nella stessa posizione e nelle aree limitrofe infatti non sono stati individuati nuclei di precipitazione particolarmente intensi. L'utilizzo di dati radar permette inoltre di individuare aree non coperte da stazioni pluviometriche nelle quali potrebbero essersi verificate precipitazioni di entità ancora maggiore rispetto a quelle campionate. Infatti, come visibile da Figura 4, si osserva la presenza di un nucleo di precipitazione molto intensa ubicato ad Ovest del confine laguna-bacino scolante e non coperto da alcuno strumento. Si osservi come tale area si collochi nelle immediate vicinanze del nucleo più intenso di precipitazione che è stato possibile individuare mediante le osservazioni a terra (cfr., Figura 3).

5 ANALISI PROBABILISTICA E CONSIDERAZIONI SUL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE IDRAULICHE

Le analisi statistiche sono state condotte principalmente con lo scopo di raffrontare le osservazioni pluviometriche con le curve di possibilità pluviometrica disponibili antecedentemente all'evento, ed utilizzate nella pratica ingegneristica per il dimensionamento delle opere idrauliche, al fine quindi di valutare la capacità di queste ultime nel far fronte a tale tipologia di evento. E' stata quindi considerata la serie storica di osservazioni pluviometriche massime annuali registrate tra il 1956 ed il 2006 (escludendo quindi l'evento del settembre 2007) presso la stazione di Mestre.

L'adattamento della distribuzione di probabilità di Gumbel alla serie storica disponibile permette di associare un tempo di ritorno assai elevato all'evento osservato (diverse centinaia di anni). Sono state inoltre applicate anche altre distribuzioni di probabilità che considerino opportunamente la presenza di valori eccezionali (*outliers*). Utilizzando quindi sia una distribuzione TCEV (Rossi *et al.*, 1984) sia una GEV (Ven-Te Chow, 1964), con parametro di forma maggiore di zero (i.e., Frechet), all'evento pluviometrico non può non essere assegnato un tempo di ritorno inferiore a 200 anni. Applicando poi le tecniche di regionalizzazione proposte dall'Autorità di Bacino per i fiumi Veneti (Autorità di Bacino, 1996) o dal CNR-IRPI (Villi & Bacchi, 2001) i tempi di ritorno associati al predetto evento risultano privi di significato statistico. Infatti, data l'elevata differenza tra gli apporti pluviometrici osservati nel corso dell'evento ed i valori storici disponibili (le massime precipitazioni registrate negli ultimi 50 anni sono risultate addirittura inferiori a meno della metà dei quantitativi misurati nella giornata del 26 settembre 2007 a Marghera, cfr. Tabella 1), l'estrapolazione che viene condotta risulta fortemente al di fuori dell'intervallo di affidabilità delle analisi statistiche. Ancora più rilevanti sono state le precipitazioni registrate dal pluviografo di Valle Averso; queste hanno superato, per durate di 3 e 6 ore, tutti i record storici conosciuti per il territorio veneto raggiungendo valori prossimi a quelli dei peggiori eventi alluvionali che hanno interessato il territorio italiano. Si segnalano a tal proposito i ricorrenti ed intensi nubifragi che hanno colpito la Carnia dove, ad esempio, nell'ottobre 1896 in sole 4 ore caddero 498 mm di pioggia in centro ad Udine oppure i più recenti episodi alluvionali dell'agosto 2003 dove a Pontebba (UD) in 6 ore caddero 329,0 mm di pioggia o del giugno 1996 dove a Moggio Udinese (UD) in 6 ore scesero 341,6 mm d'acqua. Temporali particolarmente intensi e persistenti avevano già interessato in passato in diverse occasioni la parte meridionale e quella settentrionale della costa

adriatica; a tal proposito si segnalano i 269,2 mm di pioggia in 6 ore caduti a Termine in comune di Caorle (VE) nell'ottobre 1990 ed i 264,4 mm in 6 ore affluiti a Legnaro (PD) nel settembre 1967.

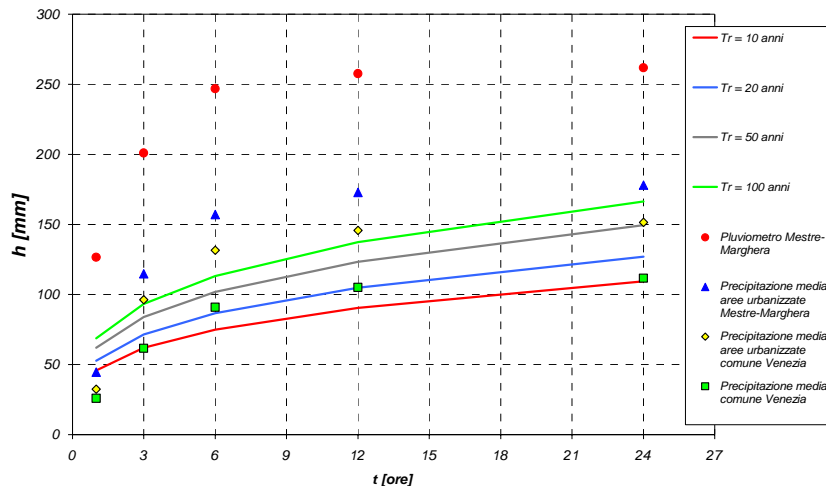


Figura 5. Confronto tra le curve (linee continue) di possibilità pluviometrica di Mestre (adattamento della distribuzione di Gumbel alle osservazioni massime annuali dal 1956 al 2006) ed i valori di precipitazione registrati alla stazione di Mestre (pallini rossi). Si riporta anche il confronto con i valori stimati (cfr., analisi spaziali riportare al Paragrafo 4) di precipitazione media su aree di particolare interesse relativamente all'evento del settembre 2007 (e.g., precipitazione media affluita sulle aree urbanizzate, precipitazione media per aree comunali).

Tali osservazioni hanno pertanto suggerito l'opportunità di procedere ad un'ulteriore analisi pluviometrica su scala regionale ipotizzando l'esistenza di un'unica sottozona lungo la costa veneta nella quale sia omogenea, dal punto di vista spaziale, la probabilità di accadimento di eventi intensi. Ipotizzando quindi l'ergodicità del campo di osservazione (oltre che la stazionarietà) ed applicando il metodo internazionalmente noto come *station-year* (Villi & Bacchi, 2001) è possibile ricostruire una curva di possibilità pluviometrica "media" della fascia costiera utilizzando il valore massimo annuale delle precipitazioni rilevate tra tutte le stazioni dell'area in esame (in luogo del valore massimo annuale della singola stazione), con l'accortezza di basarsi su osservazioni tra loro indipendenti, ovvero non riferite allo stesso evento di precipitazione. In tal caso il tempo di ritorno associabile all'evento occorso nella zona di Mestre-Marghera risulta dell'ordine dei 200 anni.

Al fine di valutare l'eccezionalità dell'evento le curve di possibilità pluviometrica di Mestre-Marghera (distribuzione di Gumbel), per i differenti valori di tempo di ritorno di riferimento (linee continue di Figura 5) solitamente considerati per il dimensionamento di fognature (in relazione ad aree urbane sufficientemente ampie e caratterizzate da durate critiche degli eventi di precipitazione superiori all'ora), scoli di bonifica o impianti idrovori (Da Deppo & Datei, 2004; Colombo, 2003) sono state raffrontate sia ai dati puntuali registrati nel corso dell'evento presso la stazione di Mestre (pallini rossi di Figura 5) sia ai volumi medi affluiti (ottenuti mediante le tecniche di spazializzazione descritte in precedenza) in aree di particolare interesse (altri valori puntuali di Figura 5).

Dal raffronto proposto risulta evidente come già alla scala dell'intero territorio comunale di Venezia (che include una parte considerevole di laguna) si possano stimare volumi affluiti, per durate comprese tra 3 e 6 ore, caratterizzati da un tempo di ritorno superiore a 20 anni. La valutazione dei volumi medi recapitati nel corso dell'evento alle aree urbanizzate del medesimo comune permette di stimare, mediante raffronto con le suddette curve di possibilità pluviometrica, tempi di ritorno superiori a 100 anni. Tale stima risulta essere ancora più gravosa se ci si limita ad un'analisi delle sole aree urbanizzate presenti nell'entroterra del comune di Venezia (triangoli blu di Figura 5).

6 CONCLUSIONI

Le analisi qui condotte relativamente all'evento di precipitazione che ha interessato l'entroterra veneziano il 26 settembre 2007 hanno evidenziato l'eccezionalità e la gravosità dell'evento registrato. Tali analisi sono risultate inoltre funzionali a trarre alcune considerazioni generali sui criteri di dimensionamento delle opere idrauliche a servizio di aree fortemente urbanizzate ed antropizzate (*Da Deppo & Datei, 2004*).

Rilevato il fatto che un dimensionamento progettuale di un'opera al fine di fronteggiare eventi di tale entità risulta oggettivamente impensabile, ovviamente anche in ragione dei costi che questo comporterebbe, è possibile ipotizzare tecniche più cautelative da adottare in fase di progettazione che facciano riferimento ad eventi caratterizzati da tempi di ritorno più elevati o ad analisi regionali degli eventi estremi. Le evidenze riportate in questa nota suggeriscono la possibilità di procedere a dimensionamenti delle opere non mediante dati storici puntuali rilevati presso singole stazioni di misura, ma utilizzando criteri di regionalizzazione delle precipitazioni estreme che partano dal presupposto che, in aree territorialmente omogenee, risulta equiprobabile il verificarsi di eventi intensi indipendentemente dalla specifica posizione geografica. Accorpendo pertanto le registrazioni storiche di più stazioni di misura è possibile valutare in modo verosimilmente più accurato l'eccezionalità degli eventi estremi osservati e fornire quindi criteri più cautelativi di dimensionamento delle opere.

Risulta altresì evidente come tali constatazioni, che possono indirizzare la scelta di specifiche linee guida e direttive (normative) progettuali, debbano essere accompagnate dalla consapevolezza dell'entità dei costi che ne conseguono.

BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, *Dimensionamento delle opere idrauliche*, Quaderno 1, Venezia, 1996
- Barbi, A., Formentini, G., Monai, M., Rech, F., & Zardini, F. *Analisi meteo-climatica dell'evento pluviometrico del 26 settembre 2007 nel veneziano*, ARPAV – D.R.S.T., 2007
- Da Deppo, L. & Datei, C. *Fognature*, Ed. Cortina, Padova, 2004
- Colombo, G., *Manuale dell'ingegnere*, Hoepli, 2003
- Goovaerts, P., *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, 1997
- IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, 2007
- Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P., *Two component extreme value distribution for flood frequency analysis*, Water Resour. Res., 20(7), pp. 847-856, 1984
- Ven-Te Chow, C., *Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water Resources Technology*, McGraw-Hill Companies, 1964
- Villi, V., Bacchi B., *Valutazione delle piene nel triveneto*, C.N.R., Pubblicazione n° 2511, 2001