

CLIMATOLOGIA URBANA PER GLI INGEGNERI.

21 SETTEMBRE
2020

DATI CLIMATICI E PLUVIOMETRICI
PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE

La trattazione tradizionale

Le opere idrauliche si dimensionano probabilisticamente sulla base del concetto cardine di Tempo di Ritorno.

Si definisce Tempo di Ritorno $T(x)$ di una grandezza aleatoria x il tempo medio che intercorre tra il verificarsi di due eventi per i quali il valore x è raggiunto o superato.

Una volta fissato il tempo di ritorno di progetto, si può dimensionare l'opera idraulica calcolando il valore della grandezza di interesse (ad esempio: la portata, il volume, ...).

La valutazione di queste grandezze può essere condotta, in linea di principio, per via diretta (elaborando le registrazioni della grandezza in esame eventualmente disponibili) o in via indiretta, ricorrendo all'analisi probabilistica della pluviometria a scala locale ed analizzando le modalità con cui il bacino di drenaggio risponde alla sollecitazione meteorica.

Metodi diretti e indiretti

La valutazione diretta sarebbe, in linea astratta, preferibile: ma questo approccio richiede la disponibilità delle osservazioni delle serie storiche, che in genere non sono disponibili per:

- mancanza di strumenti,
- non esistenza della infrastruttura (casi di progetto),
- modifica delle condizioni territoriali (nuove urbanizzazioni implicano, in genere, un aumento della impermeabilizzazione).

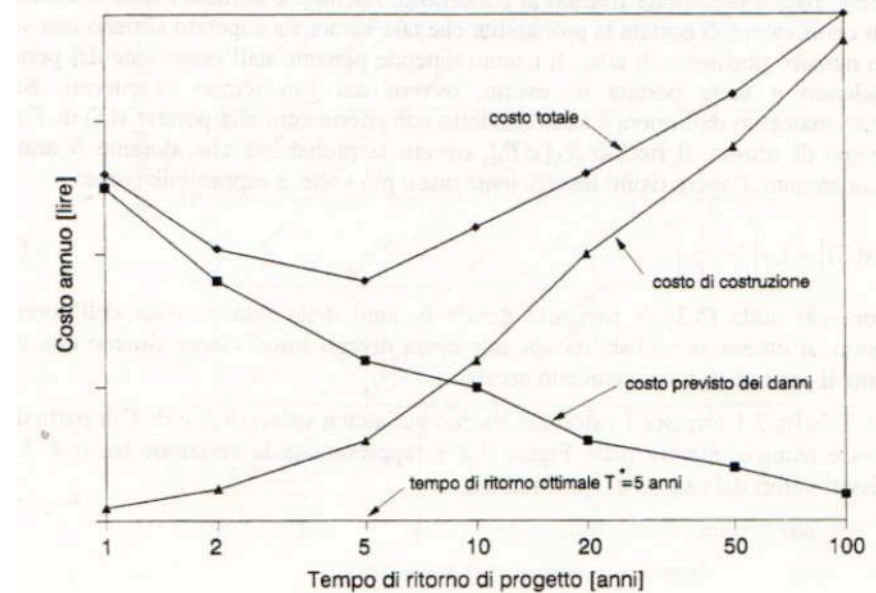
Nella pratica, quindi, la progettazione delle opere idrauliche avviene con metodologie di tipo indiretto, a partire quindi dagli eventi meteorici.

Tempo di ritorno di progetto

Il tempo di ritorno di progetto dovrebbe essere scelto sulla base di una analisi costi-benefici, che potrebbe essere condotta minimizzando la somma dei costi attualizzati di costruzione, manutenzione ed esercizio dell'opera e del costo previsto dei danni derivanti dal verificarsi di crisi dell'opera nell'intero periodo della sua vita utile.

Nella pratica, indagini di questo tipo non vengono portate a compimento, ma si utilizzano tempi di ritorno di progetto «standard», spesso indicati a norma di legge.

Sempre più frequentemente viene richiesta una valutazione del tipo «cosa succede se l'opera progettata viene interessata da un evento con tempo di ritorno superiore a quello di progetto».



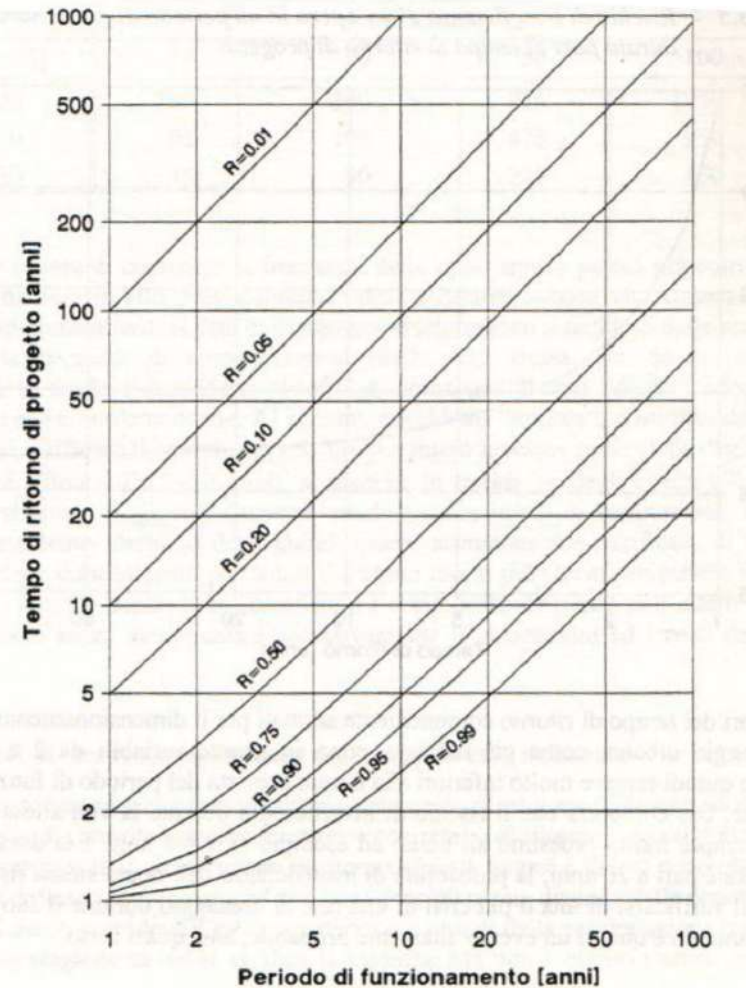
Rischio di insufficienza dell'opera

Il rischio di insufficienza dell'opera R è la probabilità che, durante N anni di funzionamento, essa risulti insufficiente una o più volte:

$$R_x[x(T)] = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

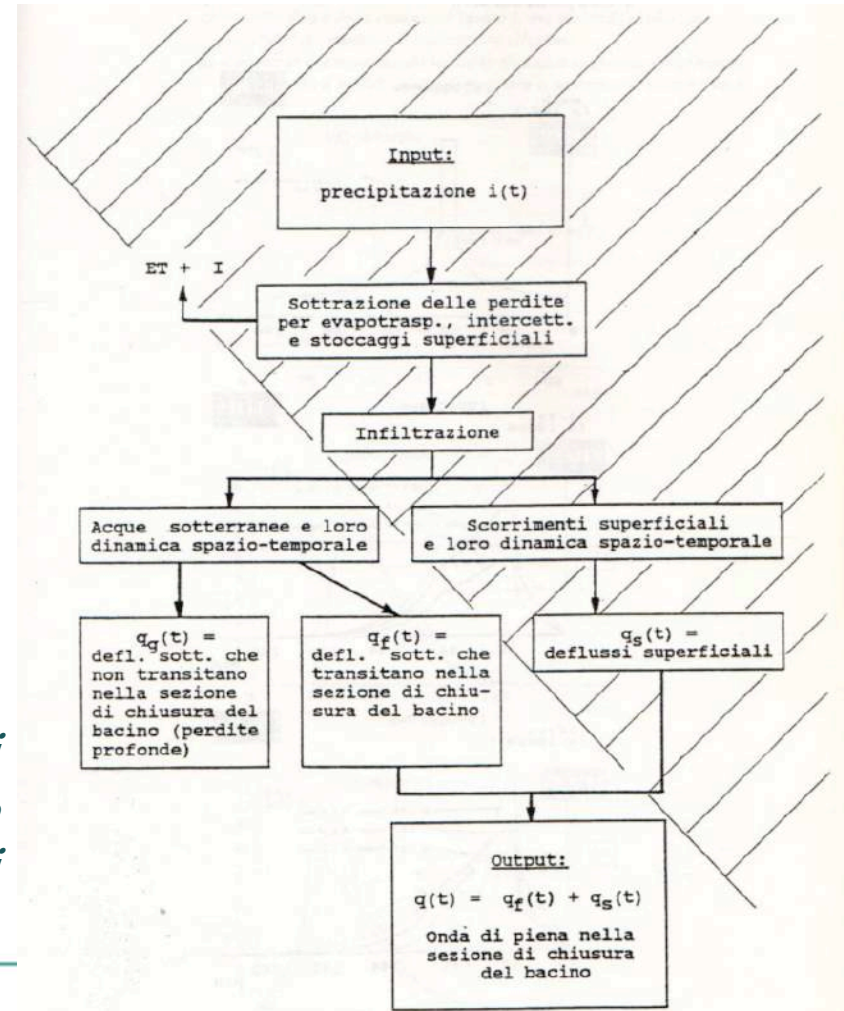
Ad esempio, nel caso in cui la vita attesa di un'opera sia di 40 anni (come per le condotte del SII) per avere un rischio di insufficienza del 10% occorrerebbe progettare con tempi di ritorno di 380 anni.

Appare quindi spesso più conveniente tentare di ridurre i danni attesi.



Dagli afflussi ai deflussi

A partire dagli afflussi al bacino (precipitazioni) si calcolano, tramite opportuni modelli, i deflussi, ovvero le grandezze idrauliche che dovranno servire per la progettazione delle opere.



Schema a blocchi generale di un modello di trasformazione afflussi-deflussi. La parte tratteggiata è quella inerente i bacini urbani.

Modelli globali e distribuiti

Modelli globali. Simulano i processi idrologici e idraulici del bacino mediante parametri rappresentativi del suo comportamento medio, calcolando l'onda di piena nella sezione di chiusura in funzione di un'unica precipitazione ragguagliata ed ignorando quindi completamente la variabilità spaziale della stessa. Dunque, procedendo lungo la rete fognaria da monte a valle, per ogni sezione di interesse si considera sempre in blocco l'intero bacino ad essa afferente.

Modelli distribuiti. La simulazione dei fenomeni è effettuata tenendo conto delle variabilità spaziali e temporali del bacino, considerando tutte le grandezze descriventi le entrate, le uscite e le caratteristiche del bacino stesso funzioni dello spazio e del tempo. In questo caso dunque si ha la formazione delle singole onde di piena nei diversi sottobacini e la propagazione delle stesse lungo le diverse aste.

Modelli concettuali e fisicamente basati

Modelli concettuali. Considerano la trasformazione da simulare analoga ad una qualche altra, anche se completamente differente, ma adeguata a fornire una risposta soddisfacente. Tipici modelli concettuali sono quelli ipotizzanti un funzionamento del bacino simile a quello che ha luogo in serbatoi singoli (metodo dell'invaso) o multipli (modello di Nash) o in parallelo, in canali (metodo della corrivazione), o nella successione di serbatoi e canali (modello di Clark).

Modelli fisicamente basati. Cercano di aderire il più possibile alla realtà fisica; tendendo a riprodurre in modo deterministico la dinamica dei singoli processi idrologici ed idraulici con algoritmi derivanti dall'analisi sperimentale dei processi medesimi.

Precipitazioni di progetto

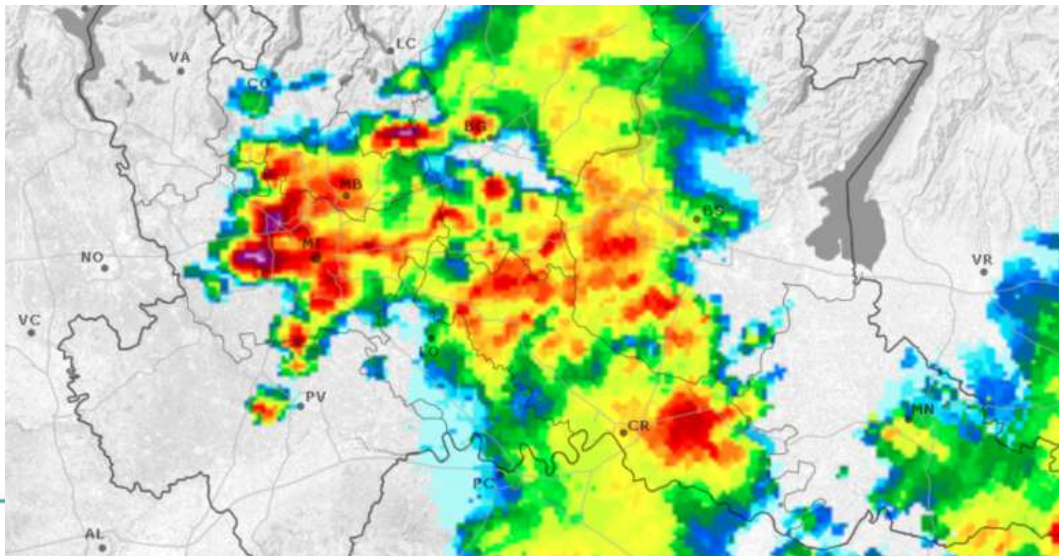
Per ridurre le incertezze di stima e della modellazione, sarebbe opportuno procedere alla valutazione delle opere idrauliche operando sulle serie storiche osservate. Qualunque ietogramma sintetico, infatti, contiene una quantità di informazioni inferiore rispetto a quella che si ha dalle piogge reali. La disponibilità di serie pluviometriche complete risulta, ad oggi, piuttosto infrequente, in particolare per quello che riguarda la completezza e la risoluzione temporale.

Una possibile alternativa potrebbe consistere nella generazione di serie sintetiche di pioggia, in grado di riprodurre adeguatamente le caratteristiche aleatorie di occorrenza, intensità, durata e fluttuazione del fenomeno meteorico. Una volta tarati, questi modelli potrebbero produrre serie storiche di durata pluriennale da inserire come input in appropriati modelli di trasformazione afflussi-deflussi. Anche questa modalità, dal punto di vista operativo, non è ancora sufficientemente sviluppata.

Misure

Esistono diversi misuratori di pioggia, tra i quali i più diffusi oggi sono i pluviografi a vaschetta basculante e i pluviografi a percussione.

Questi misuratori sono puntuali, possono essere integrati con le immagini del radar meteorologico (che comunque necessita di calibrazione con dati a terra) per avere una rappresentazione spaziale del fenomeno.



Errori di misura

Le misure di precipitazione sono soggette, in misura notevole, ad errori sia casuali che sistematici. L'errore sistematico è determinato da diverse concause.

La più rilevante deriva dall'accelerazione, verticale ed orizzontale, del vento in corrispondenza del pluviometro, che devia la traiettoria delle più piccole gocce d'acqua.

Ne deriva che la quantità d'acqua raccolta e misurata è minore di quella che effettivamente cade al suolo. Ulteriori cause di errore sistematico sono:

1. acqua trattenuta dalle pareti interne del pluviometro, dell'imbuto raccoglitore o del serbatoio di raccolta (ipotesi su inizio e fine dell'evento);
2. evaporazione di una parte dell'acqua raccolta nel serbatoio;
3. gocce che entrano, o escono, dal pluviometro, sotto forma di schizzi;
4. neve accumulata dal vento sopra o dentro il pluviometro (pluviometri riscaldati).

Elaborazioni

Definizione di «evento»

Le registrazioni sono ovviamente in continuo: occorre definire un evento di pioggia che sia separato da un altro. Tradizionalmente si ritiene due eventi siano tra loro indipendenti se separati da un tempo senza pioggia di almeno un'ora.

Elaborazione dei massimi

Per diverse durate di pioggia, si calcolano le massime intensità degli scrosci (cioè le massime altezze di pioggia piovute in quelle durate) in modo da costituire un campione di osservazione, che viene trattato con metodi statistici. In questo modo si arriva ad associare a ciascuna intensità di pioggia (per data durata) una probabilità di superamento, quindi un tempo di ritorno.

Curve di possibilità pluviometrica

Per ciascun tempo di ritorno è possibile pertanto costruire delle curve che legano la durata all'altezza di pioggia attesa.

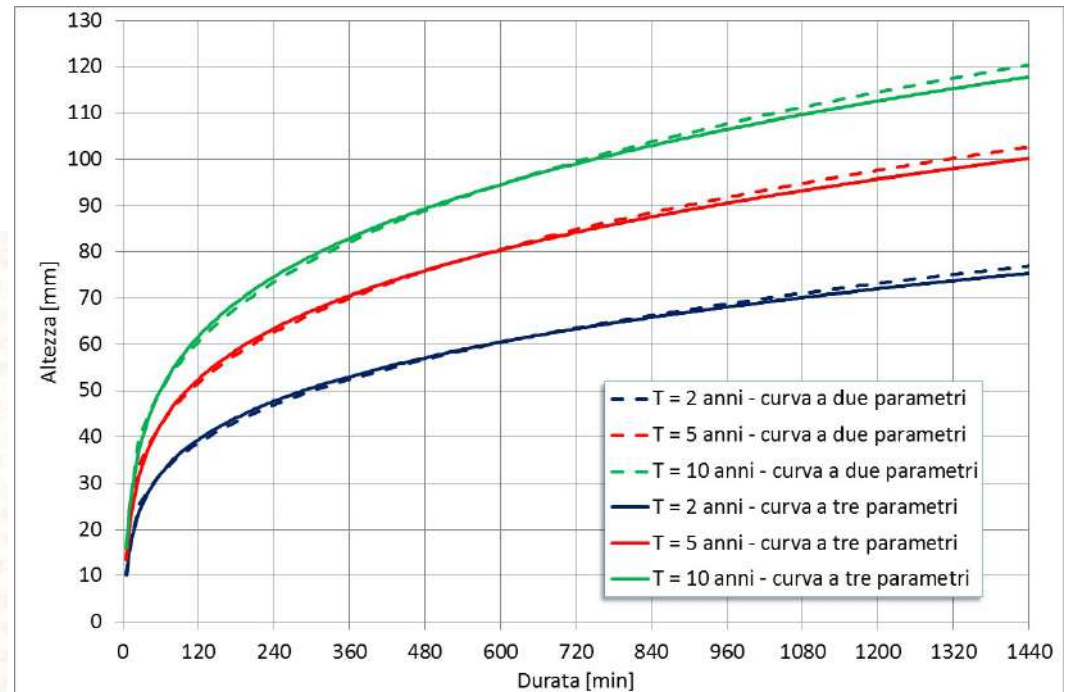
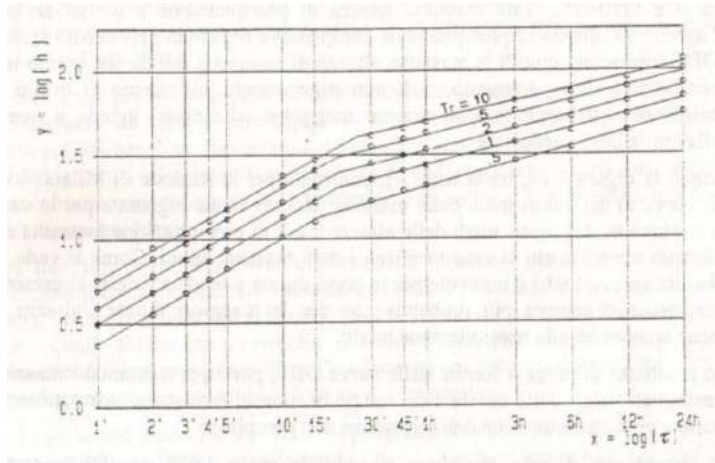
Curve di possibilità pluviometrica

Sono riportate normalmente nella formulazione monomia (a due parametri):

$$h(\vartheta, T) = a(T) \cdot \vartheta^{n(T)} \leftrightarrow i(\vartheta, T) = a(T) \cdot \vartheta^{n(T)-1}$$

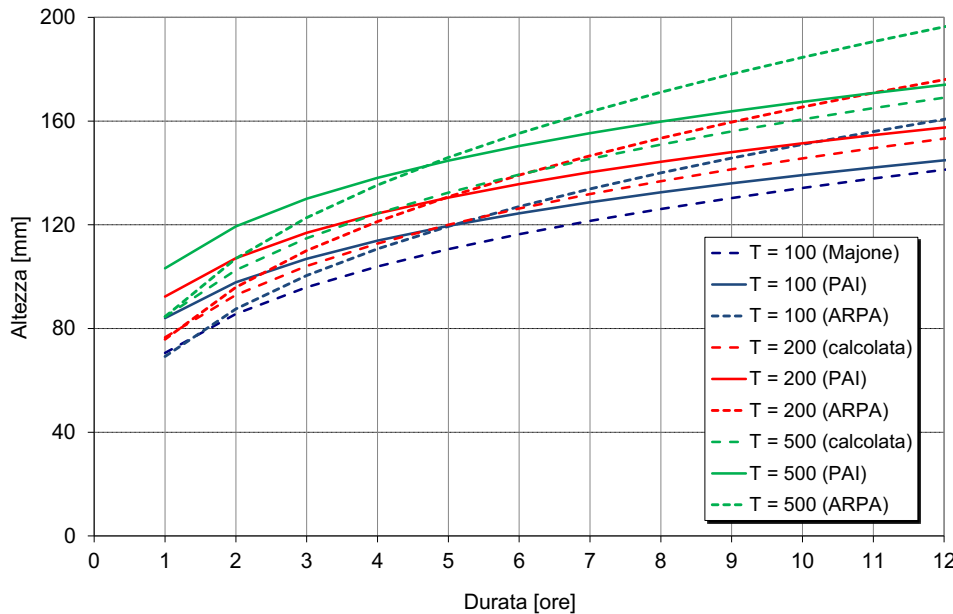
oppure a tre parametri:

$$i(\vartheta, T) = \frac{A(T)}{(\vartheta + B(T))^{C(T)}}$$



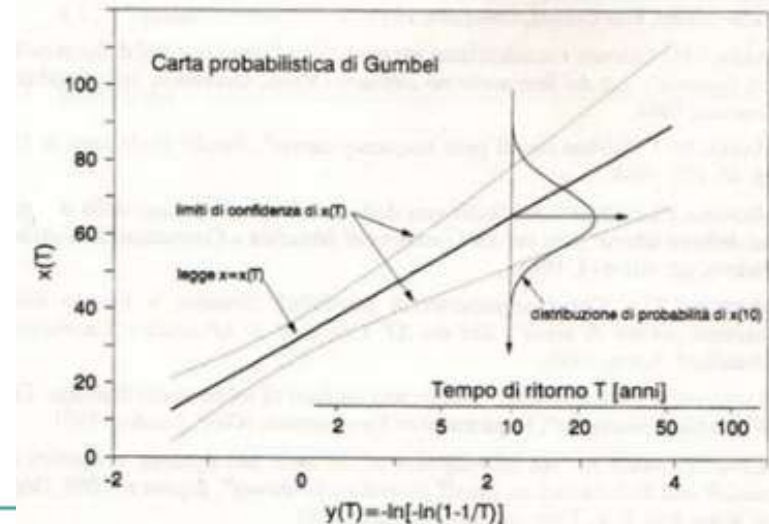
Per Milano le curve monomie cambiano i parametri per una durata di 25 minuti.

Curve di possibilità pluviometrica



In Lombardia sono disponibili i dati del PAI e quelli di ARPA.

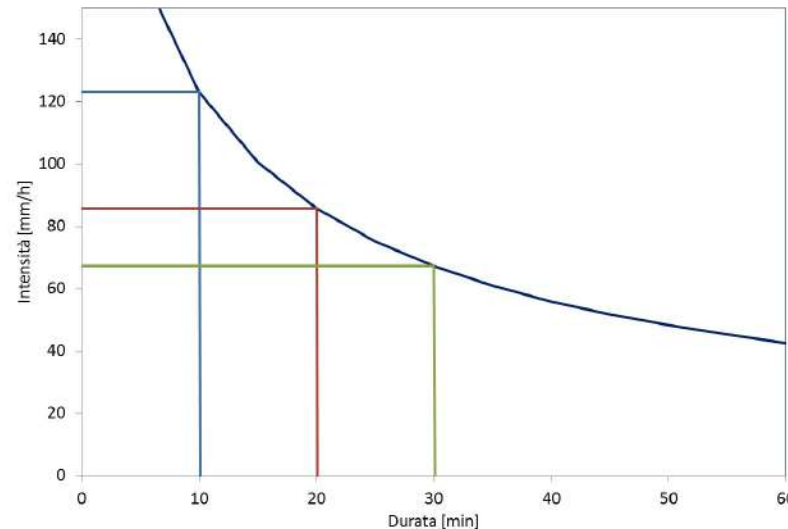
Fascia di confidenza delle distribuzioni, per assegnato tempo di ritorno.



La valutazione dello ietogramma sintetico

Una volta trattate statisticamente le serie storiche disponibili, occorre definire un evento sintetico di pioggia (ietogramma) da utilizzare per il dimensionamento dell'opera idraulica in progetto.

Lo ietogramma più semplice, utilizzato soprattutto in passato quando non esistevano le attuali possibilità di calcolo, è quello *uniforme*, ovvero costante per tutta una data durata.



Ietogramma Chicago

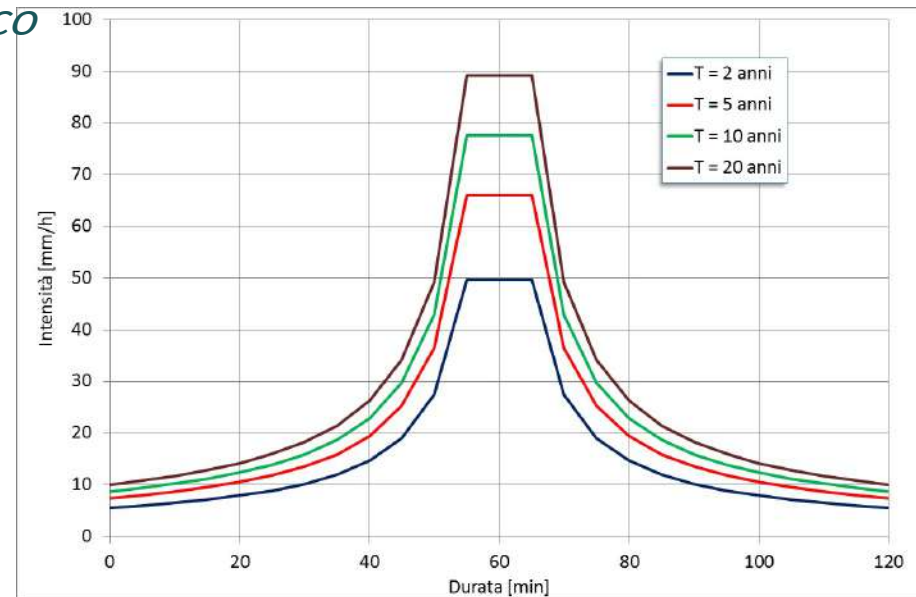
Questo ietogramma è citato, per esempio, anche negli allegati del recente Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 di «invarianza idraulica».

Gli ietogrammi Chicago hanno la proprietà di essere *critici* per tutte le durate inferiori alla loro base. Il calcolo di questi ietogrammi viene effettuato con le seguenti:

$$i(\vartheta_b) = n \cdot a \cdot (\vartheta_b/r)^{n-1} \quad \text{prima del picco}$$

$$i(\vartheta_a) = n \cdot a \cdot (\vartheta_a/1-r)^{n-1} \quad \text{dopo il picco}$$

nelle precedenti si è divisa la durata parziale ϑ nelle due parti ϑ_b e ϑ_a , di cui $\vartheta_b = r \cdot \vartheta$ con $0 < \vartheta < 1$ è la parte precedente il picco e $\vartheta_a = (1-r) \cdot \vartheta$ è la parte che segue il picco medesimo; i parametri a ed n sono delle curve di possibilità pluviometrica, mediando al centro.



Incertezze e problemi

A parte tutte le incertezze sulla modellistica di trasformazione degli afflussi in deflussi, anche la stessa modellazione delle piogge è soggetta a problemi, antichi e nuovi.

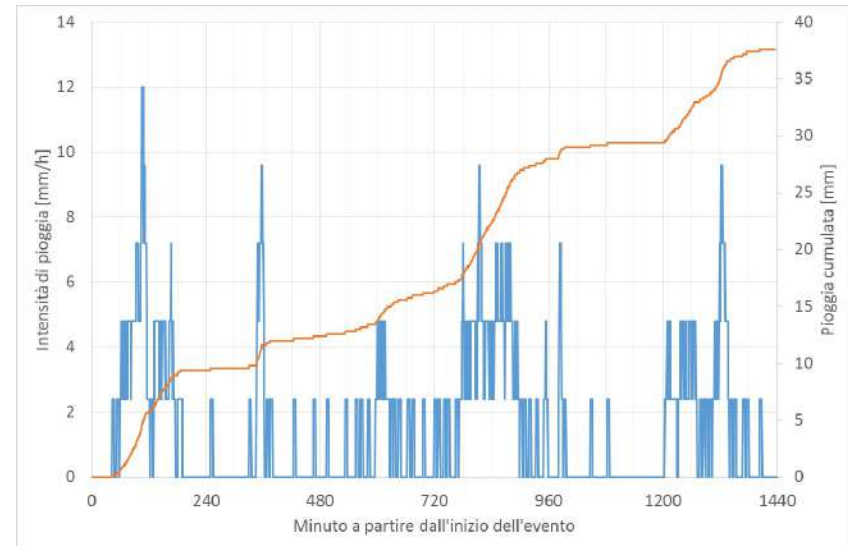
1. Definizione di evento
2. Distribuzione temporale delle piogge
3. Distribuzione spaziale delle piogge
4. Stazionarietà del processo

Definizione di evento

LA definizione di «evento indipendente» come quello separato dal precedente e dal seguente da un tempo secco di almeno un'ora è adeguata quando l'evento di pioggia serve a individuare la criticità di un collettore o di una rete fognaria.

Probabilmente non è adeguata, ad esempio, per vasche di laminazione, per le quali la durata critica è, in generale, maggiore.

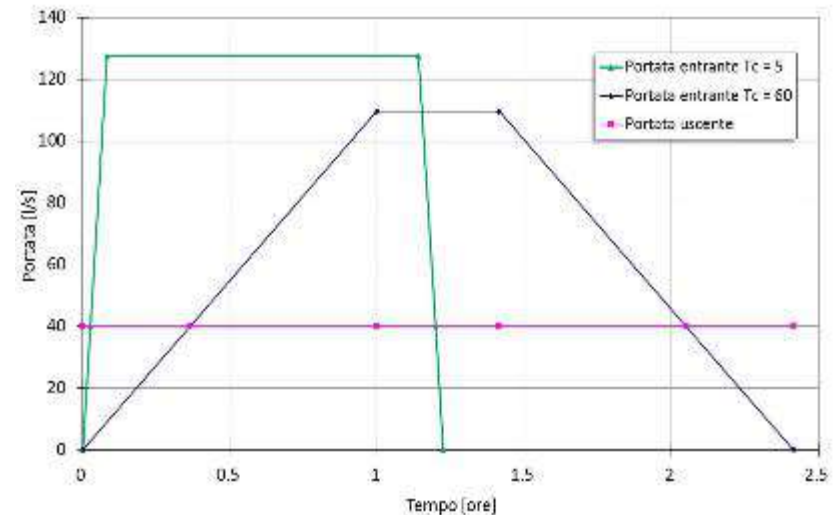
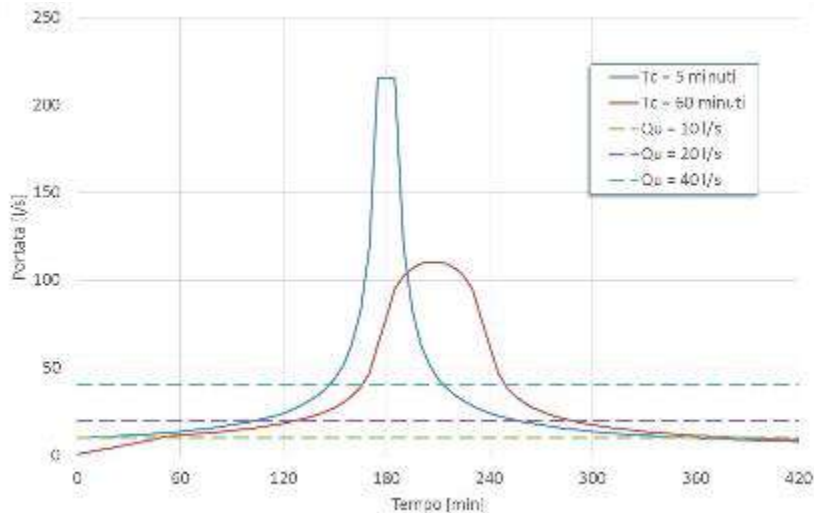
Registrazioni del pluviografo di via Monviso a Milano dalle 21:00 del 9 XI 2014 alle 21:00 del 10 XI 2014



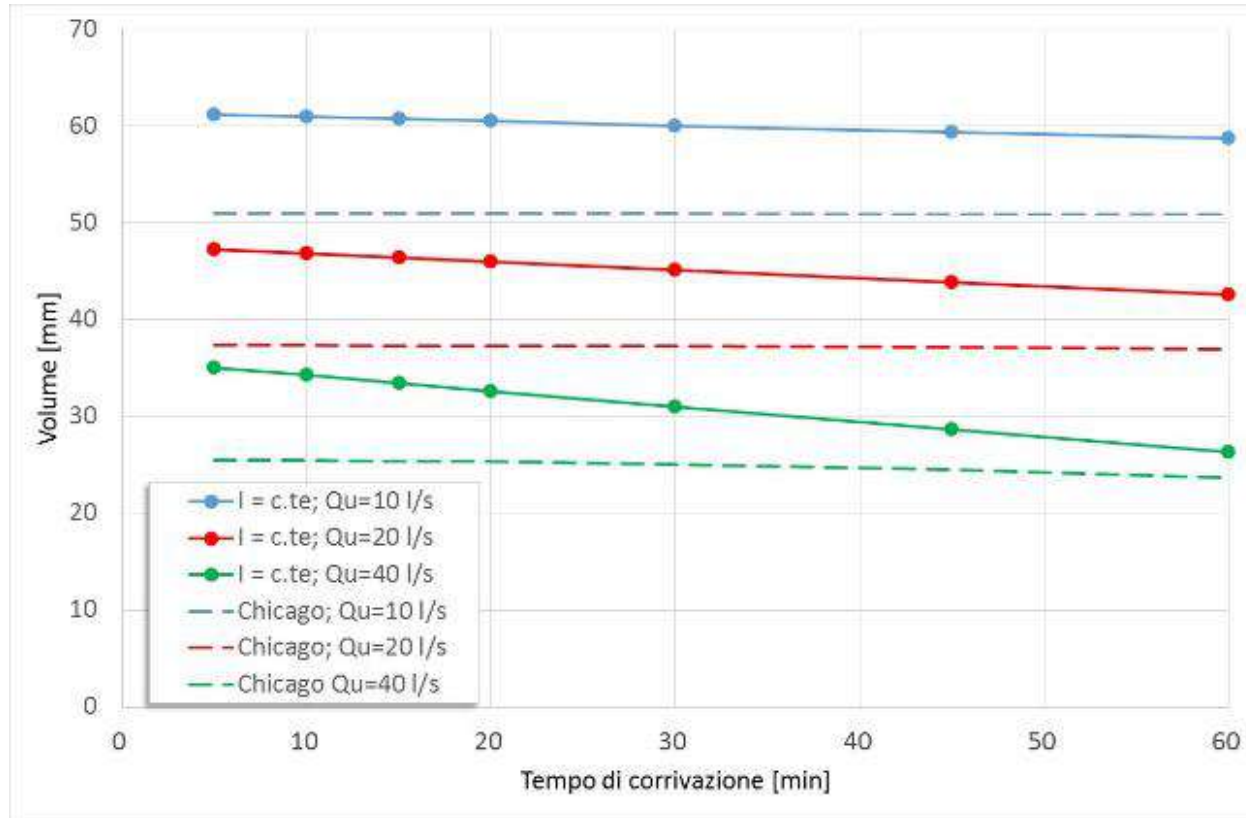
Con tempo di separazione un'ora, si hanno almeno tre eventi distinti. Tra un evento e l'altro la vasca non riesce però a svuotarsi, e quindi si dovrebbe considerare, ai fini del suo dimensionamento, come un unico evento.

Distribuzione temporale delle piogge

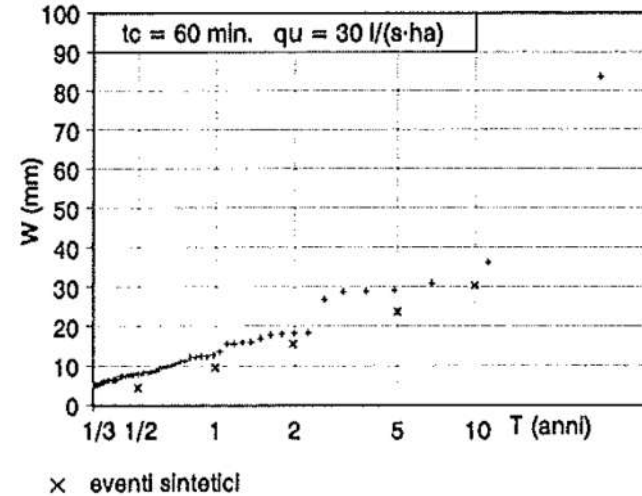
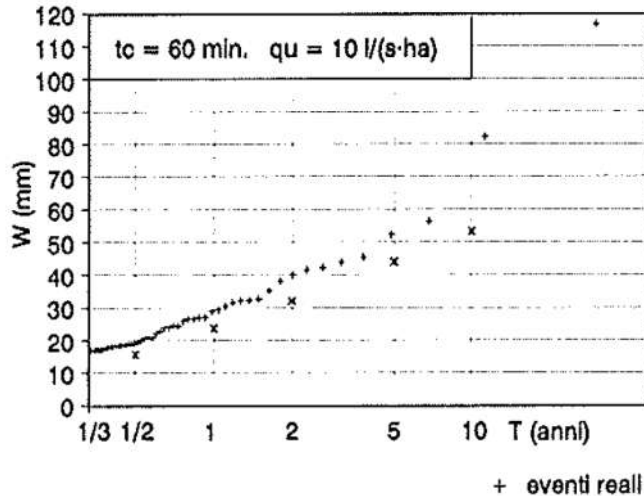
Come riportato sopra, lo ietogramma Chicago è frequentemente preferito in quanto «critico» per tutte le durate inferiori al tempo della propria base. Ma risulta critico, ancora una volta, in termini di portate al colmo. Quando si considerino ancora le vasche di laminazione, la distribuzione temporale delle piogge che porti ad un dimensionamento corretto è da valutare.



Risultati dei due metodi



Sottostime degli ietogrammi costanti



Già in letteratura non nuova [Paoletti, Mignosa, Mambretti, 1992] si trova che gli ietogrammi costanti producono sottostime del volume delle vasche quando si confrontino con lunghe serie storiche di pioggia.

Distribuzione spaziale delle piogge

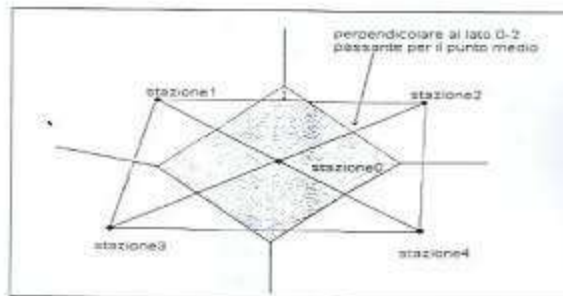
Se la pioggia registrata corrisponde a quella relativa al centro di scroscio, non è da attendersi che la medesima intensità si ritrovi anche per aree molto ampie.

Già letteratura si trovano pertanto metodi per la suddivisione delle aree di influenza dei pluviometri e metodi per «ragguagliare» le piogge all'area.

Massari (1910), nell'ambito degli studi per il progetto della fognatura di Milano.

Columbo (1960), indagine sul territorio milanese. I valori proposti si dovrebbero utilizzare congiuntamente a una curva segnalatrice di possibilità climatica ricavata dai massimi annuali selezionati tra quelli di più stazioni vicine (così da potersi ritenere osservati ogni volta nel centro di scroscio).

Coefficiente di riduzione delle altezze di pioggia, in funzione della durata e dell'area (Columbo, 1960)

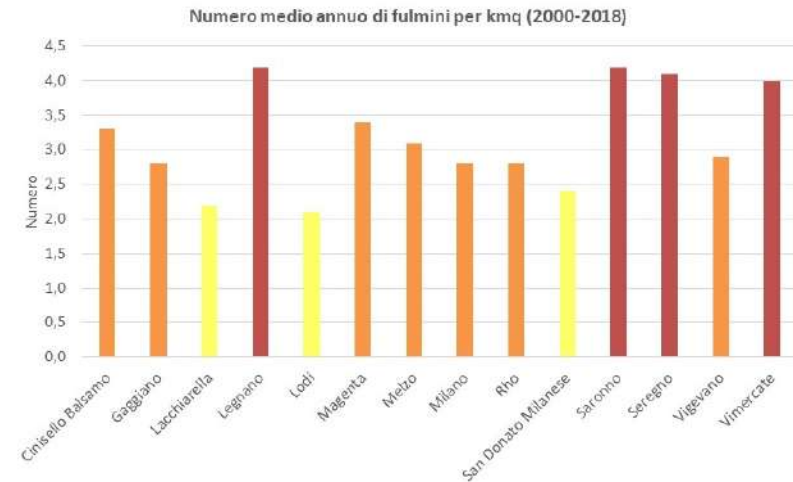


*Metodo
dei
topiети.*

Durata [h]	Area [ha]								
	100	300	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0,25	0,968	0,917	0,884	0,835	0,804	0,782	0,750	0,722	0,685
0,50	0,970	0,919	0,888	0,840	0,813	0,791	0,759	0,733	0,704
0,75	0,972	0,925	0,890	0,844	0,818	0,798	0,767	0,740	0,714
1	0,973	0,922	0,892	0,846	0,821	0,803	0,772	0,746	0,721
2	0,974	0,924	0,894	0,850	0,827	0,811	0,783	0,757	0,732
3	0,974	0,926	0,896	0,853	0,831	0,815	0,789	0,765	0,741
4	0,974	0,928	0,898	0,857	0,835	0,821	0,796	0,773	0,750
6	0,974	0,930	0,902	0,863	0,843	0,831	0,808	0,788	0,757
12	0,976	0,941	0,916	0,884	0,868	0,858	0,844	0,830	0,816
24	0,982	0,961	0,944	0,923	0,916	0,906	0,900	0,894	0,886

Milano la metropoli

Le differenze non sembrano essere riferibili al solo singolo evento. Dati della Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo (nelle figure di questa slide) mostrano che esistono differenze importanti e sistematiche per le diverse zone della città. Questi dati sono del tutto coerenti con quelli ricavabili dai pluviometri di MM SpA, che ha «ereditato» dal Comune di Milano.

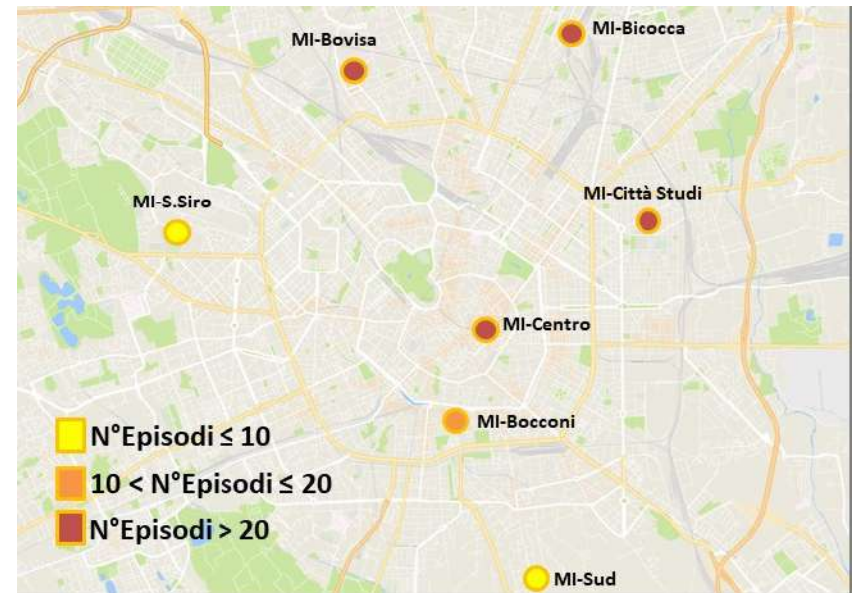


La città ha un effetto?

Ci si può pertanto chiedere se la città abbia un effetto sulle precipitazioni, e perché.

- Per un effetto di barriera fisica?
- Per una distribuzione diversa del calore?
- Per una distribuzione diversa dell'umidità?

Totale degli episodi sui sei anni in cui si sono verificati eventi di precipitazione che hanno fatto registrare almeno 15 mm di pioggia in 30 minuti (fonte: Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo).

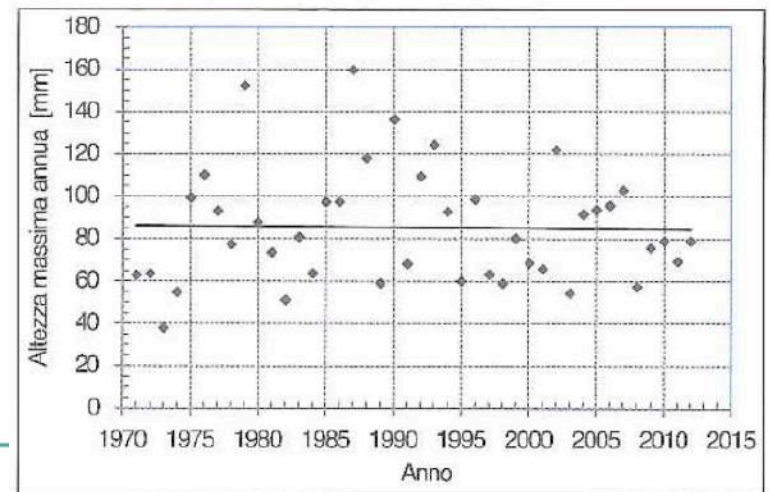
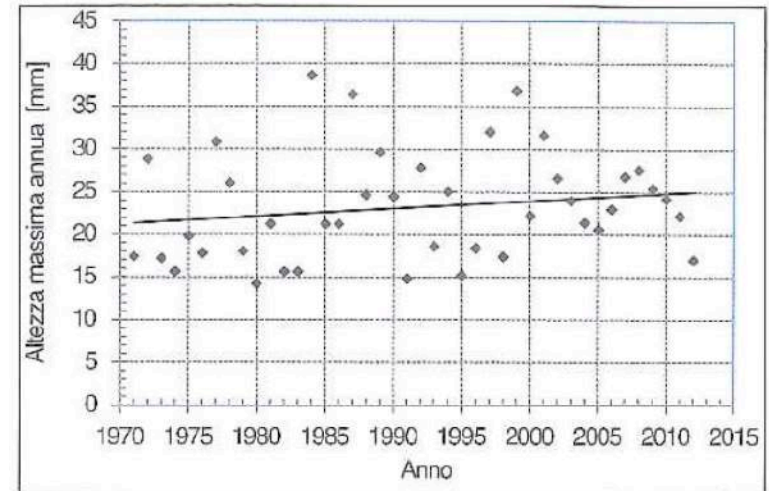


Stazionarietà del processo

L'ipotesi di base per l'elaborazione dei dati di pioggia è che questi siano stazionari, ovvero che processi la cui distribuzione di probabilità congiunta non cambia se viene traslata nel tempo. Di conseguenza, parametri quali la media e la varianza, pure non cambiano nel tempo.

Cosa si può dire in un contesto di cambiamento climatico?

Altezze massime di pioggia registrate nella serie storica di Milano Monviso (pluviografo MM) dal 1971 al 2012 per durate di 20 minuti (in alto) e di 1440 minuti (in basso) con le relative linee di tendenza (Becciu, Mambretti, Sanfilippo, Brown, Marelli, Salvadori, 2016).



Tendenza e significatività

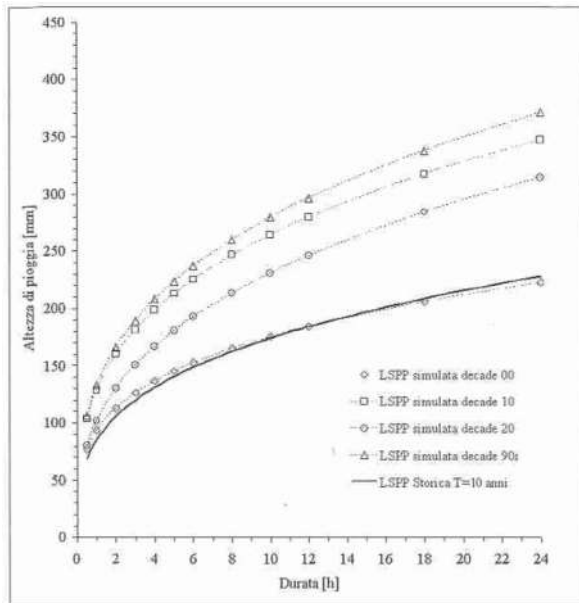
L'andamento dei massimi annuali è molto sparso, ma all'apparenza significativo: per le brevi durate le massime altezze di pioggia tendono ad aumentare, mentre per le durate superiori alle 12 ore l'andamento resta invariato. Questo comportamento è in accordo con l'idea generalmente accettata secondo la quale gli eventi estremi sono in aumento mentre i valori medi rimangono pressoché costanti.

Tuttavia, il test non-parametrico Mann-Kendall, con livello di significatività al 5%, ha mostrato che le tendenze non sono statisticamente significative.

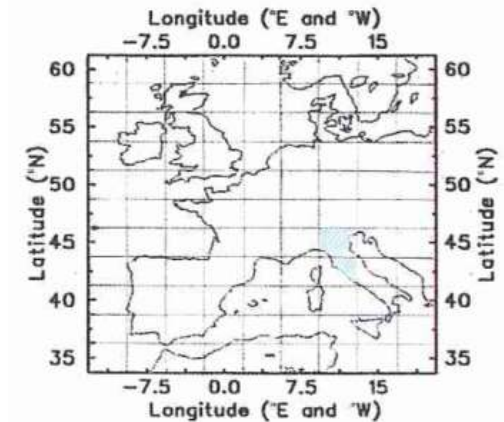
Occorre ripetere la ricerca con la serie di dati completa, fino a tutto il 2019 per verificare se vi sono stati cambiamenti.

Modelli di circolazione globale

Un lavoro con i modelli di circolazione globale, riscalato alla scala globale, è stato condotto per la città di Genova [Capodiferro, Mambretti, Rosso, Rulli, 2005]. Al momento, questi modelli sono ancora troppo incerti per poterli utilizzare ai fini di progettazione.



*Gridbox del modello
HADCM2 che ricopre il
centro storico genovese.*



Aumento delle curve di pioggia simulate rispetto alle storiche, rilevato solo per i primi quaranta anni e per l'ultima decade del secolo XXI. Le curve si innalzano in maniera graduale: dopo una forte crescita nelle prime decadi tendono ad avvicinarsi.



Contatti

Prof. Ing. Stefano Mambretti, PhD



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Email: stefano.mambretti@polimi.it

Mobile: 347.7352491