

Tratto da:

L'influenza degli errori di misura
sull'interpretazione climatologica delle serie storiche:
un'applicazione allo studio delle precipitazioni

Lanza L., Stagi L., Molini A.

DIAM – Dipartimento di Ingegneria Ambientale, Università degli Studi di Genova

Malaspina F., Foti F., Vuerich E., Casu G.,

RE.S.M.A. - Rep. Sper. di Meteor. Aeronautica - Vigna di Valle - Roma

Beltrano M.C.

UCEA – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Roma

Chiavari (Genoa)



L'alluvione del 11 Novembre 1935

Per gentile concessione dell'archivio storico dell'Osservatorio Meteorologico A. Bianchi di Chiavari
<http://www.museodellascienza.org>

1. il cambiamento della strumentazione di misura nel corso degli anni;
2. il deteriorarsi di tali attrezzature;
3. l'avvicinarsi di diversi osservatori all'interno della struttura demandata alla raccolta dati;
4. le variazioni nel posizionamento degli strumenti
5. ...

Affidabilità delle registrazioni pluviometriche e Climatologia

Tra i principali fattori in grado di condizionare il risultato degli studi climatici riguardanti la precipitazione vi sono:

- La scarsa disponibilità di serie storiche di dati idrologici **affidabili** e sufficientemente **estese nel tempo**
- La **disomogeneità** dei dati registrati in ogni singola serie temporale dovuta a diversi fattori, tra cui:



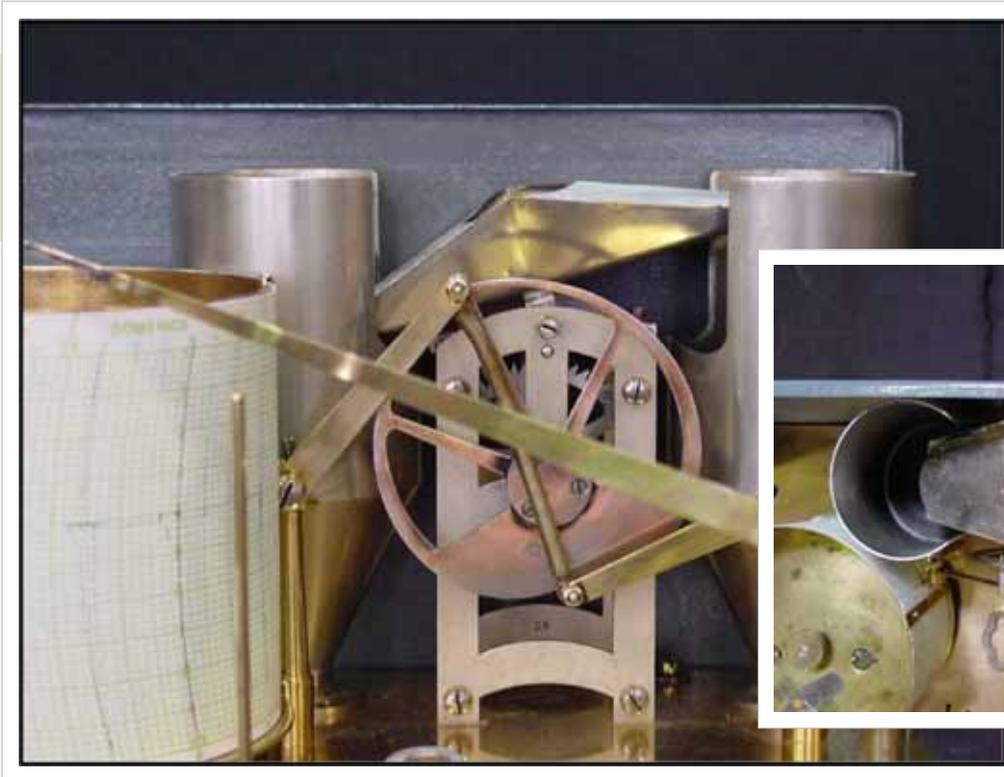
Obbiettivi principali :

1. L'identificazione e l'analisi di tecniche affidabili per l'abbattimento degli **effetti degli errori sistematici di misura sulle registrazioni pluviometriche**;
2. Sviluppo di procedure di **omogeneizzazione** dei dati storici con quelli di recente acquisizione;
3. La stima degli effetti delle sorgenti di errore sistematico sulle statistiche di precipitazione ed, in particolare, sulle **statistiche di estremo**.

Per sviluppare tali punti è necessario considerare:

- le diverse tipologie di errore che affliggono i più diffusi strumenti pluviometrici, i **pluviometri a vaschette basculanti**, concentrandosi in particolare su quelle sorgenti di incertezza che **dipendono dall'intensità di pioggia**;
- I **metodi per la calibrazione** standardizzata di questi strumenti
- I **limiti di incertezza** entro i quali la calibrazione può essere effettuata
- Le **scale di campionamento** entro cui l'applicazione della calibrazione mantiene un senso.

In particolare, laddove la scala di aggregazione originale del dato impedisca l'efficace applicazione dei metodi di correzione, introdurremo il concetto di **correzione "in probabilità"**, basandoci su tecniche di **disaggregazione stocastica nel tempo**.

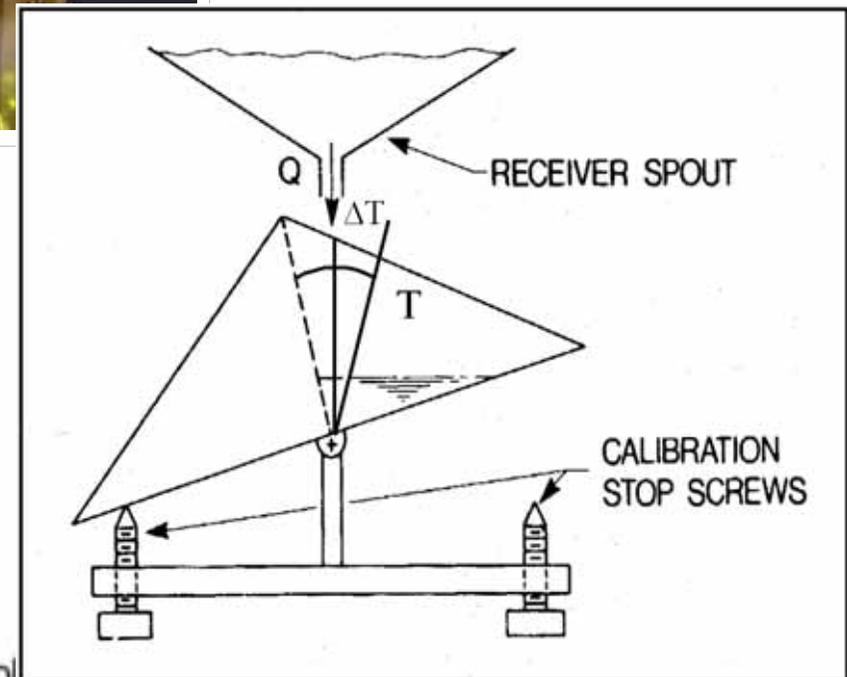


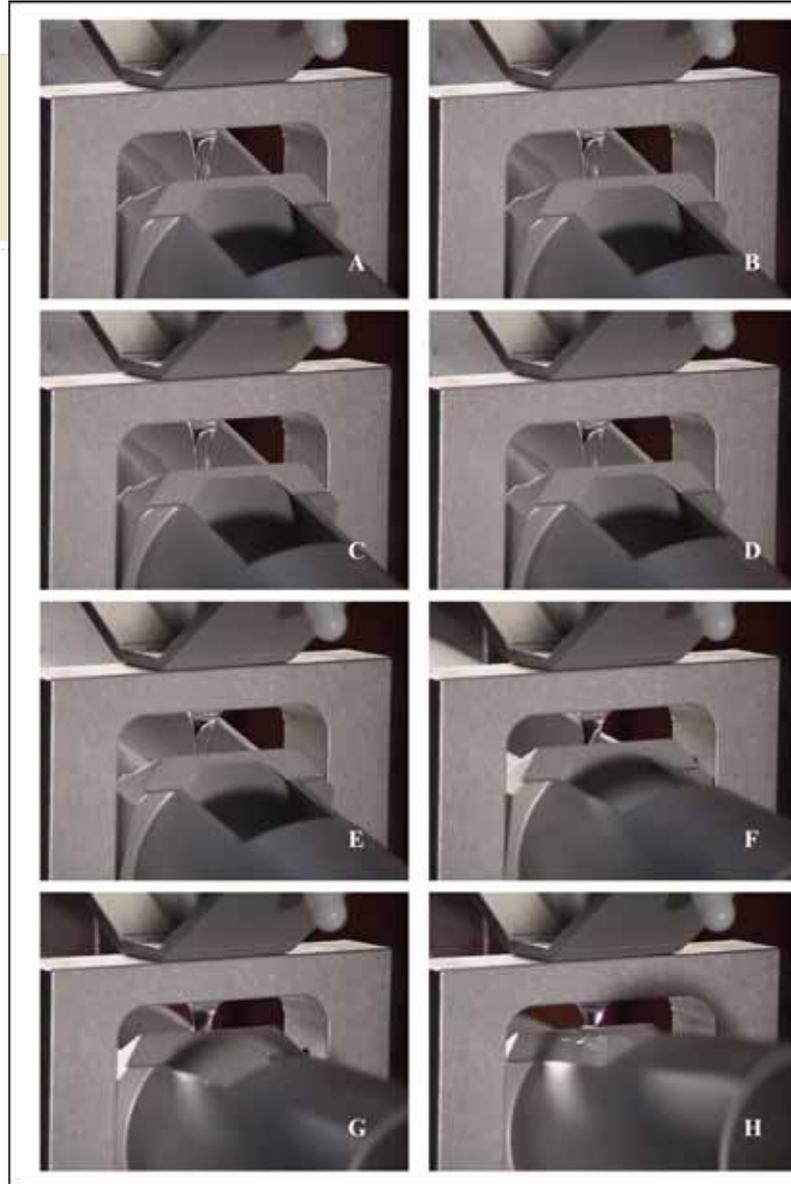
Incertezza nelle misure pluviometriche: I pluviometri a vaschette basculanti

Le misure di precipitazione sono affette da numerose sorgenti di errore dovute ad incertezze sia nella fase di **captazione** che in quella di **conteggio delle bascate**.

La maggior parte delle incertezze dovute a problemi di captazione hanno in realtà un'influenza limitata sulla rilevazione delle forti intensità di precipitazione, mentre possono influenzare fortemente la precisione delle piogge cumulate giornaliere, mensili o su scale temporali ancora più elevate .

Al contrario, gli **errori meccanici** legati alle caratteristiche del sistema di conteggio delle bascate, sebbene poco rilevanti in termini di pioggia cumulata, risultano avere una forte influenza sulla **misura dell'intensità** di pioggia, **con impatto crescente al crescere dell'intensità stessa**.





L'errore sistematico meccanico nei pluviometri a vaschette basculanti

La misura dell'intensità di pioggia, tradizionalmente effettuata per mezzo dei pluviometri a vaschette basculanti è **quindi soggetta ad una sistematica sottostima delle forti intensità** a causa della quantità di pioggia persa durante il movimento di rotazione della bascula.

Nonostante questa incertezza intrinseca possa essere parzialmente corretta tramite la **calibrazione dinamica** dello strumento in esame, l'usuale pratica operativa dei servizi meteorologici e delle aziende costruttrici di strumenti si affida ad una **calibrazione a punto singolo**, basandosi sull'assunzione che la calibrazione dinamica abbia in realtà scarsa rilevanza sul quantitativo totale di pioggia registrata .

Tale calibrazione fa inoltre sì che le **basse intensità risultano invece sovrastimate** a causa dello spostamento dello zero dello strumento.

La calibrazione dinamica dei pluviometri a vaschette basculanti

Secondo **Marsalek (1981)** la relazione tra l'intensità di pioggia registrata (I_r) e quella effettiva (I_a) in funzione di ΔT è data dalla seguente espressione:

$$I_r / I_a = h_n / (h_n + I_a \cdot \Delta T)$$

dove h_n è l'incremento nominale dell'altezza di pioggia registrata per singolo rovesciamento. Si noti che $I_r / I_a = 1$ solo nel caso in cui si abbia $\Delta T = 0$ e che ΔT è una funzione dell'intensità di pioggia (durate significative del movimento di rotazione variano tra **0.3** e **0.6 s**).

Tuttavia, le **incertezze relative alla misura del tempo di rovesciamento** – dovute all'avvio molto lento del movimento di rotazione della vaschetta – rendono difficile un confronto rigoroso tra la curva sperimentale e la relativa espressione teorica.

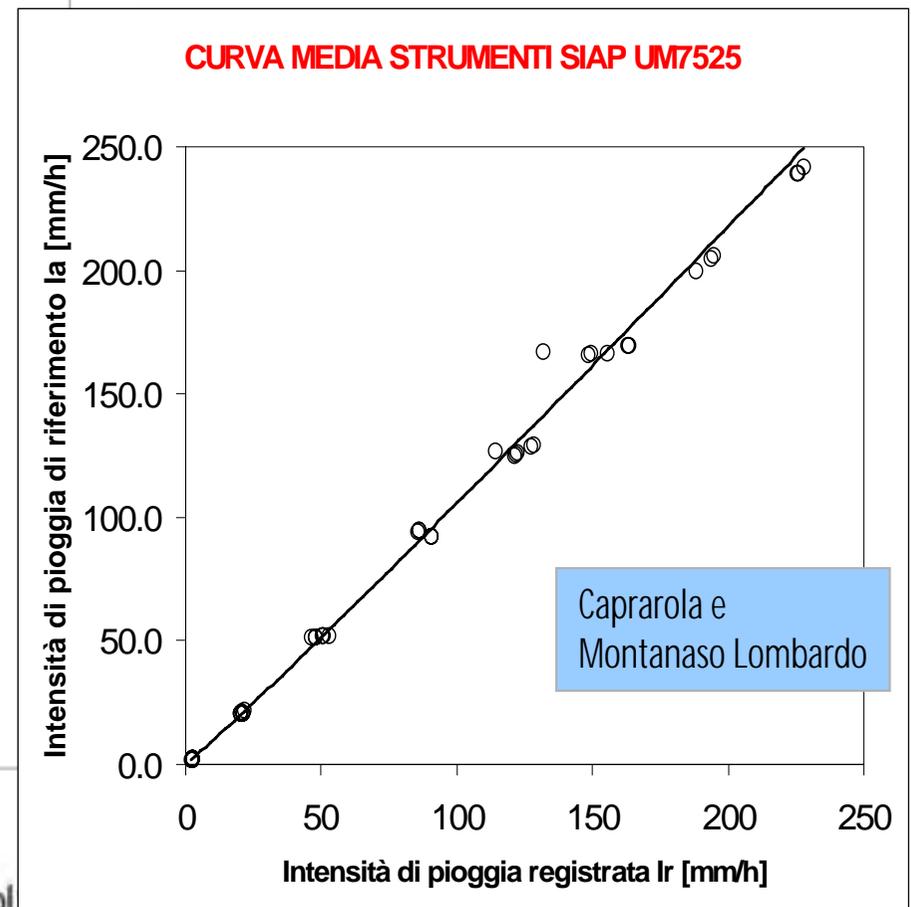
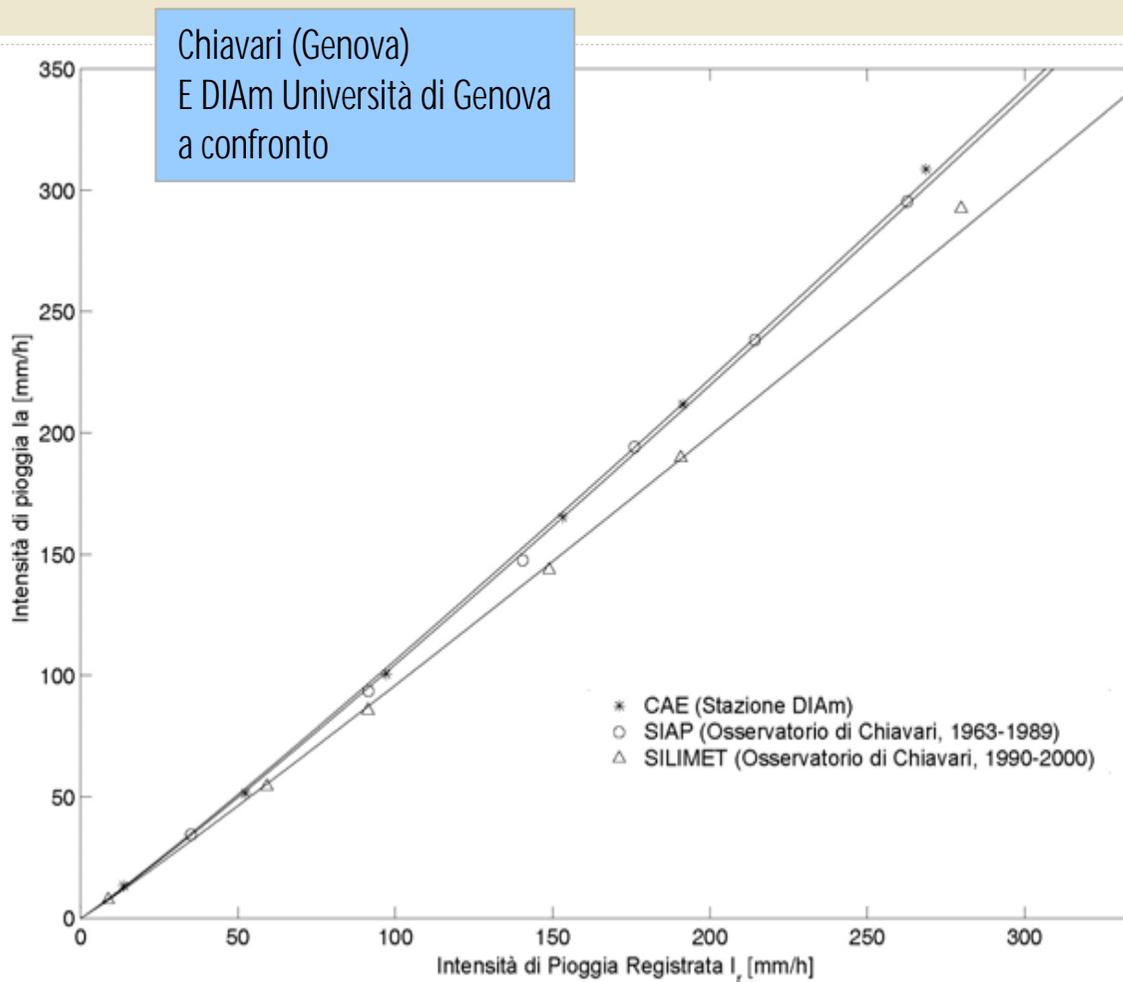
 **Stima diretta della curva di calibrazione** 

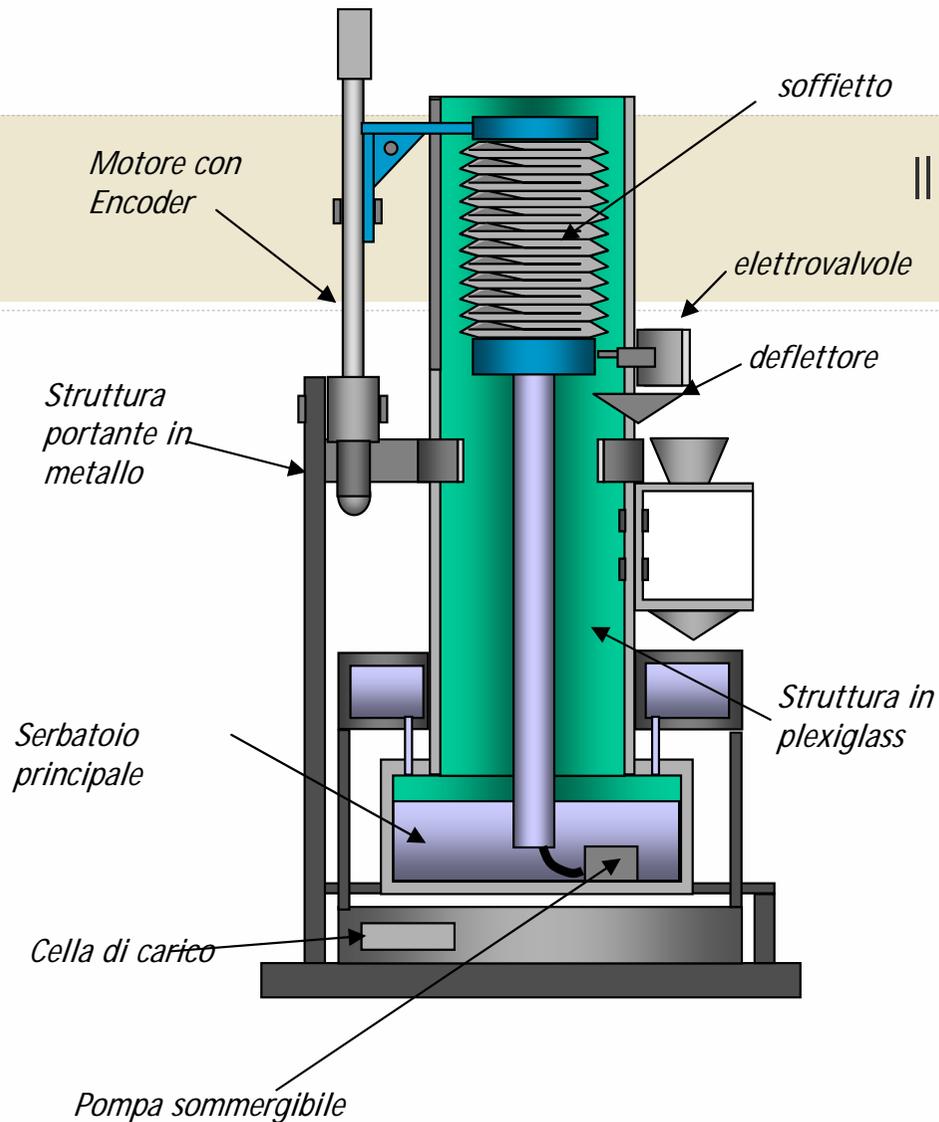
$$I_a = \alpha \cdot I_r^\beta$$

in cui I_a ed I_r sono nuovamente le intensità di pioggia effettiva e registrata ed α , β sono i parametri di calibrazione. L'errore relativo corrispondente ε può essere definito come:

$$\varepsilon = \frac{I_r - I_a}{I_a} \cdot 100$$

Curve di calibrazione degli strumenti pluviometrici utilizzati nello studio





Il modulo per la qualificazione delle misure pluviometriche (QM-RIM) utilizzato nell'INTERCOMPARISON WMO



Modulo per la generazione delle Intensità di pioggia (RI)

Modulo per la misura della RI di riferimento



Cerisola, A. Vallebona, P. La Barbera, L.G. Lanza, A. Molini, L. Stagi, (2002) An automatic device for dynamic calibration of tipping bucket rain gauges, (Abstract), TIES 2002: Annual Conference of The International Environmetrics Society, Genova (Italy), 18 – 22 Giugno 2002.

Bilancia di precisione
Matter Toledo

Principio di funzionamento del QM-RIM e Validazione Metrologica

Generazione di una portata costante Q :

$$Q = \rho \cdot \xi \cdot \pi \frac{D^2}{4} \cdot \sqrt{2gH}$$

ρ = densità dell'acqua
 ξ = perdite di carico
 D = diametro degli ugelli
 H = Carico

Le componenti del QM-RIM dal punto di vista della validazione metrologica:

Modulo di generazione delle intensità di pioggia

Effetti di possibili variazioni di carico
Sulla costanza del flusso

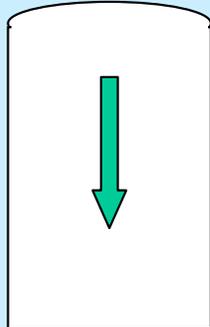
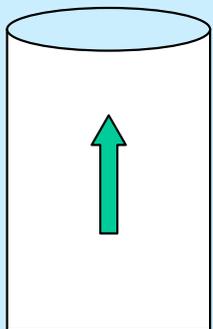
INCERTEZZA TOTALE ASSOCIATA AL MODULO DI GENERAZIONE DELLE INTENSITA' DI PIOGGIA

Modulo per la misura Delle intensità di pioggia di riferimento

Incerezze dovute all'apparato di pesata, ai ritardi di acquisizione e alla variazione delle condizioni sperimentali (temperatura ed umidità relativa)

INCERTEZZA TOTALE ASSOCIATA CON IL MODULO DI MISURA DELLE RI DI RIFERIMENTO

Molini A., Cassini G., Lanza L.G. e L. Stagi, Dealing with uncertainty in rainfall gauges calibration: the QM-RIM metrological validation, WMO Tech. Conf. on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO 2005), 2005.



La **validazione metrologica** del QM-RIM si è svolta nella fase iniziale dell'**INTERCALIBRAZIONE** in **LABORATORIO** della strumentazione pluviometrica del WMO

$$u_Q = \sqrt{\left(u_Q^{(W,t)}\right)^2 + \left(u_Q^{(H)}\right)^2}$$

Incertezza Standard Totale e Incertezza Estesa del QM-RIM

Da cui è possibile ottenere l'espressione finale per l'incertezza standard associata con la stima dell'intensità di pioggia di riferimento k :

$$u_{RI} = k \cdot u_Q = k \cdot \sqrt{\left(u_Q^{(W,t)}\right)^2 + \left(u_Q^{(H)}\right)^2} \quad \text{Con:} \quad k = \rho^{-1} \textcircled{S}^{-1} = 0.01 \text{ mm g}^{-1}$$

Area del captatore

Calcolando $u_{RI}^{(W,t)}$ in funzione di t otteniamo quindi:

$$\frac{u_Q^{(W,t)}}{Q} \% = \frac{u_{RI}^{(W,t)}}{RI} \% = 0.02 \div 0.15$$

Mentre calcolando $u_{RI}^{(H)}$ in funzione di H otteniamo:

$$\frac{u_Q^{(H)}}{Q} \% = \frac{u_{RI}^{(H)}}{RI} \% = 0.01 \div 0.1$$

Da cui possiamo assumere che:

$$\frac{u_Q^{\max}}{Q} \% = \frac{u_{RI}^{\max}}{RI} \% = 0.2$$

Incertezza Standard Totale e Incertezza Estesa del QM-RIM

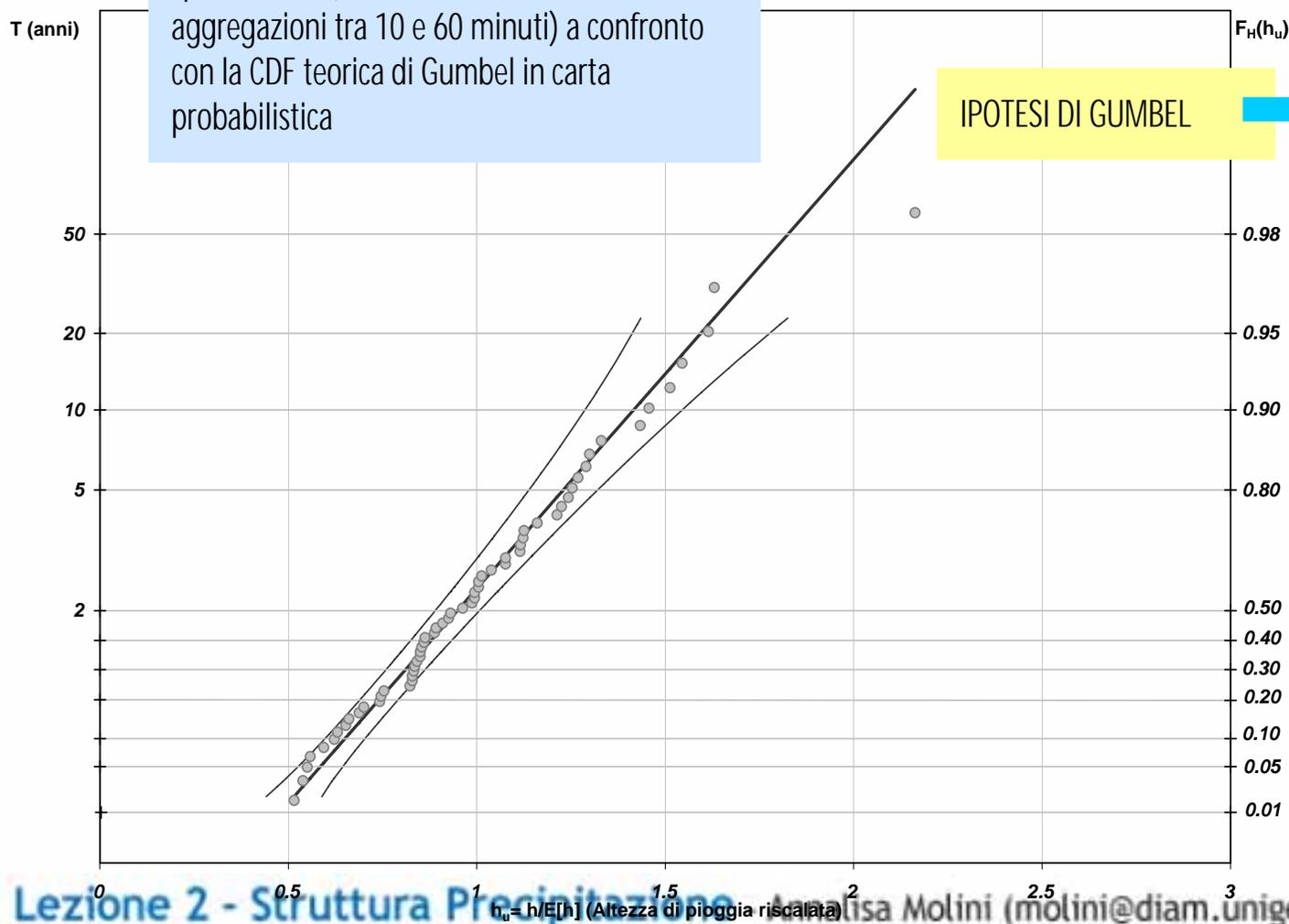
Ed assegnato un fattore di copertura **K** uguale a **2.576** (corrispondente ad un livello di confidenza del **99%**) e per un numero infinito di gradi di libertà, otteniamo l'**incertezza relativa estesa**:

$$\frac{U_{RI}^{\max}}{RI} \% = 0.5$$


Errore medio di un TBR su un'intensità di 200 mm/h = 15-20%

Correzione diretta e statistiche di estremo

STAZIONE DI CAPRAROLA: CDF dei dati sperimentali (valori riscaldati relativi alle aggregazioni tra 10 e 60 minuti) a confronto con la CDF teorica di Gumbel in carta probabilistica



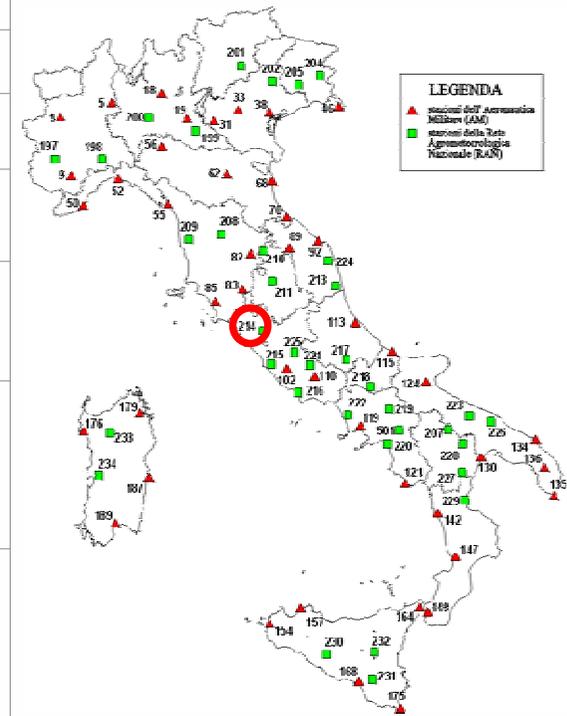
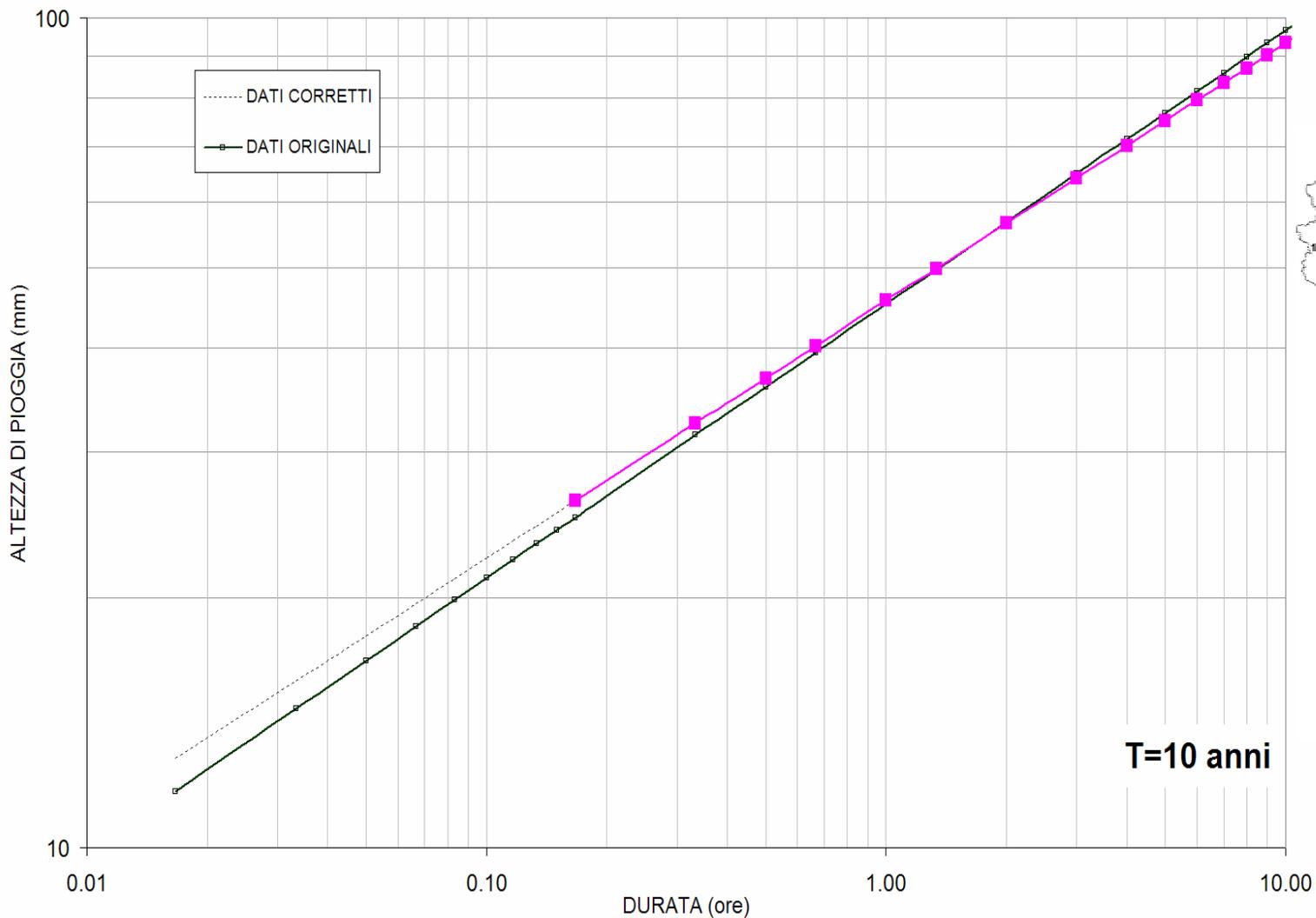
Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) o Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP)

Esprimono la dipendenza dell'altezza di pioggia dalla durata.
La forma più semplice per esprimerle è:

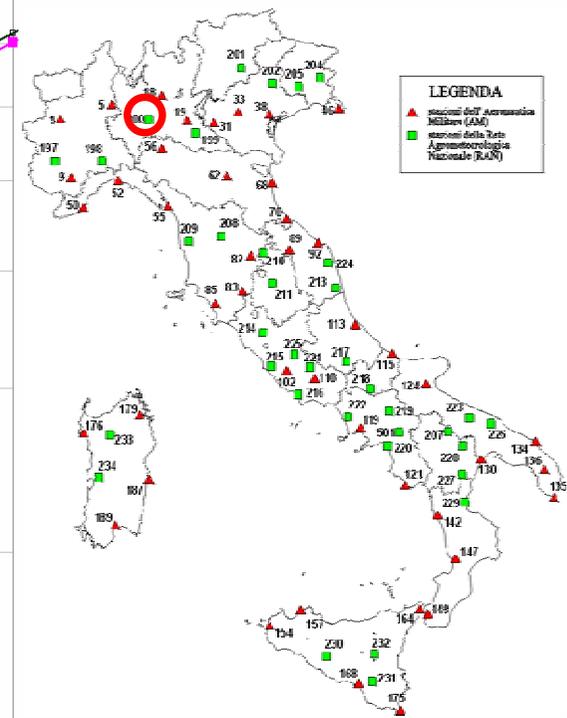
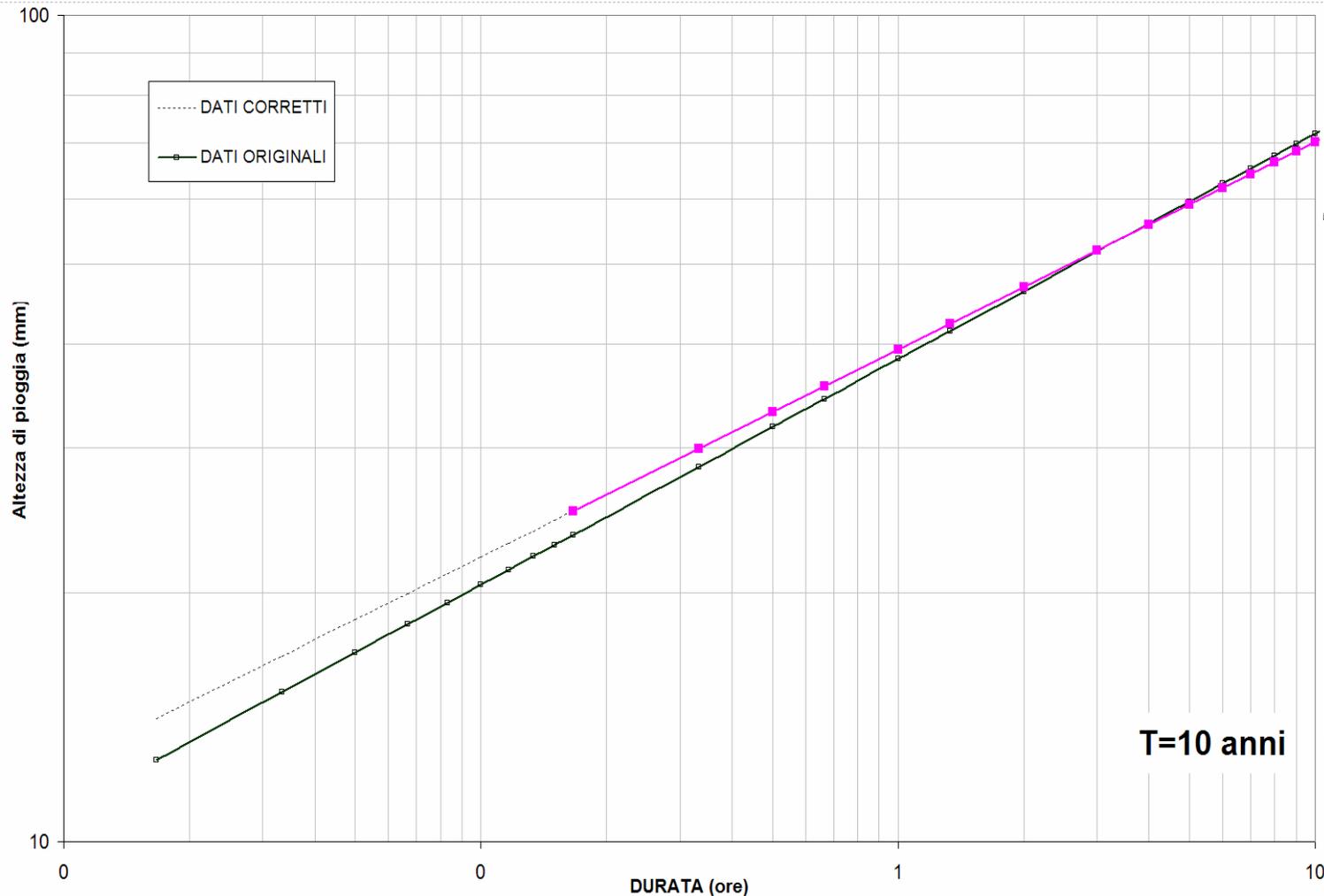
$$h(T, d) = a(T) \cdot d^b$$

Con $a(T)$ e b parametri stimati dai dati sperimentali sotto l'ipotesi di Gumbel

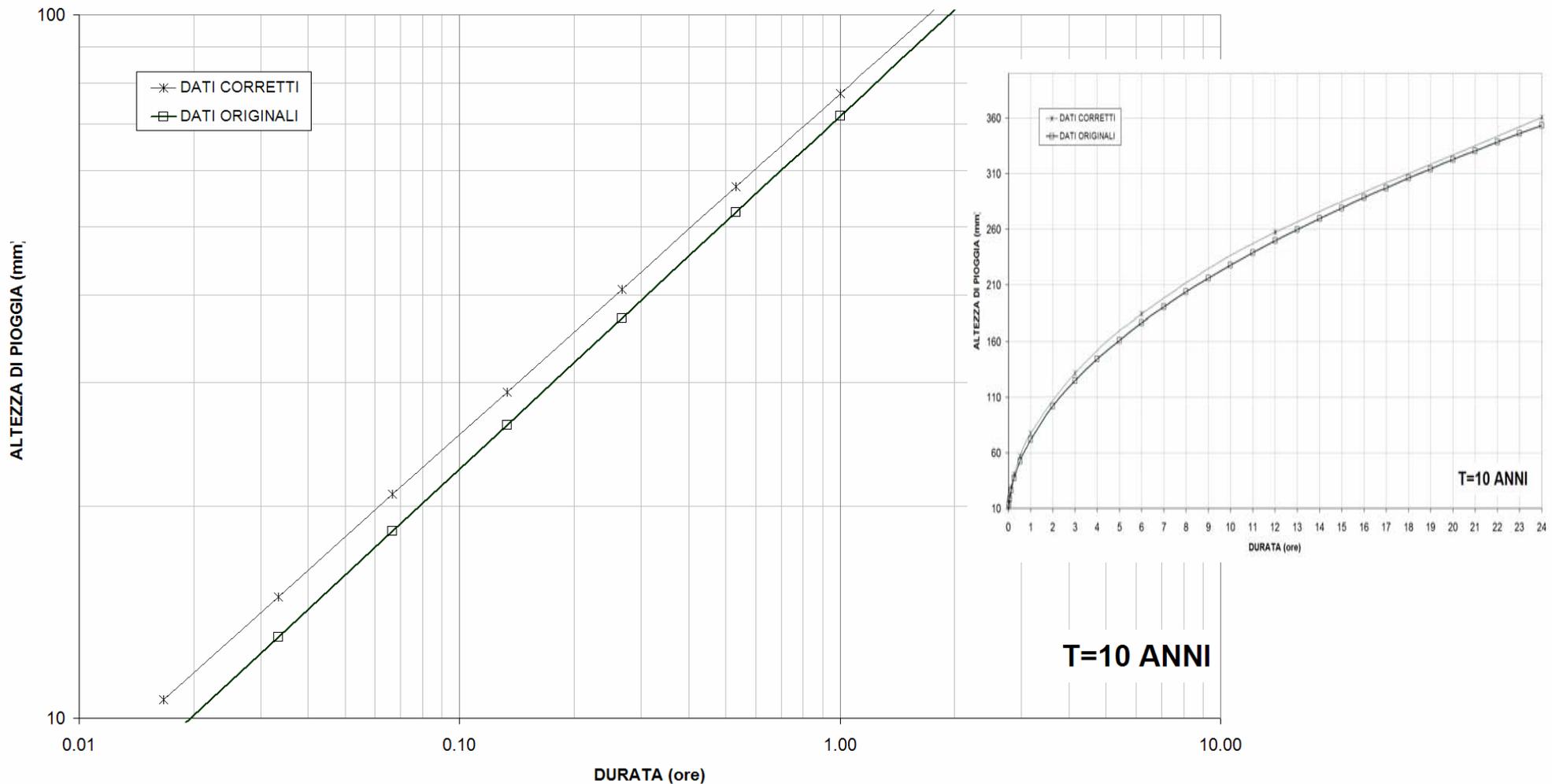
Effetti della scala temporale del dato sulla correzione diretta di una serie storica : Caprarola



Effetti della scala temporale del dato sulla correzione diretta di una serie storica : Montanaso Lombardo



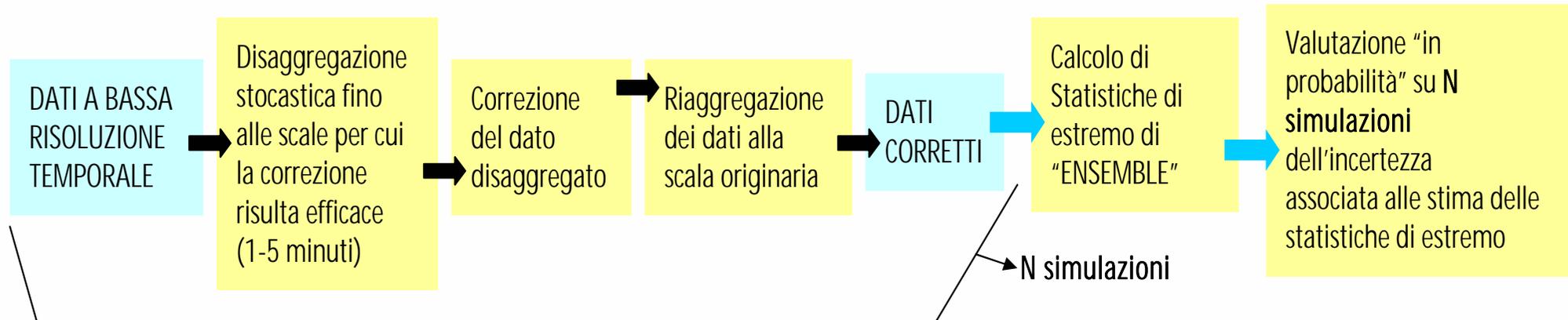
Statistiche di estremo e correzione diretta:
La serie DIAm – Dipartimento di Ingegneria Ambientale di Genova



Correzione "in probabilità" o "statistica" e tecniche di disaggregazione stocastica

Come abbiamo potuto osservare, la correzione derivante dalla taratura dinamica della strumentazione pluviometrica risulta efficace solo quando le scale temporali di campionamento del dato risultino compatibili con la durata (sempre molto breve) delle alte intensità.

Correzione per mezzo della disaggregazione stocastica del dato

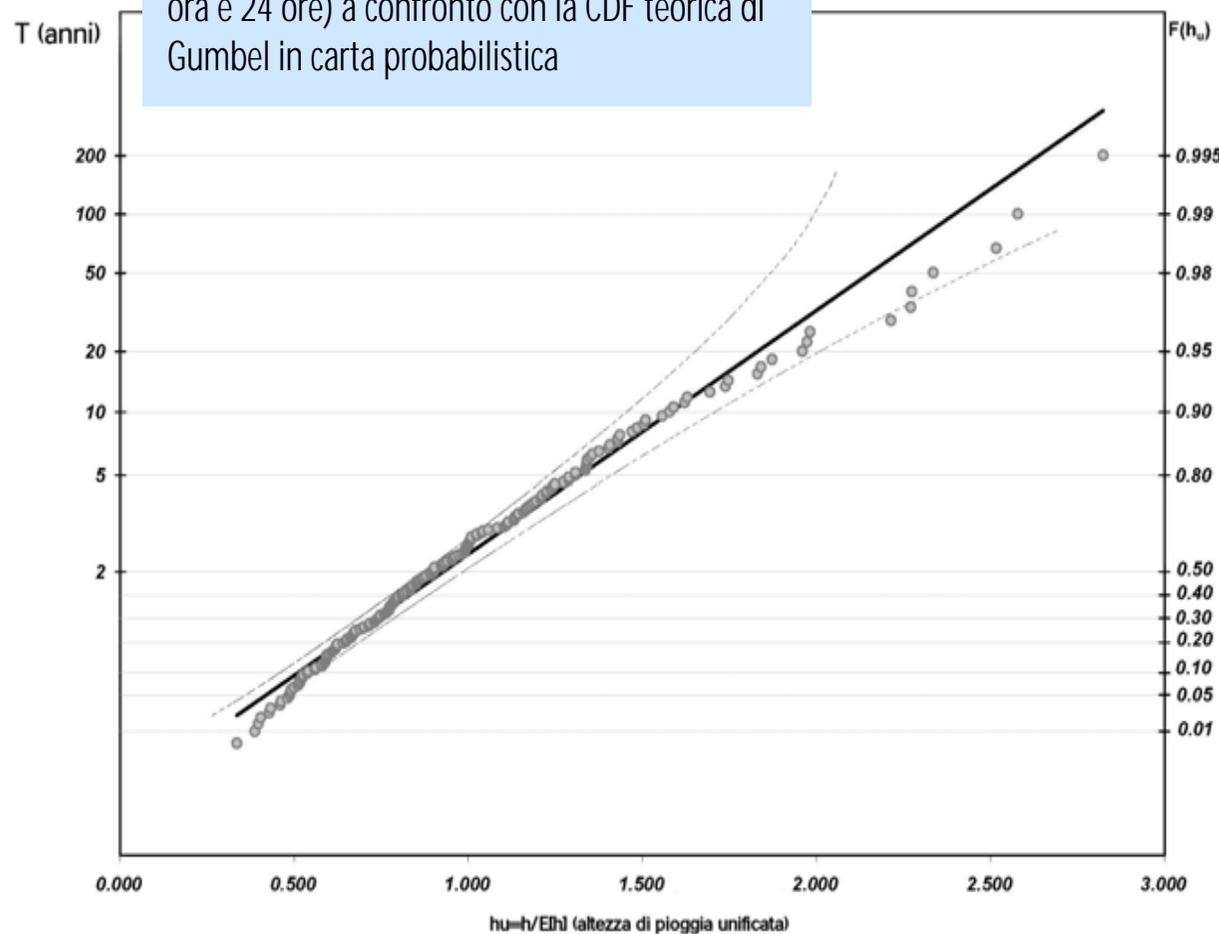


La **ricostruzione della variabilità del processo di precipitazione** alle scale sub-orarie è una condizione essenziale per la correzione dell'errore sistematico meccanico.

Ne consegue che la disaggregazione deve essere effettuata usando algoritmi capaci di riprodurre le caratteristiche di base del processo di pioggia alle risoluzioni temporali dell'ordine del minuto quali l'intensità massima e la struttura di intermittenza.

La serie oraria di Chiavari (Genova)
Dal 1961 al 2000

SERIE DI CHIAVARI: CDF dei dati sperimentali (valori riscaltati relativi alle aggregazioni tra 1 ora e 24 ore) a confronto con la CDF teorica di Gumbel in carta probabilistica



Molini, A., La Barbera P., e L.G. Lanza, The impact of TBRs measurement errors on design rainfall for urban-scale applications, Hydrological Processes, 19, 1073-1088, 2005

Disaggregazione per mezzo di una cascata multi-frattale canonica (RC)

La prima procedura di disaggregazione utilizzata nel presente lavoro è una **cascata moltiplicativa a conservazione di massa e a rami binari**, per la cui descrizione particolareggiata si rimanda ai lavori di *Güntner et al.* (2001), *Menade et al.* (1997,1999) e *Olson* (1998).

In tale algoritmo di disaggregazione i due pesi di moltiplicazione W_1 e W_2 associati a ciascun passo temporale di un generico livello della cascata vengono stimati a partire da una base dati di test. Nel nostro caso, tale base dati è costituita dalla serie pluviometrica del Dipartimento d'Ingegneria Ambientale dell'Università di Genova, che copre il periodo dal 1990 al 2001 con risoluzione temporale di 1 minuto.

Tale stazione risulta compatibile dal punto di vista idro-climatologico con il sito storico di Chiavari da cui dista 40 km circa. A partire appunto da tale serie sono stati ricavati i pesi moltiplicativi W_1 e W_2 , esprimibili come:

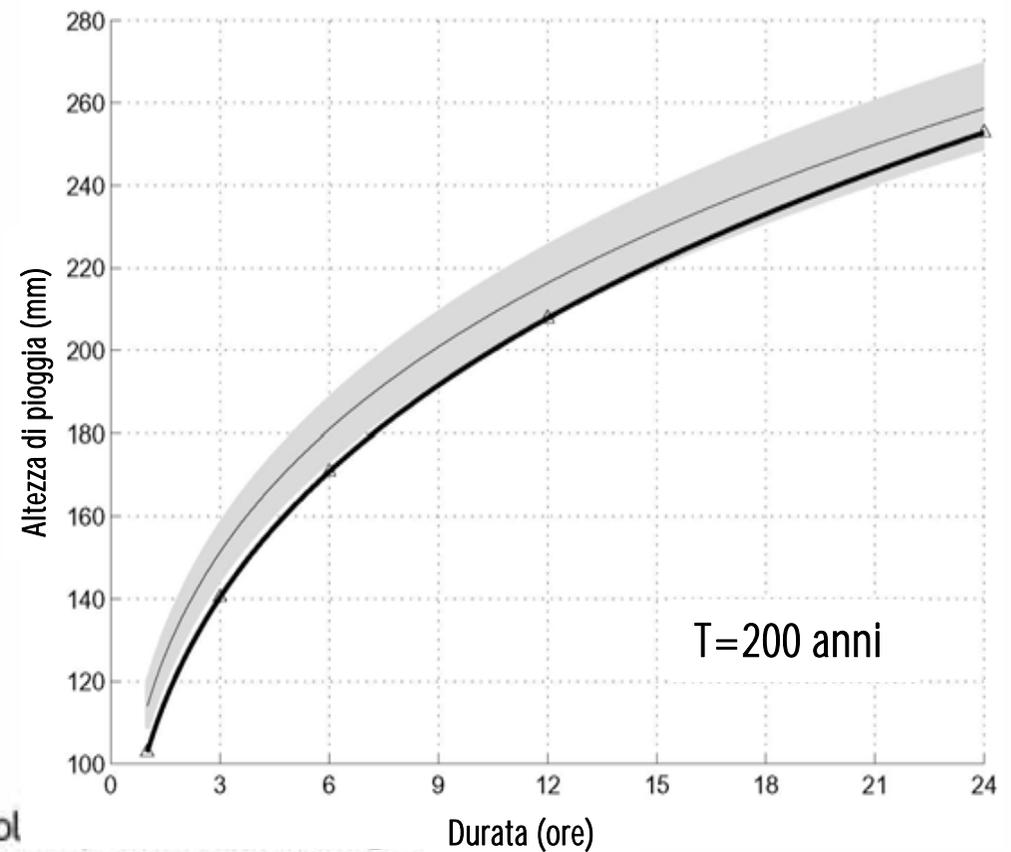
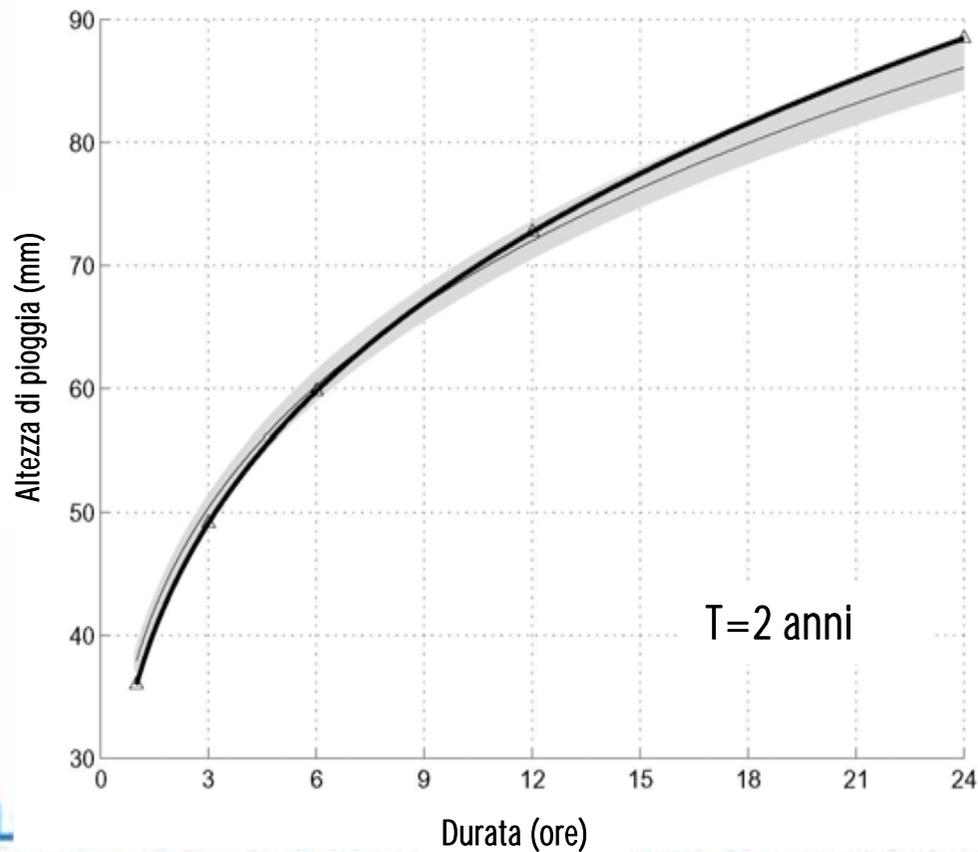
$$W_1, W_2 = \begin{cases} 0 \text{ e } 1 & \text{con probabilità } P(0 | 1) \\ 1 \text{ e } 0 & \text{con probabilità } P(1 | 0) \\ W_{x|x} \text{ e } 1 - W_{x|x} & \text{con probabilità } P(x | x) \end{cases}$$

con $0 < W_{x|x} < 1$ e $P(0|1) + P(1|0) + P(x|x) = 1$ (*Güntner et al.*, 2001) e con le distribuzioni di probabilità dei pesi considerate **scala invarianti sul range di scale temporali considerate** e calcolate separatamente a seconda della posizione del volume da disaggregare nella serie temporale iniziale (inizio evento, fine evento, posizione centrale nell'evento ed evento isolato).

Molini, A., La Barbera P., e L.G. Lanza, The impact of TBRs measurement errors on design rainfall for urban-scale applications, Hydrological Processes, 19, 1073-1088, 2005

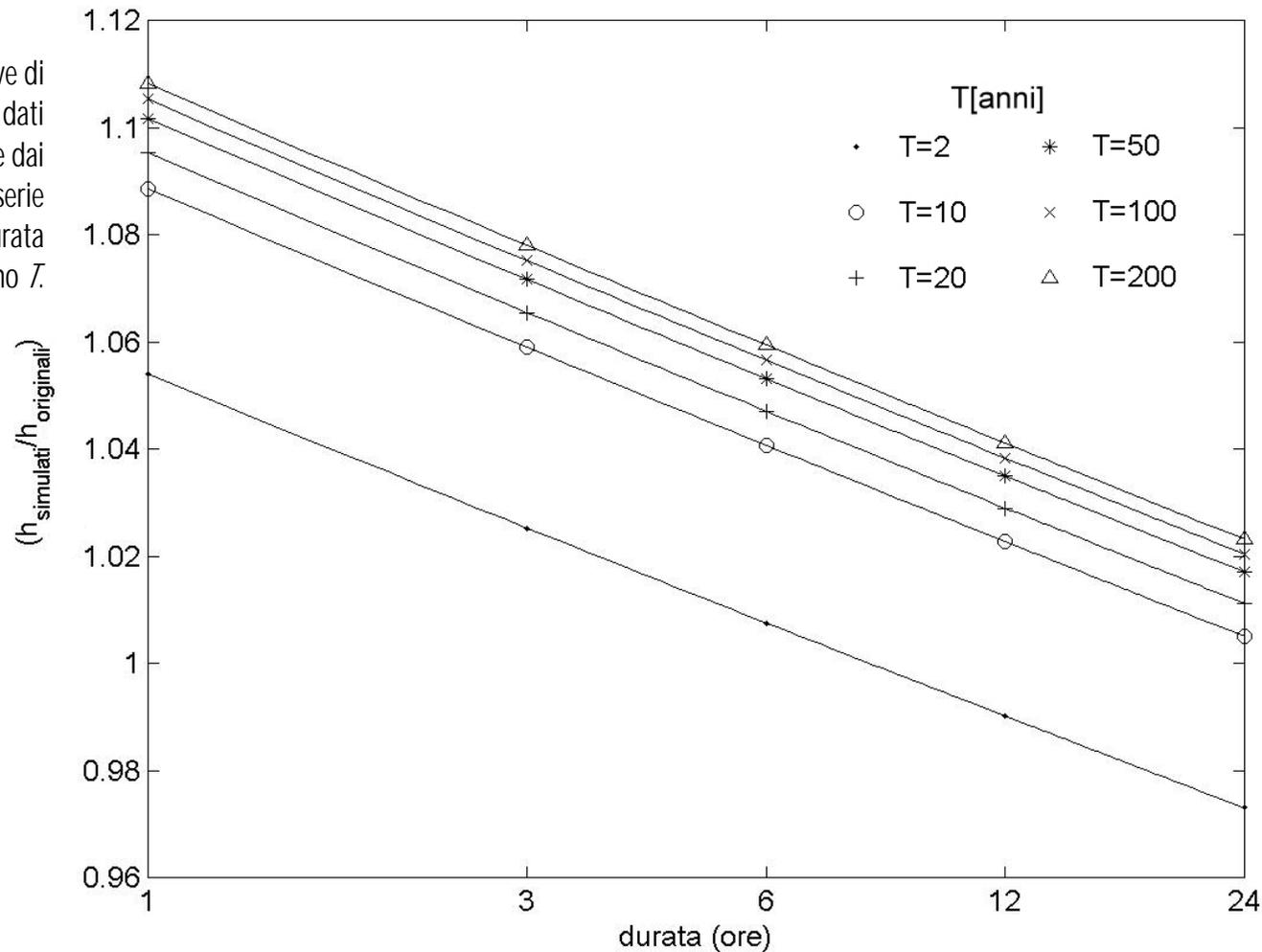
Il caso di studio di Chiavari con RC (1)

Curva di possibilità pluviometrica dei dati originali (in grassetto con marcatori triangolari) e fascia delle CPP dei dati corretti (banda in grigio chiaro) dopo la disaggregazione tramite algoritmo RC della serie di Chiavari per i tempi di ritorno di $T=2$ e $T=200$ anni. La curva grigia in grassetto indica la media delle curve simulate.



Il caso di studio di Chiavari con RC (2)

Guadagno medio tra le curve di possibilità pluviometrica dei dati originali e quelle ottenute dai parametri medi delle serie simulate in funzione della durata e del tempo di ritorno T .



Iterated random pulse processes: Uso dei modelli IRP di simulazione nella disaggregazione di serie storiche

Gli algoritmi IRP (**I**terated **R**andom **P**ulse) devono la loro denominazione alla natura gerarchica della "clusterizzazione" della posizione degli impulsi (Veneziano, 2002; Veneziano e Iacobellis, 2002).

Gli impulsi alle diverse scale presentano una dipendenza tra loro di tipo a "cascata multifrattale", mentre le lacunarità prodotte alle scale più fini sono non-frattali.

La procedura di disaggregazione adottata in questo lavoro può essere quindi riassunta come segue:

- in primo luogo i dati su scala oraria vengono assimilati ad eventi di scala sub-sinottica ed indicati come $h(t - t_0)$, con t_0 parametro di posizione.
- Ogni evento di pioggia viene quindi sostituito da un numero casuale N di impulsi generati contratti di un fattore $r > 1$ rispetto all'impulso originario.
- Gli impulsi generati presentano inoltre uno sfasamento temporale relativo al parametro di posizione ed intensità riscalate in modo casuale cosicché:

$$h(t - t_0) \Rightarrow \sum_{i=1}^N \eta_i h(r(t - t_i))$$

dove N è distribuito in modo Poissoniano con $E[N]=r$, le posizioni temporali t_i sono variabili casuali indipendenti tra loro ed identicamente distribuite con una funzione densità di probabilità dipendente dall'impulso originario $h(t - t_0)$ e gli η_i sono realizzazioni indipendenti di una variabile casuale non negativa h di valore atteso 1.

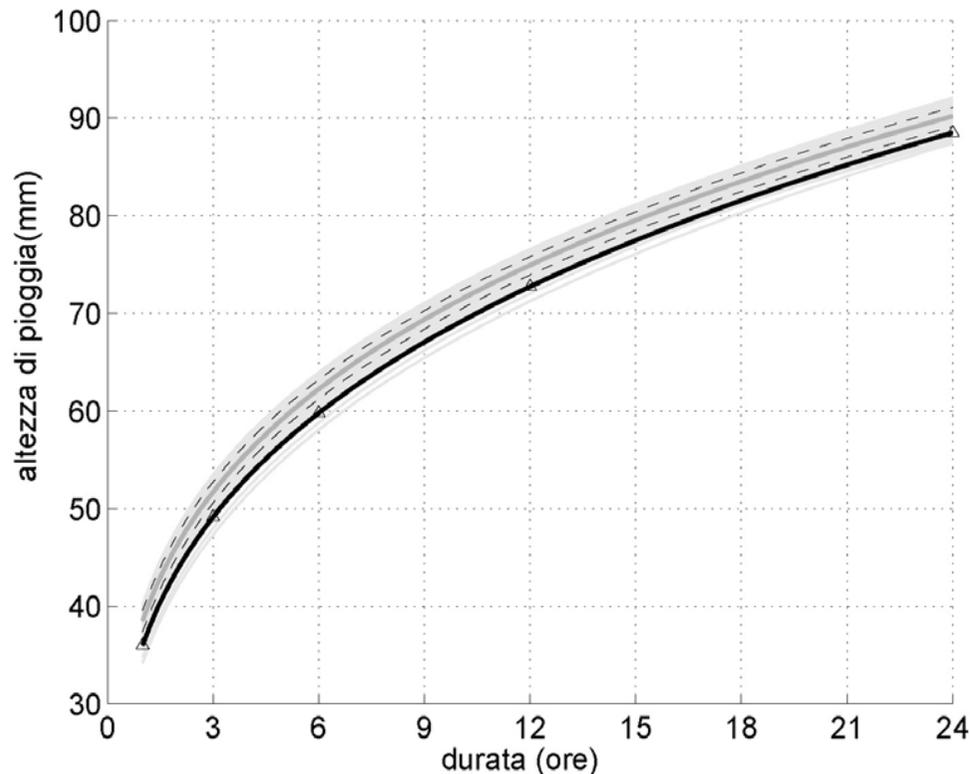
Inoltre: 1) η è stata assunta lognormale---> derivazione di solo due parametri: $r=4$ e $C_1 = 0.5 \log_r (E[\eta^2]) = 0.1$

Molini, A, L.G. Lanza and P. La Barbera, Improving the accuracy of tipping-bucket rain records using disaggregation techniques, *J. of Atmos. Res.*, in press

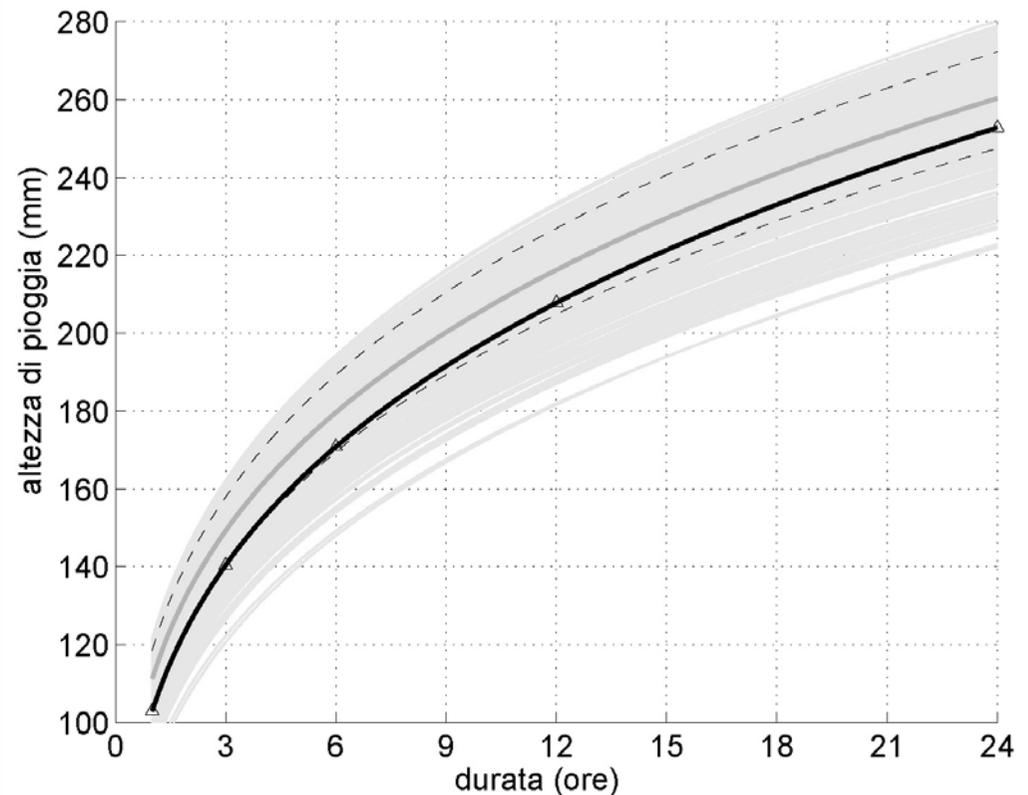
Il modello IRP applicato alla serie di Chiavari (1)

Curva di possibilità pluviometrica dei dati originali (in grassetto con marcatori triangolari) e fascia delle CPP dei dati corretti (banda in grigio chiaro) dopo la disaggregazione tramite algoritmo IRP della serie di Chiavari per i tempi di ritorno di $T=2$ e $T=200$ anni. La curva grigia in grassetto indica la media delle curve simulate, mentre le due linee sottili tratteggiate sono i limiti contenenti il 90% delle simulazioni. In questo caso infatti, gli intervalli di confidenza non possono essere derivati sotto l'ipotesi di Gaussianità a causa della forte asimmetria nella distribuzione delle curve simulate attorno alla curva media.

T=2 anni

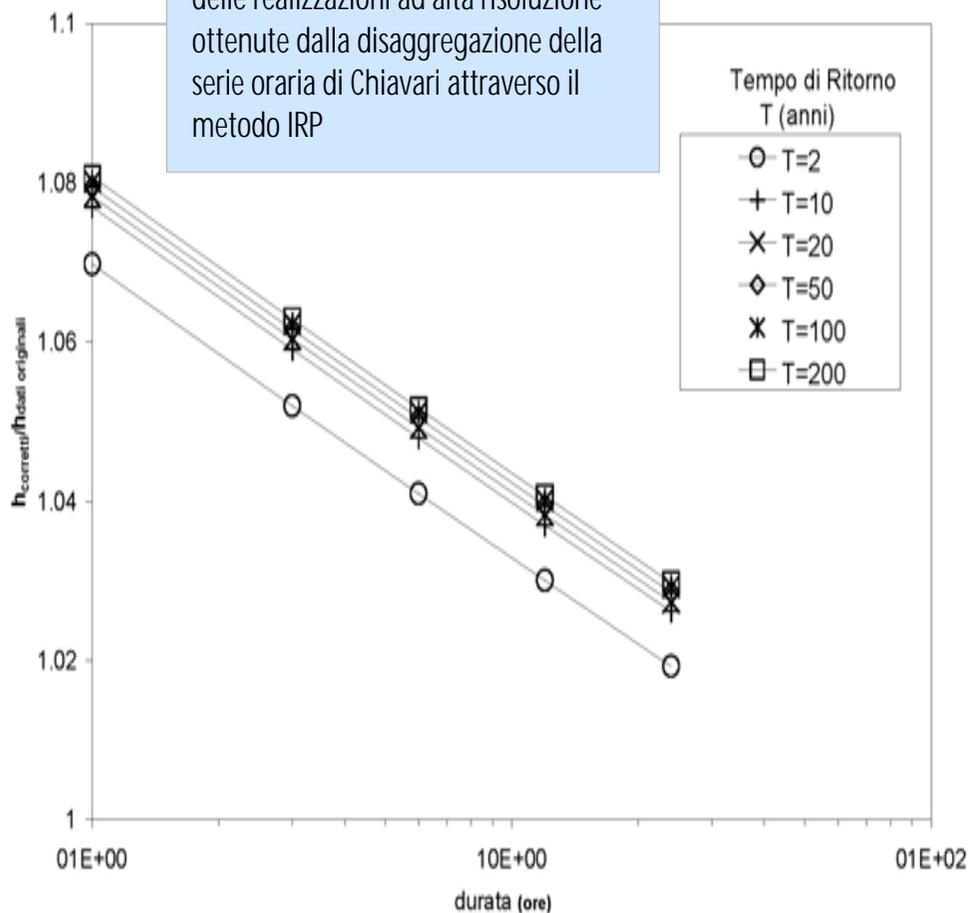


T=200 anni

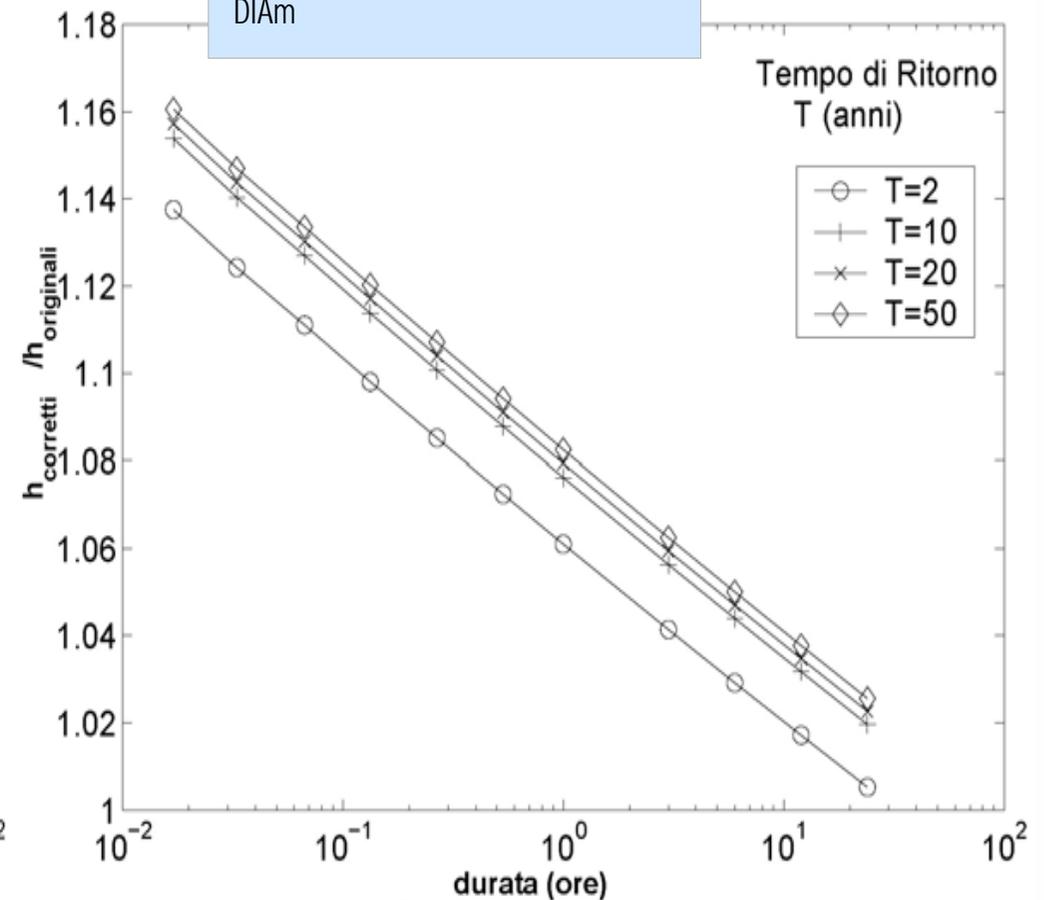


Alcune valutazioni sulla correzione statistica delle serie storiche e sul suo utilizzo nella stima dell'incertezza sulle statistiche di estremo pluviometriche (1)

Rappresentazione sintetica del guadagno ottenuto dopo la correzione delle realizzazioni ad alta risoluzione ottenute dalla disaggregazione della serie oraria di Chiavari attraverso il metodo IRP

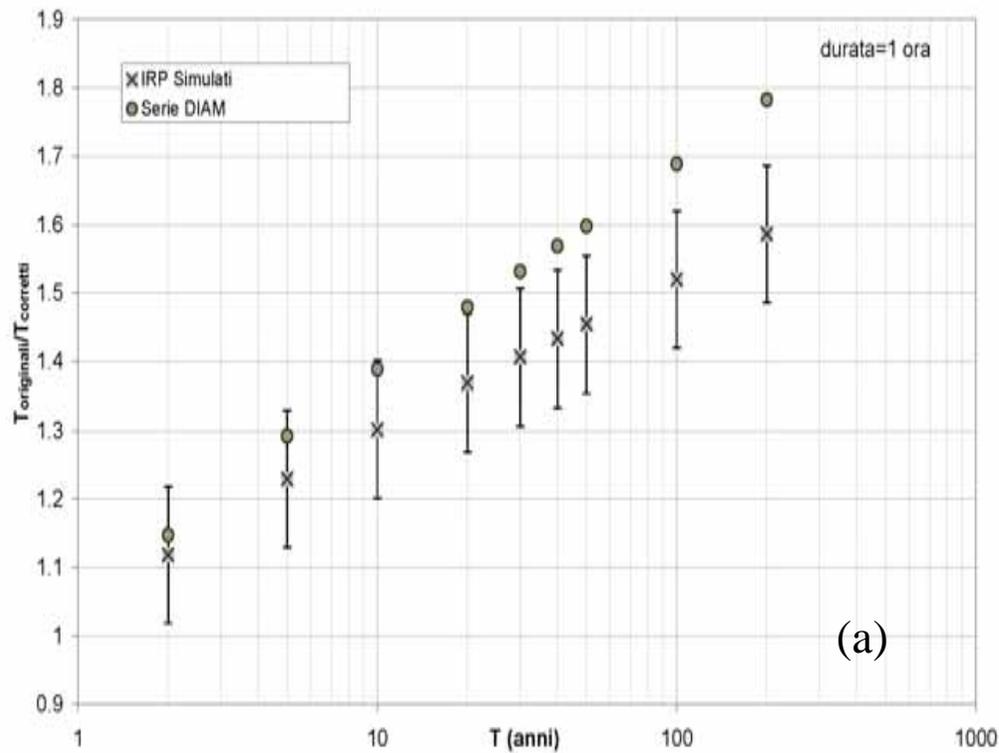


Rappresentazione del guadagno ottenuto dopo la correzione diretta dei dati ad alta risoluzione della serie DIAM

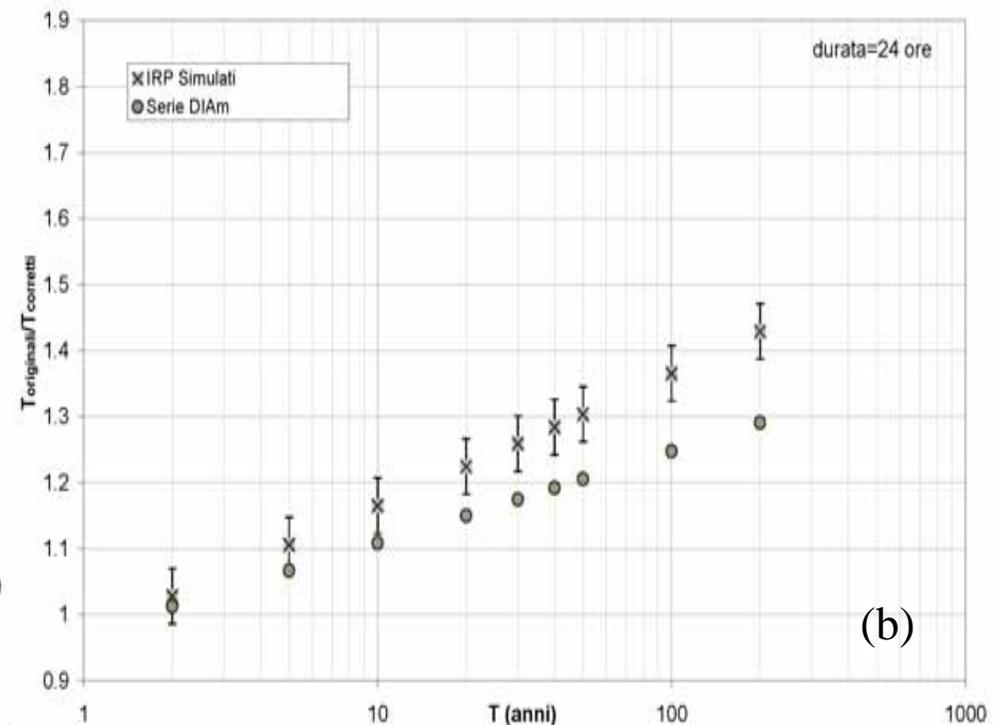


Alcune valutazioni sulla correzione statistica delle serie storiche e sul suo utilizzo nella stima dell'incertezza sulle statistiche di estremo pluviometriche(2)

Influenza dell'errore sistematico meccanico sulla stima del tempo di ritorno per la durata di 1 ora (a) e 24 ore (b): confronto dei risultati ottenuti per i dati simulati e per quelli corretti direttamente. Le barre di errore rappresentano l'errore standard sui dati simulati



(a)



(b)

Conclusioni e sviluppi futuri

1. Valutare i limiti della strumentazione utilizzata è necessario per ottenere efficaci stime climatologiche
2. La calibrazione dinamica dei pluviometri è indispensabile per migliorare l'affidabilità delle misure pluviometriche.
3. L'errore sistematico meccanico cresce al crescere dell'intensità (fino all'ordine del 20% per intensità superiori ai 200 mm/h) e deve essere quindi stimato per le statistiche di estremo.

Conclusioni e sviluppi futuri

Al fine di aumentare la precisione di tali stime si sono proposte alcune tecniche sia, di **correzione diretta** che di **correzione indiretta** delle serie pluviometriche analizzandone limiti e limiti di applicabilità. I risultati ottenuti con entrambe le tipologie di correzione sembrano comunque indicare che l'incertezza finale può arrivare a tradursi anche in una sottostima tra il 60 ed il 100 % nella valutazione dei tempi di ritorno delle piogge massime annuali stimate per la durata oraria e per tempi di ritorno tra i 20 ed i 200 anni.

Per il futuro...

Passaggio dallo studio delle singole serie temporali di precipitazione al processo spazio-temporale di pioggia (per esempio attraverso la correzione dei parametri di regionalizzazione delle piogge intense)

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare **Roberto Picasso**, Direttore dell'Osservatorio Meteorologico "Andrea Bianchi" di Chiavari e l'intero gruppo dei volontari dell'Osservatorio.

Un grazie anche a **Vito Iacobellis** per i suoi preziosi suggerimenti riguardanti l'algoritmo IRP e la sua applicazione alla disaggregazione del processo di pioggia.

Links

La serie pluviometrica ad alta risoluzione del DIAM – Dipartimento di Ingegneria Ambientale dell'Università degli Studi di Genova può essere scaricata dal sito:

<http://www.diam.unige.it>

L'archivio fotografico dell'Osservatorio Meteo-Climatico A. Bianchi di Chiavari può essere consultato all'indirizzo internet:

<http://www.museodellascienza.org>

Chiavari (Genova), L'alluvione del 11 Novembre 1935



Grazie dell'attenzione...

FINE

Per gentile concessione
dell'archivio storico
dell'Osservatorio Meteorologico
A. Bianchi di Chiavari
<http://www.museodellascienza.org>