

ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA
TRA REGIONE TOSCANA E
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE
PER

***ATTIVITA' DI RICERCA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO
NELLA REGIONE TOSCANA***

Macroattività B - Modellazione idrologica
Attività B1: Regionalizzazione precipitazioni

ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

Enrica CAPORALI, Valentina CHIARELLO, Giuseppe ROSSI

GUIDA ALL'USO DEI RISULTATI
Marzo 2014

INTRODUZIONE

Scopo di questa breve guida è illustrare l'utilizzo dei risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività B Modellazione idrologica e in particolare dell'attività B1 "Regionalizzazione precipitazioni", nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, per lo sviluppo di attività di ricerca sulla Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana.

Nel primo paragrafo è riportata una sintesi della metodologia adottata e del database utilizzato, mentre nel secondo sono riportati in breve i risultati ottenuti dall'analisi di frequenza regionale. Per una trattazione completa si può fare riferimento alla Relazione tecnica finale della citata attività B1. Nei paragrafi successivi sono indicate alcune linee guida su come utilizzare i risultati ottenuti per le più comuni applicazioni di studi idrologici per la pianificazione del territorio.

METODOLOGIA ADOTTATA

Il problema della stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontato con metodologie diverse, tra cui la più robusta e più utilizzata a livello scientifico e tecnico è l'analisi di frequenza regionale. Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile per le diverse stazioni pluviometriche presenti sul territorio di una regione riducendo così l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura.

Il primo passo in una procedura di regionalizzazione è l'individuazione di regioni omogenee, all'interno delle quali le grandezze, o meglio le loro distribuzioni di frequenza, hanno alcune caratteristiche comuni. In questo studio per la stima della variabile casuale h_t , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata t , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV *Two-Component Extreme Value* secondo un approccio gerarchico a tre livelli. La legge probabilistica TCEV è una distribuzione a quattro parametri, composta dal prodotto di due distribuzioni a valori estremi del I tipo (EV1) e la sua funzione di probabilità cumulata (CDF - *Cumulative Distribution Function*) è data da:

$$F_x(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\theta_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left(-\frac{x}{\theta_2} \right) \right\} \quad \text{per } x \geq 0 \quad (1)$$

nella quale i parametri Λ_1 e Λ_2 (con $\Lambda_1 > \Lambda_2 \geq 0$) rappresentano il numero medio annuo di eventi relativi rispettivamente alla componente di base e alla componente eccezionale, mentre i parametri θ_1 e θ_2 (con $\theta_2 > \theta_1 > 0$) rappresentano il rispettivo valore medio di tali eventi.

Al primo livello di regionalizzazione si individuano una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico G e conseguentemente i parametri Λ^* e θ^* della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta y , dove i parametri Λ^* e θ^* sono definiti come:

$$\theta^* = \theta_2 / \theta_1 \quad \text{e} \quad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\theta^*} \quad (2)$$

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre al coefficiente di asimmetria teorico, anche il coefficiente di variazione teorico C_v e quindi anche il parametro Λ_1 della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta y . In questo modo la distribuzione di probabilità della variabile adimensionale x' , e dunque anche il fattore di crescita $x'(F) = K_T$, risultano costanti in ogni sottozona omogenea. L'estensione della sottozona, in caso di elevata omogeneità dei dati, può coincidere con quella della zona omogenea che la contiene.

Al terzo livello di regionalizzazione si individuano infine delle aree omogenee all'interno delle quali si ricercano delle relazioni tra la pioggia indice μ e le caratteristiche geografiche del sito.

L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica, il bacino attiguo del fiume Magra e alcuni sottobacini idrografici dei fiumi Tevere e Fiora. Una volta validato il set dei dati è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima. Per quanto riguarda la pioggia massima giornaliera le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 622, con mediamente 38.6 anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono 351, con mediamente 55.6 anni di dati. Per quanto riguarda la pioggia di durata 1-24 ore le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 404 con mediamente 30.5

anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono 152 con mediamente 52.9 anni di dati. Per la pioggia con durata inferiore all'ora, facendo riferimento alle piogge a 15 minuti, le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 281 con mediamente 16.5 anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono solamente 5 con mediamente 31.2 anni di dati.

Tra le varie ipotesi di suddivisione in regioni omogenee del territorio di studio è stata scelta, dopo opportune verifiche, quella in 4 regioni: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 subregioni. Per ogni regione è stata determinata una curva di crescita per le precipitazioni giornaliere e, quando questa non sia risultata indicativa dell'andamento della distribuzione di frequenza cumulata sperimentale delle piogge a livello orario, si è proceduto ad una stima diretta della curva di crescita per ciascun valore di durata. Dal confronto tra le curve di crescita teoriche del modello TCEV dedotte su base oraria e i dati sperimentali delle altezze di pioggia di durata 30' con più di 30 anni di dati, è emersa la possibilità di rappresentare i valori sub-orari con la distribuzione TCEV valida per 1h. Per la determinazione della pioggia indice per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia è stato utilizzato un modello multivariato, funzione di caratteristiche climatiche e geo-morfologiche.

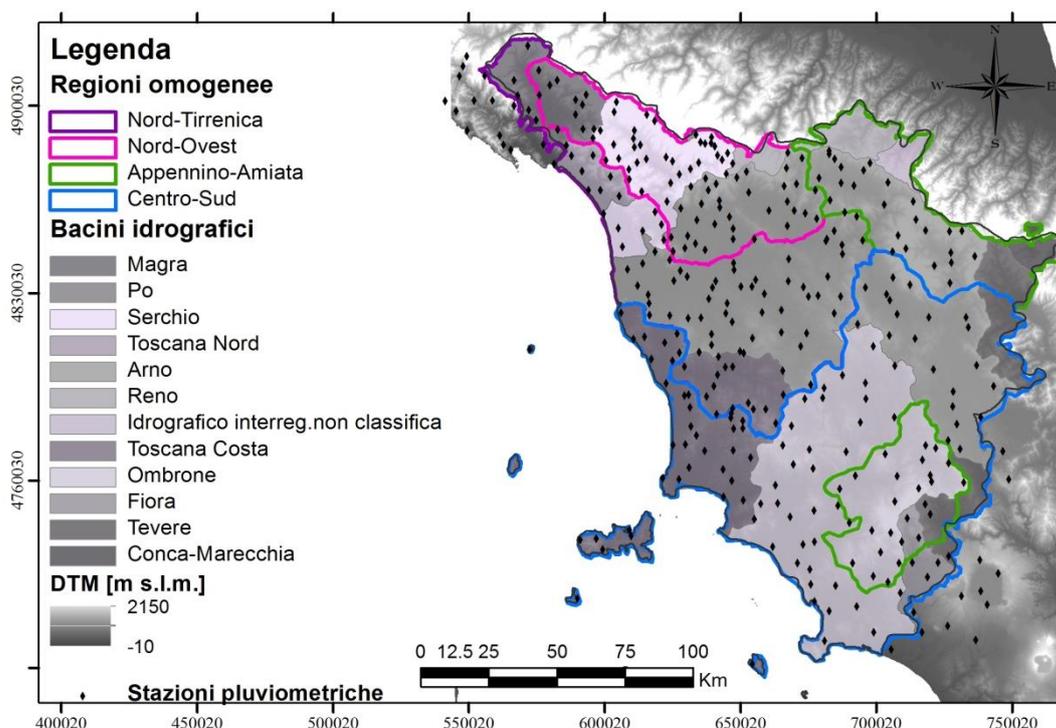


Figura 1: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee. In figura sono rappresentate le regioni statisticamente omogenee e le 351 stazioni pluviometriche con più di 30 anni di dati, utilizzate nel presente studio. In secondo piano è presente la divisione in bacini idrografici e il modello digitale del terreno (DTM).

RISULTATI OTTENUTI

Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in *mm*, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

La stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice μ per le diverse durate e i fattore di crescita adimensionale K_T per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni rappresentate in Figura 1.

Per le durate caratteristiche, tra i risultati sono presenti le griglie di risoluzione 1 *km* dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno. In Figura 2, a titolo di esempio, sono riportate le altezze di pioggia per il tempo di ritorno 200 anni e durate 1 ora e 24 ore.

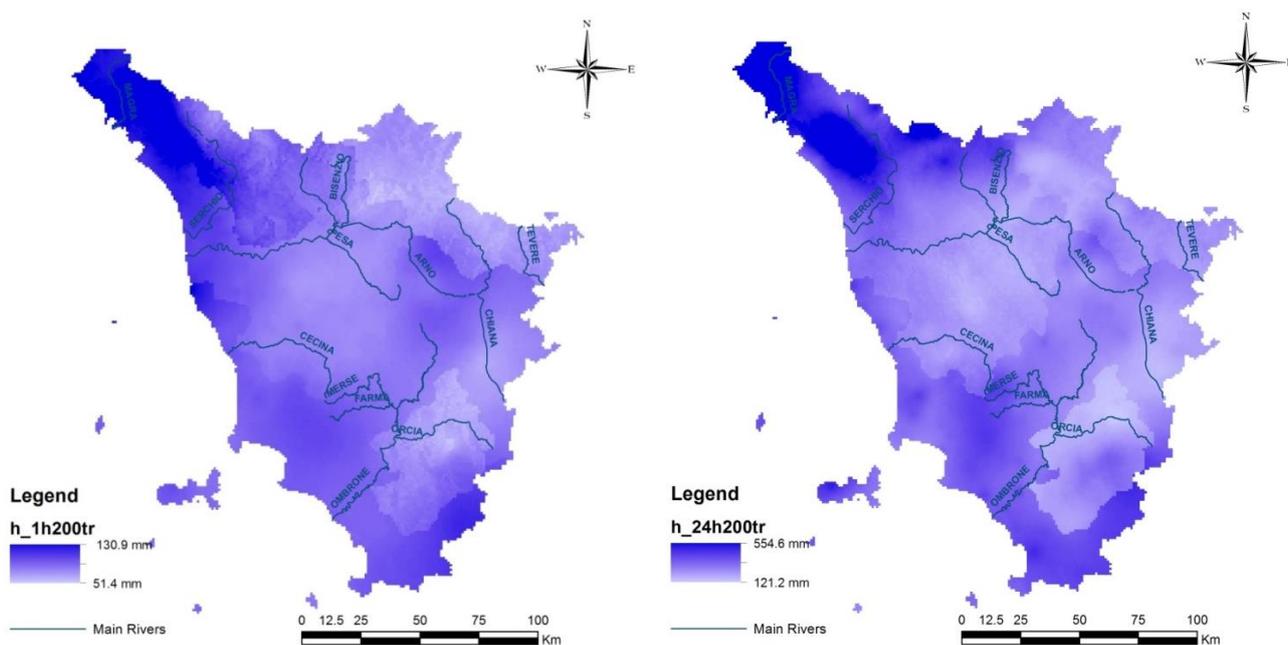


Figura 2: Spazializzazione sull'intera regione dell'altezza di pioggia di durata 1 ora (a sinistra) e 24 ore (a destra) per il tempo di ritorno 200 anni.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità

pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n \quad (3)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n . Tra i risultati sono quindi disponibili, oltre ad un documento leggimi.txt per definire i contenuti a partire dal nome, le cartelle delle coppie di ASCII Grid di a e di n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Si riportano, a titolo di esempio in Figura 3, le griglie dei parametri a e n per il tempo di ritorno di 200 anni.

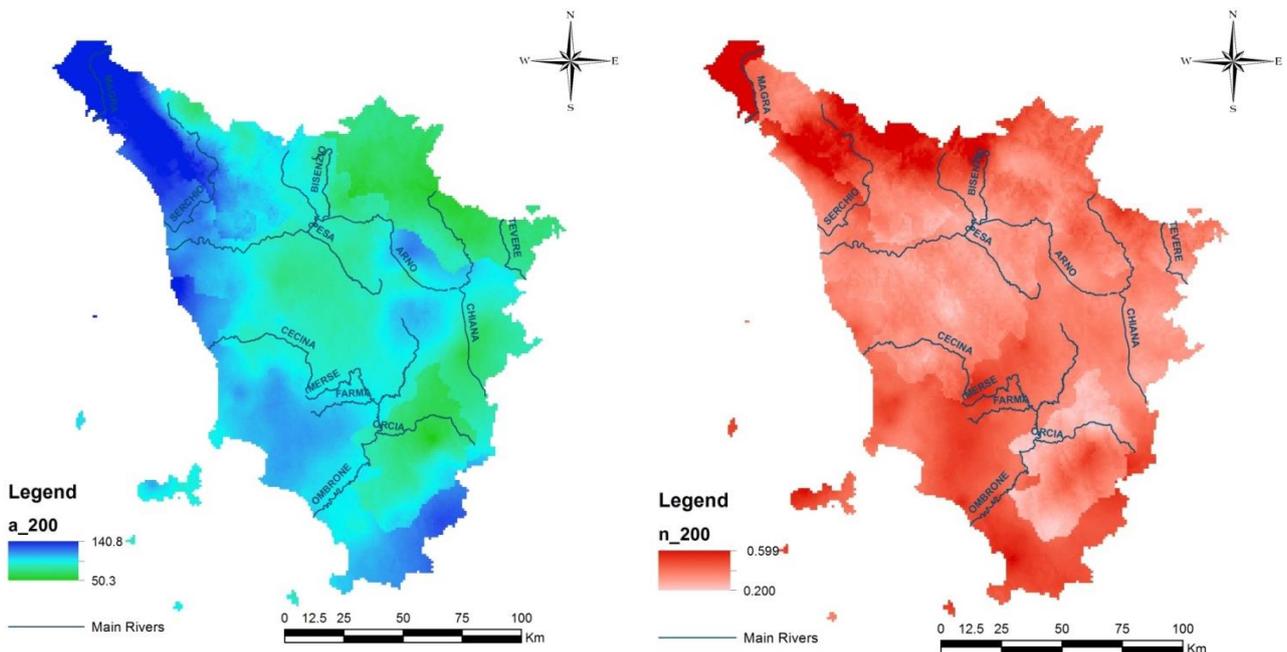


Figura 3: Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (a sinistra) e "n" (a destra) della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

Una volta noti i parametri a e n della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in ogni punto della Regione Toscana, secondo una semplice procedura descritta nel seguito.

CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO IN UN PUNTO

Per calcolare in un punto l'altezza di pioggia, una volta scelto il tempo di ritorno (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), è possibile utilizzare due procedure di seguito riportate.

A. Utilizzo dei parametri a e n della LSPP - Note le coordinate nel sistema Gauss Boaga del punto di cui si vuol conoscere l'altezza di pioggia, si trovano i valori dei parametri caratteristici a e n della LSPP nella cella nella quale il punto ricade. Una volta fissato il tempo t della durata dell'evento è possibile trovare l'altezza di pioggia tramite la relazione:

$$h(t) = a t^n \quad (3)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri di cui sopra.

B. Utilizzo dei valori estremi di altezza di pioggia h - Note le coordinate nel sistema Gauss Boaga del punto di cui si vuol conoscere l'altezza di pioggia, per le durate caratteristiche di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, sono disponibili le griglie con i valori estremi di pioggia per i vari tempi di ritorno. È quindi possibile, per queste durate, trovare il valore di h = altezza di pioggia [mm] corrispondente alla cella nella quale il punto ricade.

Indicazioni della Regione-Toscana sulla procedura di calcolo da seguire:

La Regione Toscana, al fine di garantire univocità dei risultati, indica come metodo da seguire per il calcolo delle altezze di pioggia quello indicato al punto A utilizzando cioè la formula $h = a t^n$.

CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile utilizzare due metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.

A. Utilizzo dei parametri a e n della LSPP - Noti i parametri a e n della LSPP per assegnato T_r , viene definita la durata t dell'evento. Per un bacino idrografico si usa

$t=t_{cr}$ (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione t_c . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t_c^n \quad (4)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t_c = tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici. La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione (4) può essere effettuata tramite software GIS con un *tool* tipo *Raster Calculator*. Una volta trovata l'altezza di pioggia h in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico (v. punti AB1-AB2).

B. Utilizzo dei valori estremi di altezza di pioggia h - Se invece la durata dell'evento è pari ad una delle durate caratteristiche di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, è sufficiente trovare il valore medio sul bacino idrografico dell'altezza di pioggia h [mm] corrispondente al tempo di ritorno e alla durata considerata (v. punti AB1-AB2).

Per trovare il valore medio delle altezze di pioggia h sul bacino idrografico sono possibili due procedure:

AB1. Noto lo spartiacque del bacino idrografico come file vettoriale, ad esempio in formato *shape*, e disponendo delle mappe di h , è possibile ricavare il valore medio di h sul bacino idrografico mediante software GIS con un comando di tipo *Zonal Tool*.

AB2. Noto lo spartiacque del bacino idrografico da analizzare come file *raster*, ad esempio in formato *ASCII GRID*, è possibile utilizzare operazioni di analisi spaziale per estrarre la parte di *raster* a risoluzione 1 km dei valori estremi di altezza di pioggia h (ad esempio utilizzando un *tool Raster Calculator*) per la stima finale del valor medio.

Nei software GIS più impiegati i comandi tipo *Zonal tool* utilizzano al loro interno una procedura di conversione *feature to raster* e di conseguenza le due procedure dovrebbero fornire risultati del tutto analoghi.

Indicazioni della Regione-Toscana sulla procedura di calcolo da seguire:

La Regione Toscana, al fine di garantire univocità dei risultati, indica come metodo da seguire per il calcolo delle altezze di pioggia quello indicato al punto A utilizzando cioè la formula $h = a t^n$

VALUTAZIONE DEL TEMPO DI RITORNO (RISCHIO RESIDUO) DI UN EVENTO DI PRECIPITAZIONE

Nota la durata t [ore] e l'altezza di pioggia h [mm] di un evento, è possibile stimare il tempo di ritorno dell'evento oppure stimare l'intervallo dei tempi di ritorno in cui l'evento è compreso, seguendo due possibili procedure di seguito riportate.

A. Utilizzo dei parametri a e n della LSPP - Nota la durata dell'evento, si confronta l'altezza di pioggia misurata con le altezze di pioggia stimate tramite la relazione:

$$h(t) = a t^n \quad (3)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata dell'evento [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni. La procedura può essere applicata in un punto o, considerando i valori medi delle altezze di pioggia, su un bacino idrografico.

B. Utilizzo dei valori estremi di altezza di pioggia h - Per eventi con una durata pari ad una delle durate caratteristiche 1, 3, 6, 12 e 24 ore, è sufficiente confrontare l'altezza di pioggia misurata con quella determinata per i tempi di ritorno scelti (in un punto o su un bacino idrografico).

Indicazioni della Regione-Toscana sulla procedura di calcolo da seguire:

La Regione Toscana, al fine di garantire univocità dei risultati, indica come metodo da seguire per il calcolo del tempo di ritorno è quello indicato al punto A utilizzando cioè la formula $h = a t^n$.