



REGIONE SICILIANA  
Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia



## **Allegato 1**

**ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA**

**TRA**

**REGIONE SICILIANA**

**DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL DISTRETTO**

**IDROGRAFICO DELLA SICILIA**

**E**

**L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA**

**PER**

**STUDIO E RICERCA PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEI CAMBIAMENTI**

**CLIMATICI E L'AGGIORNAMENTO DELL'IDROLOGIA DI PIENA IN ATTUAZIONE DELLA**

**DIRETTIVA 2007/60**

**CUP G69J17000830001**

**ANNESSO TECNICO**

## Premessa

L'applicazione della Direttiva 2007/60, concernente la valutazione e gestione del rischio alluvioni, richiede un adeguato quadro conoscitivo relativo alla valutazione del rischio che insiste sul territorio, con particolare attenzione alla valutazione della vulnerabilità.

La perimetrazione e la classificazione delle aree di pericolosità e di rischio, operata in occasione della elaborazione del PAI e dei successivi aggiornamenti e condotta sulla base degli studi, dei metodi e delle indagini nell'ambito dei PAI, richiede un aggiornamento e un adattamento degli stessi al fine di renderli rispondenti a quanto richiesto dalla Direttiva, in particolare con riferimento agli obiettivi della pianificazione e agli effetti dei cambiamenti climatici.

Nell'adozione delle mappe di pericolosità e di rischio in attuazione della Direttiva 2007/60 è stato stabilito di procedere con gli studi di aggiornamento e approfondimento per completare le valutazioni necessarie e/o per produrre i livelli informativi stabiliti dalla normativa. Così come previsto nel documento approvato con deliberazione della giunta Regionale 349/2013 gli studi idrologici e idraulici da elaborare per l'aggiornamento del quadro delle aree di pericolosità vanno supportati sulla base di una preliminare attività di studio e ricerca in alcune aree principali di approfondimento propedeutiche per l'elaborazione degli studi.

Nell'ambito del Piano di Azione e Coesione, adottato con delibera di Giunta Regionale 286/2013 e successivamente modificato con delibere 361/2013, 151/2014, 100/2015, 203/2015 e 280/2015, alla linea 5.B.6, è stata prevista l'attuazione di interventi per mitigare gli effetti delle inondazioni in attuazione della "Direttiva "Alluvioni" 2007/60/CE mediante un piano di interventi non strutturali (studi, indagini e reti di monitoraggio) procedendo con l'effettuazione di attività di studio e ricerca così come previsto dalla deliberazione della Giunta Regionale n.349 del 14 ottobre 2013.

La delibera 361/2013 ha altresì previsto che il Dipartimento stipuli appositi accordi di collaborazione con enti pubblici di ricerca per lo svolgimento delle attività.

## Gli obiettivi generali del progetto

L'obiettivo strategico dell'attività, in linea con il Piano di Azione e Coesione, è quello di supportare l'attuazione della Direttiva Alluvioni e, in particolare, di aggiornare e integrare gli strumenti di analisi e valutazione e gli studi elaborati nell'ambito delle attività condotte per la realizzazione del PAI e, più in generale, a fornire un supporto all'attuazione del PGRA. Le attività perseguono gli obiettivi discussi di seguito.

### ***A) Supportare la definizione e l'implementazione del sistema regionale di valutazione e gestione del rischio alluvioni.***

Allo stato attuale diversi soggetti pubblici regionali e comunali intervengono nelle diverse fasi dell'intero processo di valutazione, pianificazione e attuazione delle misure di mitigazione e gestione del rischio. Al fine di rendere più incisivi questi processi occorre pervenire ad una gestione integrata e unitaria basata sul coordinamento e sulla valorizzazione dei ruoli delle varie amministrazioni affinché si favorisca un approccio multidisciplinare e multiattoriale, in un'ottica di rete e basata sul principio di sussidiarietà. Sotto il profilo tecnico, si dovrà tendere a integrare le varie attività in maniera coerente per supportare le scelte di pianificazione di lungo termine con quelle di gestione dell'evento, identificando e quantificando l'influenza dell'incertezza nei processi di valutazione e pianificazione. Andrà anche definito un modello organizzativo sostenibile in funzione dell'entità delle attività che vedono come soggetti principali le amministrazioni pubbliche, non escludendo l'ipotesi di dover ricorrere all'esternalizzazione di alcuni servizi e attività. A tal fine, e anche in relazione agli ambiti progettuali e di studio, le attività forniranno le guide metodologiche di riferimento e gli strumenti per l'attività progettuale e di pianificazione alle strutture tecniche della rete che presidieranno i processi tecnici relativi ai diversi livelli istituzionali d'intervento, con diversi livelli di approfondimento e con determinati livelli di affidabilità.

Con il presente progetto si intendono pertanto definire e rendere disponibili gli strumenti modellistici e le metodologie appropriate ai diversi soggetti della rete cooperanti in una visione sistemica in relazione alle competenze ad essi attribuite e in particolare:

- agli uffici dell'amministrazione regionale per le attività di pianificazione programmazione e attuazione;
- agli uffici degli enti locali per le attività di pianificazione urbanistica e regolamentazione e di protezione civile;
- ai soggetti pubblici e privati e alle categorie professionali per quanto attiene le attività di progettazione.

## ***B) Definizione e implementazione di un Sistema di Supporto alle Decisioni SSD\_PGPA***

La pianificazione degli interventi richiede la definizione e l'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni. Occorre infatti considerare che la complessità delle interazioni tra ambiente naturale e antropico, anche alla luce della esigua disponibilità delle risorse finanziarie, impone una pianificazione che, tenendo in conto le azioni di adattamento, tenda ad un sistema bilanciato di interventi strutturali e di azioni non strutturali basato su alcuni criteri tra i quali:

- definizione del concetto di rischio residuale;
- stima della robustezza delle scelte di pianificazione;
- flessibilità;
- individuazione e valutazione dell'incertezza associata alla applicazione di metodi, dati e modelli per la valutazione dell'influenza dell'effetto dei cambiamenti climatici;
- Sostenibilità ambientale.

### C) Aggiornamento tecnico-scientifico

L'individuazione delle aree di pericolosità e di rischio, attualmente operata sulla base degli studi, metodi e indagini definiti nell'ambito dei PAI, richiede un aggiornamento e un miglioramento sulla base di studi e modelli rispondenti agli obiettivi della direttiva per quanto riguarda, in particolare, la pianificazione delle misure e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

In questo contesto il programma di studi e ricerche da svolgere persegue i seguenti obiettivi generali di sistema:

- analisi di dettaglio della risposta idrologica dei bacini idrografici siciliani a diverse scale spaziali, con particolare riferimento agli eventi estremi;
- analisi di impatto di possibili cambiamenti climatici sulle precipitazioni intense e sulle portate di piena;
- creazione di linee guida per la redazione di studi idrologici.

Nel seguito sono esposte in dettaglio le attività previste nell'ambito di ciascuno dei tre punti.

### Strutturazione delle attività di ricerca

L'analisi della risposta idrologica di un bacino riveste un ruolo importante nell'ambito della valutazione del rischio alluvioni, sotto molteplici punti di vista.

Da un lato, la stima della portata al colmo per un dato tempo di ritorno è alla base della modellazione dell'analisi del suddetto rischio e delle aree potenzialmente soggette ad alluvioni. A tale scopo, l'utilizzo di modelli afflussi-deflussi di tipo *lumped* o comunque semplificati consente la stima della portata di piena attraverso un'analisi a cascata che prevede: la valutazione della sollecitazione di progetto e dunque delle curve di probabilità pluviometriche e degli ietogrammi; la stima delle perdite e dunque dello ietogramma netto; ed infine la stima della portata al colmo nella sezione di interesse attraverso opportuni modelli di trasferimento.

Dall'altro lato, l'esistenza di modelli completi di tipo fisicamente basato e spazialmente distribuito o di modelli semi-distribuiti, consente la valutazione della risposta idrologica in termini diversi dalla sola valutazione della portata nella sezione di chiusura e soprattutto sotto diversi scenari di forzanti meteoriche o di caratteristiche del suolo, tenendo conto della forte non linearità e non stazionarietà dei processi idrologici. Tali modelli, quindi permettono di analizzare come i cambiamenti di uso del suolo e dunque delle caratteristiche idrologiche del terreno, dovuti per esempio ad una espansione urbanistica, all'avvicendamento di alcune produzioni agricole, alle modifiche stesse delle colture, ad un eccessivo inaridimento, possano influenzare la risposta idrologica e, dunque, i risultati di un'analisi finalizzata alla previsione del rischio alluvioni.

Le suddette analisi, infine, non possono prescindere da una valutazione dell'incertezza che è associata ai dati di input, all'incertezza parametrica, e all'incertezza strutturale del modello.

Fatte queste premesse, gli obiettivi, relativi a questa parte della convenzione, saranno i seguenti:

- 1) mettere a punto la metodologia di stima della portata al colmo per fissato tempo di ritorno che meglio descrive la risposta idrologica dei bacini siciliani, tenendo conto anche della dimensione dei bacini oggetto di studio (classificando i bacini in piccoli bacini, bacini alla mesoscala, grandi bacini);
- 2) valutare gli effetti di cambiamenti di uso del suolo e di possibili cambiamenti climatici (*vedi punto successivo*) sulla risposta idrologica attraverso l'uso di opportuni modelli idrologici;
- 3) creazione di un framework modellistico che consenta di effettuare un'analisi di incertezza sui risultati dei punti 1) e 2);
- 4) applicazione delle metodologie e del framework modellistico di cui ai punti 1, 2 e 3 a numero 5 bacini pilota che saranno scelti in accordo con il AdB Sicilia sulla base della rappresentatività del territorio regionale e nell'ambito del primo elenco di comuni individuati nel Decreto 7.9.2015.

Nei seguenti paragrafi verranno descritti gli obiettivi specifici di ciascuna attività e la metodologia operativa.

### ***Metodologia di stima della portata al colmo***

La valutazione della portata al colmo con modelli afflussi-deflussi prevede, come detto, la scelta di altri sotto modelli da utilizzare in cascata e in cui, di volta in volta, l'output diventa l'input del successivo modello.

Dunque, si prevede la creazione di una catena metodologica che comprenda: a) la stima della sollecitazione di progetto con la costruzione delle curve di probabilità pluviometriche (CPP) e conseguente scelta del modello di distribuzione temporale dell'evento (ietogramma lordo); b) stima delle perdite (ietogramma netto) attraverso opportuni modelli; c) stima della portata attraverso modelli di trasferimento.

È chiaro dunque, come la scelta opportuna di ciascun sotto modello offra ampi margini di miglioramento rispetto alle metodologie utilizzate, ad esempio, durante la redazione del PAI Sicilia, grazie anche alla disponibilità di nuove e più recenti banche dati (es. serie storiche) e di dati spaziali aggiornati ed a maggiore risoluzione.

#### **a - Analisi Regionale per la costruzione delle CPP**

Una delle necessità più ricorrenti è la stima delle precipitazioni in siti privi di stazioni di misura o per i quali si dispone di una limitata o inadeguata quantità di dati disponibili. Quest'ultima eventualità viene spesso riscontrata poiché le leggi di distribuzione di probabilità necessitano della conoscenza di parametri legati a statistici campionari di ordine elevato, i quali risultano opportunamente stimabili solo se la serie campionaria disponibile è sufficientemente lunga e significativa.

Per ovviare alle problematiche di cui sopra, si rende necessaria un'analisi di tipo regionale, che consiste nella ricerca di modelli per la cui taratura è possibile utilizzare

congiuntamente i dati disponibili in una regione, tenendo conto della loro variabilità nello spazio. Le diverse tecniche di analisi regionale si basano su una procedura di tipo gerarchico, secondo la quale l'area di studio viene suddivisa in livelli di regionalizzazione, secondo zone geograficamente ed idrologicamente omogenee nei confronti di diversi parametri statistici man mano di ordine decrescente.

Nella presente attività si punterà all'analisi di regionalizzazione delle precipitazioni intense nel territorio siciliano, condotto analizzando diverse distribuzioni di probabilità, i cui parametri vengono stimati con il metodo degli *L-moments* e della massima verosimiglianza partendo da studi pregressi.

La banca dati sarà fornita dall'ex Ufficio Idrografico Regionale (ora AdB Sicilia) con i dati provenienti da circa 300 pluviometri ben distribuiti su tutta l'isola. In particolare si considereranno i massimali annuali a fissate durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore). L'analisi prevede:

- l'identificazione delle zone omogenee;
- l'identificazione della migliore distribuzione di probabilità che descriva i quantili per fissata durata;
- l'analisi e la modellazione della variazione spaziale di alcuni parametri della procedura di regionalizzazione (ad esempio i valori indici);
- la realizzazione di mappe di quantili per fissato tempo di ritorno e durata per la Regione Sicilia.

In particolare, si farà uso dei metodi più avanzati che possono considerare anche variabili morfologiche e meteo-climatiche, al fine di tenere conto di diversi meccanismi di formazione delle precipitazioni, come fenomeni stratiformi, convettivi e orografici. I risultati della suddetta metodologia potranno essere implementati in un sistema GIS, sviluppando un *tool* in grado di raccogliere il database di precipitazioni ed i risultati dell'analisi regionale. Tale strumento rappresenterebbe uno strumento di gestione operativa per il monitoraggio idrologico e valutazione della gestione e dei rischi connessi.

#### b - Stima delle perdite

La stima delle perdite idrologiche consiste nella stima del volume d'acqua intercettata dalla vegetazione, ovvero infiltrata, immagazzinata nei piccoli invasi superficiali, evaporata o traspirata; queste perdite vengono sottratte dalla precipitazione lorda per ricavare la precipitazione netta. Nei modelli di piena, gran parte della perdita è dovuta essenzialmente al processo di infiltrazione o di immagazzinamento, trascurando quindi quelli di evapotraspirazione.

In letteratura esistono svariati modelli semplificati per la stima delle perdite, tra cui il metodo del *Curve Number*, già utilizzato dalla Regione Siciliana per gli studi idrologici relativi al PAI.

Obiettivo di questa parte dell'attività sarà quella di individuare tra un numero prefissato di modelli esistenti in letteratura quello caratterizzato da un buon compromesso tra facilità di implementazione e accuratezza nella stima del volume di pioggia netta che darà poi luogo all'idrogramma di piena. Qualora la scelta del miglior metodo ricada nuovamente sul metodo del CN, un obiettivo secondario sarà quella di aggiornare la mappa del CN per la Regione Sicilia sulla base delle più recenti informazioni circa la copertura/uso del suolo.



### c - Trasferimento del deflusso e formazione dell'onda di piena

Anche in questo caso l'obiettivo di questa parte dell'attività è quello di scegliere tra un numero prefissato di modelli esistenti in letteratura, quello caratterizzato da un buon compromesso tra facilità di implementazione e capacità di riprodurre l'idrogramma di piena. Saranno presi in considerazione i modelli basati sull'IUH (*Instantaneous Unit Hydrograph*), come il GIUH o il TIUH, i modelli cinematici e il modello di Clark, buon compromesso tra il metodo della corrivazione e il metodo dell'invaso.

### **3.2 Effetti dei cambiamenti (uso suolo e clima) sulla risposta idrologica**

La valutazione del rischio alluvioni, colate detritiche o erosione/trasporto solido attraverso l'utilizzo di modelli di simulazione è strettamente connessa alle caratteristiche sia topografiche, sia pedologiche e di utilizzo del suolo, che a loro volta determinano le proprietà idrologiche e idrauliche del terreno. Ne deriva che, come detto, i cambiamenti di uso del suolo, e dunque delle caratteristiche idrologiche del terreno, possano fortemente influenzare l'analisi di previsione del rischio alluvioni/colate.

Al fine di una corretta valutazione del rischio in attuazione della Direttiva "Alluvioni" 2007/60/CE, dunque, è necessario tenere conto di un aggiornamento del quadro conoscitivo attuale (mappe di uso del suolo, delle caratteristiche pedologiche e idrauliche del nostro territorio ad una scala di dettaglio adeguata), così come dell'individuazione di possibili trend di cambiamento di uso del suolo, connessi per esempio agli effetti dei cambiamenti climatici, anche questi obiettivi di attività collaterali.

Obiettivo specifico della presente attività è dunque quello di quantificare e stimare gli effetti dei suddetti cambiamenti e l'interazione con i processi idrologici, attraverso l'utilizzo di appositi modelli a base fisica e spazialmente distribuiti, che verranno utilizzati come una sorta di 'laboratorio virtuale' per uno screening completo delle conseguenze di tutti gli scenari possibili. In particolare, si analizzeranno:

- cambiamenti climatici (tramite scenari creati nell'ambito di attività dettagliate al punto successivo);
- uso suolo;

Gli effetti saranno valutati:

- sulla risposta idrologica in termini di portata al colmo;
- nel caso di un bacino particolarmente suscettibile ad attività erosive e di distacco, anche in termini di portata solida e, in generale, di propensione ad indurre fenomeni di degrado del suolo.

La procedura verrà implementata sui bacini pilota che saranno scelti sulla base dell'effettiva applicabilità (dati disponibili) ed efficienza esplicativa della procedura proposta. I risultati ottenuti da queste applicazioni saranno generalizzati e si cercherà di introdurli nei modelli *lumped* utilizzati per quanto visto al punto 3.1, per esempio andando a valutare come i cambiamenti di uso del suolo influiscano sulla distribuzione del CN.

#### **3.2.1 Valutazione dell'incertezza**

Lo studio finalizzato al miglioramento della conoscenza attraverso la modellistica idrologica non può oggi prescindere da una valutazione dell'incertezza che è associata complessivamente al processo di modellazione.

Oggi, la letteratura scientifica consolidata in tale ambito ipotizza che l'incertezza in simulazioni prodotte da modelli idrologici sia originata da tre contributi principali, ovvero: l'incertezza nei dati di input, l'incertezza parametrica, ossia quella legata ai parametri del modello e l'incertezza strutturale del modello, che funge quale aggregante di tutte le fonti di incertezza trascurate dalle altre due componenti.

In genere, l'incertezza nei dati di input e l'incertezza parametrica possono essere definite stimando le distribuzioni di probabilità di dati in ingresso e dei parametri, che vengono quindi trattati come variabili casuali piuttosto che deterministiche. L'incertezza strutturale viene invece stimata analizzando l'errore del modello nella simulazione di dati osservati, nell'ipotesi che detto errore sia indipendente dall'incertezza nei dati e dall'incertezza parametrica.

Recenti lavori hanno proposto l'integrazione delle tre fonti d'incertezza tramite una procedura di simulazione che ha fornito risultati molto soddisfacenti, conducendo ad una stima statisticamente consistente della distribuzione di probabilità della variabile di output (ad esempio l'idrogramma di piena). Nel dettaglio, ogni singola simulazione è generata estraendo un vettore di dati in ingresso ed un vettore di parametri dalle relative distribuzioni di probabilità, che consentono di produrre una simulazione idrologica alla quale viene addizionata una realizzazione dell'errore del modello, estratta anche in questo caso dalla relativa distribuzione. Effettuando un *ensemble*, costituito da un numero elevato di realizzazioni equiprobabili, si è in grado di ottenere un campione rappresentativo della distribuzione di probabilità della portata di piena.

Questa stessa procedura potrebbe essere applicata tenendo in considerazione le incertezze dei dati in input (precipitazioni) derivanti da scenari di cambiamento climatico (vedi punto 3.2).

### *3.2.2 Impatto dei cambiamenti climatici sul regime pluviometrico*

#### 3.2.2.1 Caratterizzazione climatica in Sicilia

Questa attività prevede una dettagliata analisi dei dati idrologici e climatici (precipitazione e temperatura) al fine di caratterizzare spazialmente e temporalmente i regimi termometrici e pluviometrici della Sicilia, fornendo le basi per la costruzione di un Atlante Climatologico della Sicilia, analogamente a quanto fatto in altri paesi/regioni europee/extraeuropee.

Nell'ambito della caratterizzazione temporale, particolare attenzione sarà rivolta ad una sintesi degli studi pregressi relativi alla presenza/assenza di segnali di trend nelle serie storiche di dati termo/pluviometrici.

#### 3.2.2.2 Analisi dei trend sulle piogge intense

Questa attività prevede l'applicazione di test statistici (test non parametrici) finalizzati all'individuazione di eventuali trend nelle serie storiche delle precipitazioni intense registrate



dalle stazioni pluviometriche gestite dall'AdB Sicilia (precipitazioni di massima intensità e assegnata durata: 1, 3, 6, 12 e 24 ore).

Si analizzerà altresì, tramite strumenti tipici dell'analisi spaziale, la presenza di un'eventuale struttura di correlazione spaziale dei risultati provenienti dall'analisi dei trend pluviometrici.

#### 3.2.2.4 Scenari climatici futuri e curve di probabilità pluviometrica

Fare previsioni di cambiamento climatico alle scale tipiche dei bacini idrografici ed identificarne le possibili conseguenze sui processi idrologici è un problema di notevole e crescente interesse soprattutto per gli enti preposti alla previsione e alla prevenzione del rischio idrogeologico. Le dinamiche idrologiche tipiche di un bacino potrebbero, infatti, rispondere al cambiamento climatico in maniera non-lineare e con effetti locali. Diventa quindi necessario tracciare una strada per lo studio degli impatti del cambiamento climatico sulle dinamiche idrologiche alla scala di cella e di bacino.

La teoria dell'*Antropogenic Global Warming* (AGW) è oggi fortemente proposta dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) delle Nazioni Unite. Il contributo antropico ai cambiamenti climatici è determinato con l'utilizzo dei *Global Circulation Models* (GCMs), modelli climatici aventi una struttura a griglia con risoluzione spaziale di circa 300 km x 300 km. I GCMs sono usati per simulare possibili scenari climatici futuri in funzione delle proiezioni delle emissioni dei gas serra.

Obiettivo di questa attività è quello di valutare effetti potenziali dei futuri cambiamenti climatici sulle curve di probabilità pluviometrica (CPP), utili strumenti di progettazione e verifica di opere idrauliche oltre che alla base di modelli idrologici finalizzati alla determinazione del rischio idraulico. In questo senso, alcune linee guida di interventi relative ai cambiamenti climatici, da applicarsi nell'ambito della direttiva 2007/60/CE, vengono fornite nel documento guida n°24 della Commissione Europea, "*River basin management in a changing climate*". È in quest'ottica che, alla luce di possibili scenari climatici futuri, un riesame e un aggiornamento delle caratteristiche delle piogge di una data area, ad esempio attraverso le CPP, diventa indispensabile. Fra queste, ai fini di una migliore pianificazione della gestione del bacino idrografico, si fa esplicito riferimento all'opportunità di utilizzare proiezioni climatiche future che, non esistendo un unico modello che possa essere applicato all'Europa intera, vanno ricercate a scala locale (i.e., scala regionale, di bacino idrografico, ecc.).

Alcuni stati europei hanno già introdotto appositi suggerimenti nelle proprie linee guida nazionali, prevedendo di amplificare le piogge di progetto di un'aliquota in alcuni casi anche del 40% per le previsioni al 2100. Tali studi, tuttavia, non sono supportati da rigorosi studi climatici/idrologici perché, nella maggior parte dei casi, ricavano tali coefficienti dalle previsioni a scala annuale o stagionale.

Nell'ambito di questo programma ci si propone l'obiettivo di derivare le CPP in funzione di possibili scenari futuri di cambiamento climatico tenendo conto anche dell'incertezza legata alla variabilità dei processi climatici in se e alla natura stocastica delle simulazioni di possibili scenari climatici futuri. A tal fine si prenderanno in considerazione i fattori di cambiamento climatico, che sono indici che descrivono come una data variabile climatica varia tra la situazione attuale e quella futura (proiezione climatica).

Tramite un'opportuna metodologia stocastica di downscaling e un simulatore climatico stocastico sarà possibile generare delle serie sintetiche orarie di pioggia e di temperatura rappresentative delle possibili condizioni climatiche future dell'area in studio. Oltre alle precipitazioni e alle temperature, il simulatore climatico è capace di riprodurre diverse variabili climatiche (radiazione solare, pressione atmosferica, velocità del vento, nuvolosità, ecc.) e le loro principali statistiche in un ampio intervallo di scale temporali, dai processi estremi a quelli a scala annuale o inter-annuale. In particolare, i fattori di cambiamento climatico saranno derivati dalle realizzazioni di diversi GCMs attraverso una procedura di downscaling stocastico e ottenute dal dataset approvato e pubblicato dall'IPCC il 27 Settembre 2013. Per tale procedura saranno necessari uno scenario di controllo, cioè uno scenario in cui sia i dati dei GCMs che i dati osservati da una stazione meteorologica interna all'area studio siano disponibili, per esempio periodo 1990-2010, e diversi scenari futuri ottenuti dai GCMs, per esempio 2046-2065, 2081-2100.

In particolare, sarà utilizzato uno dei seguenti approcci:

- i fattori di cambiamento saranno calcolati per gli scenari futuri e, tramite una procedura di interpolazione lineare, calcolati per ciascun anno dal 2020 al 2100. Tali fattori saranno in seguito applicati alle statistiche derivate dalle osservazioni (cioè i dati storici della stazione meteorologica) per rivalutare i parametri del generatore di clima per ciascun anno. A partire dai parametri futuri del generatore, saranno generate le serie orarie transitorie delle variabili climatiche dal 2020 al 2100. Per tenere conto della variabilità stocastica del generatore di clima, saranno generate 50 o più serie temporali a scala oraria delle variabili meteorologiche, corrispondenti a scenari di clima atteso nel futuro dal 2020 al 2100;
- i fattori di cambiamento saranno calcolati solo al 2100, generando 50 anni di serie climatiche orarie stazionarie. Per tenere conto della variabilità stocastica dell'insieme dei GCMs, i parametri al 2100 saranno calcolati 50 volte, generando in complessivo 50 serie di 50 anni di clima stazionario.

I risultati delle simulazioni per il clima futuro terranno conto dell'incertezza derivata dalla procedura di downscaling e verranno mostrati attraverso funzioni di densità di probabilità. Le precipitazioni di massima intensità per assegnata durata (e.g., 1, 3, 6, 12 e 24 ore) potranno essere utilizzate per la stima delle CPP future tracciando, al contempo, le fasce di incertezza delle stesse. Le CPP future potranno quindi esser calcolate, per differenti tempi di ritorno, relativamente ad intervalli di tempo di dieci anni: 2020-2030, 2030-2040, ..., 2080-2090, 2090-2100 nel primo approccio, al 2100 nel secondo approccio.

Pertanto, ci si occuperà altresì di fornire un'analisi globale d'incertezza, cercando di caratterizzare in termini probabilistici le CPP derivanti dall'applicazione di diversi scenari climatici futuri al fine di caratterizzare prima e ridurre poi l'incertezza insita sia nei modelli climatici globali che nel modello di downscaling adottato.

### 3.3. Linee guida per la stesura di studi idrologici

Il programma di attività previsto nella presente convenzione consentirà altresì, sulla base dei risultati provenienti dalle attività precedentemente esposte, la creazione di alcune linee guida che offrano un affidabile e univoca metodologia per la valutazione di studi idrologici di dettaglio per diverse tipologie di casi, finalizzati alla verifica ed all'eventuale aggiornamento delle portate al colmo di piena ad assegnati tempi di ritorno nonché alla

determinazione dei corrispondenti idrogrammi di piena, qualora, si ravvisi la necessità di una verifica ed eventuale modifica dei valori assunti dal piano di bacino vigente. Le linee guida, rivolte ai tecnici della Regione e delle pubbliche amministrazioni, intendono fornire un ausilio per la pianificazione, la progettazione e la gestione dei sistemi e delle infrastrutture che interagiscono con i corsi d'acqua e, più in generale, per la prevenzione del rischio idrogeologico, anche in relazione all'applicazione delle normative in materia emanate negli anni recenti dalla stessa Regione.

Tali linee guida dovranno illustrare in modo sequenziale i criteri e le procedure utili alla valutazione della portata al colmo di piena e degli idrogrammi di riferimento, definendo altresì il percorso metodologico suggerito per la valutazione di tali grandezze in sede di studi di dettaglio per specifici casi. A tal fine, saranno delineati i percorsi da seguire nelle diverse tipologie di casi pratici, con particolare riferimento ai dati idrologici disponibili.

Le attività di studio e ricerca oggetto della convenzione sono sintetizzabili nei seguenti punti:

1. Analisi dei possibili metodi (a livello regionale e/o locale) per la valutazione della portata al colmo di piena e scelta di un metodo idoneo che possa essere usato, anche con diversi specifici accorgimenti, in siti fluviali dotati o meno di misure idrometriche.
2. Identificazione delle varie tipologie di situazioni e casi pratici possibili sulla base della disponibilità o meno di dati idrologici e/o sulla base di altri fattori influenzanti la metodologia da utilizzare caso per caso.
3. In relazione a ciascuna possibile tipologia di casi pratici, analisi delle possibili metodologie potenzialmente applicabili e definizione dei necessari accorgimenti tecnici specifici relativi alla metodologia analizzata e al caso pratico in oggetto; identificazione di un criterio per la scelta dell'opportuna metodologia da adottare per ciascun caso, che possa essere basato su un confronto fra le diverse metodologie e/o che tenga conto delle peculiarità legate alla tipologia specifica e alla disponibilità o meno di dati idrologici.
4. Analisi delle varie e diverse metodologie per la valutazione dell'idrogramma di piena di riferimento (e/o di un insieme di idrogrammi di riferimento) in relazione alla tipologia, disponibilità e consistenza di dati idrologici disponibili.
5. Definizione di idonei metodi indiretti per la valutazione dell'idrogramma di piena di riferimento, da applicarsi in mancanza di dati osservati di portata per un periodo sufficientemente lungo, e di idonei metodi diretti, da applicarsi ai casi con disponibilità di dati idrometrici osservati.
6. Descrizione dettagliata delle metodologie sopra individuate e creazione di linee guida per il loro utilizzo nei vari e possibili casi pratici; descrizione delle procedure di applicazione dei vari metodi (a livello regionale e/o locale), definizione di procedure per la valutazione dell'incertezza delle stime di piena e per la valutazione del rischio residuale connesso al possibile superamento del valore attuale della portata al colmo T-ennale in un orizzonte temporale di lunghezza prefissata.

## Modalità di svolgimento delle attività

Lo sviluppo delle attività è organizzato in accordo fra le Parti che valutano lo stato di avanzamento secondo un processo ciclico che prevede per ciascuna delle varie fasi l'implementazione di verifiche di rispondenza ai risultati attesi articolate secondo il seguente schema:

- A1. Definizione delle CPP e delle piogge di progetto;
- B1. Definizione di catene modellistiche (insieme di moduli e modelli) per la stima della portata al colmo da porre a confronto;
- B2. Analisi comparata delle diverse catene modellistiche messe a punto;
- B3. Calibrazione e validazione del modello idrologico scelto;
- B4. Analisi di incertezza parametrica;
- C1. Creazione di scenari di cambiamento di uso del suolo e di cambiamento climatico;
- C2. Analisi degli effetti del cambiamento climatico sulle CPP;
- C3. Analisi di impatto degli scenari di cambiamento sulla risposta idrologica;
- D1. Elaborazione finale delle metodologie relative agli strumenti modellistici e linee guida per lo studio idrologico;

Le attività verranno altresì integrate con l'effettuazione del training all'utilizzo di un primo gruppo di tecnici della pubblica amministrazione

## PRODOTTI

I prodotti della ricerca che saranno messi a punto, implementati e condivisi con l'AdB Sicilia sono i seguenti:

- Curve di probabilità pluviometriche su tutto il territorio regionale sviluppate anche in presenza di scenari di cambiamenti climatici;
- Catena modellistica finalizzata alla derivazione della portata al colmo per fissato tempo di ritorno;
- Strumenti per la valutazione dell'incertezza modellistica;
- Strumenti per la valutazione degli effetti dei cambiamenti di uso del suolo e climatici sulla risposta idrologica;
- Linee guida e metodologie per l'elaborazione degli studi idrologici;
- Corsi di formazione e addestramento.

## DOTAZIONI STRUMENTALI E PERSONALE

Le ricerche saranno svolte in sinergia tra l'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia (AdB Sicilia) e il Dipartimento di Ingegneria (DI), dal gruppo di lavoro partecipato dai responsabili scientifici dei due enti.

Il personale tecnico laureato di cui si avvarrà il DI svolgerà le proprie attività in sinergia con il personale dell'AdB Sicilia, garantendo le relative ricadute tecnico scientifiche.

L'Autorità metterà a disposizione per le attività da svolgere almeno 2 unità tecniche di specifica e adeguata formazione tecnico scientifica in grado di operare e di applicare le tecniche definite nell'ambito del progetto, a tal fine collaboreranno con il personale del DI nelle fasi A1, B1, B2, B3, C1, C2 E C3 mentre lo affiancheranno nelle attività previste nella fase D1.

La strumentazione specifica che sarà messa a disposizione dall'Università per le attività previste in sinergia con AdB Sicilia comprende:

- Strumentazione e rete informatica;
- Workstation di calcolo ad alte prestazioni;
- Apparecchi e impianti di laboratorio idrologico;
- Software GIS e di calcolo;
- Rete pluviografica sull'area urbana di Palermo;
- Prodotti e tools tecnico-scientifici messi al punto dal DI nel corso di precedenti attività di ricerca.

La strumentazione che sarà messa a disposizione da AdB Sicilia per le attività in Sinergia comprende

- n. 2 Workstation per le attività di elaborazione
- Software GIS
- Cartografia di base già disponibile.

## FASI E TEMPI DI REALIZZAZIONE

Le principali fasi del progetto sono riportate nel cronoprogramma di seguito riportato in cui la lettera P indica la presentazione di prodotti della ricerca parziali o di fine attività.

Attività	Trimestri							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A1	P				P			
B1			P					
B2					P			
B3					P			
B4						P		
C1							P	
C2							P	
C3								P
D1					P			P

L'articolazione particolareggiata delle fasi ed i relativi cronogrammi verranno definite nella relazione preliminare prevista dall'art. 6, comma 1, lett. a) dell'Accordo di Collaborazione,



da trasmettere entro 30 giorni dalla notifica del decreto di approvazione dell'Accordo di collaborazione. Nel cronoprogramma la consegna delle relazioni preliminari, intermedie e finali è indicata con la "P" inserita. Entro trenta giorni dalla scadenza dei termini dell'accordo verranno consegnate le relazioni finali per tutte le attività.

## ARTICOLAZIONE DEI COSTI

L'onere finanziario a carico dell'AdB Sicilia è costituito da € 30.000 quale valore dell'impegno delle risorse umane per lo svolgimento delle attività del presente progetto (tabella 1) e da € 180.000 euro a valere sulle risorse stanziati dal PAC linea 5B6, per il ristoro delle spese sostenute dal DI nello svolgimento delle attività di progetto (tabella 2)

**Tabella 1 – Valutazione costo impegno risorse umane a carico dell'AdB Sicilia**

N. unità personale	Qualifica	Costo orario [€]	Anno	ore/uomo anno										Costo totale personale [€]
				A1	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	D1	Totale	
1	Dirigente	43.42	2021	15	8	8	10	10	8			12	71	3.082
1	Dirigente	43.42	2022/2023			6	6	6	10	16	16	18	78	3.386
Totale 2021/2022/2023				15	8	14	16	16	18	16	16	30	149	6.468
1	Funzionario	15.88	2021	150	110	123	120	110	120			70	803	12.751
1	Funzionario	15.88	2022/2023			62	90	85	110	120	132	80	679	10.781
Totale 2021/2022/2023				150	110	185	210	195	230	120	132	150	1482	23.532
Totale 2021/2022/2023 per attività				165	118	199	226	211	248	136	148	180	1631	30.000

Per quanto concerne le spese a valere sulle risorse stanziati dal PAC linea 5b6, il costo dell'**assegno di ricerca** è calcolato sulla base delle disposizioni minime riguardanti assegni di ricerca art. 22, legge 30 Dicembre 2010 n 240 che prevedono un costo minimo annuo di € 19.367,00, al lordo degli oneri a carico dell'assegnista che per l'anno 2016 con oneri INPS arriva a € 23.463,12 annui – tale costo è stato poi portato a 26.400 euro/anno uomo equivalente a **2.200 euro/mese uomo**.

Per la **borsa di studio** il costo è stato fissato pari a **1.500 euro/mese uomo**.

Infine, per il **ricercatore a tempo determinato di tipo A**, fissato dall'art. 24 c. 3 lett. A) Legge 240/10 è pari a **4.134 euro/mese uomo**.

**Tabella 2 - Quadro economico dell'Accordo a carico dell'AdB Sicilia a valere sulle risorse stanziati dal PAC linea 5.B.6 – A3**

Mesi uomo	Totale per attività
<b>18</b> (Cofinanz. Ricercatore TD tipo A)	74.400 euro
<b>18</b> (Assegnista)	39.600 euro
<b>24</b> (Borsista)	36.000 euro
	<b><u>150.000 euro</u></b>
<b>Altre spese rendicontabili</b> connesse con la realizzazione delle attività del progetto: spese per viaggio/missioni, acquisto/noleggio attrezzature, spese per riunioni, servizi esterni.	<b><u>30.000 euro</u></b>
<b>Totale Convenzione a valere sui fondi PAC 2007-2013 – III Fase Linea 5.B.6 – Sottoazione A3</b>	<b><u>180.000 euro</u></b>



Nelle tabelle a seguire è riportata la valutazione analitica dei costi.

Numero personale esterno	anno	Qualifica Personale	mesi/uomo anno									
			Attività A1	Attività B1	Attività B2	Attività B3	Attività B4	Attività C1	Attività C2	Attività C3	Attività D1	TOTALE
1	2021-22-23	Co-finanziamento Ricercatore t.d. art. 24 c. 3 lett. B Legge 240/10 (t.pieno)	4	1	2	2	1	2	1	2	3	18
1	2021-22-23	Assegnista	0	2	2	2	2	2	2	2	4	18
3	2021-22-23	Borsista	4	2	2	2	2	2	4	2	4	24
Totale 2021-22-23			8	5	6	6	5	6	7	6	11	60
Totale 2021-22-23 per Attività			Attività A	Attività B				Attività C			Attività D	Mesi nel biennio
			8	22				19			11	60

Costo personale (€)										
Attività A1	Attività B1	Attività B2	Attività B3	Attività B4	Attività C1	Attività C2	Attività C3	Attività D1	TOTALE	
16,533.33	4,133.33	8,266.67	8,266.67	4,133.33	8,266.67	4,133.33	8,266.67	12,400.00	74,400.00	
0.00	4,400.00	4,400.00	4,400.00	4,400.00	4,400.00	4,400.00	4,400.00	8,800.00	39,600.00	
6,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	6,000.00	3,000.00	6,000.00	36,000.00	
22,533.33	11,533.33	15,666.67	15,666.67	11,533.33	15,666.67	14,533.33	15,666.67	27,200.00	150,000.00	
Attività A	Attività B				Attività C			Attività D	Tot. Attività	
22,533.33	54,400.00				45,866.67			27,200.00	150,000.00	

Il numero e la tipologia di unità impiegate (ricercatore TD, borsista, assegnista, dottorando) potrà variare in relazione alle fasi del progetto, rimanendo invariato l'importo complessivo indicato in tabella relativamente a ciascuna attività e quello relativo all'intero accordo.

Per quanto riguarda l'onere finanziario a carico del DI (30.000,00 euro) questo deriverà dal seguente impegno di risorse umane interne al DI:

	Ore uomo	Costo orario	Costi
Professore ordinario	142	59.15 euro/ora	8.399,00 euro
Professore Associato	162	56.18 euro/ora	9.101,00 euro
Ricercatore conf.	195	40.62 euro/ora	7.920.00 euro
Ricercatore T.D.	159	28.81 euro/ora	4.580,00 euro
			<b>30.000,00 euro</b>

Nelle tabelle a seguire è fornita la rappresentazione dettagliata dei costi.

Figura	Costo orario
Prof. Ordinario l.240/2010 - tempo pieno - classe 0	59.15 €
Prof.Associato dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 6	56.18 €
Ricercatore dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 5	40.62 €
Ricercatore t.d. art. 24 c. 3 lett. A Legge 240/10 (t.pieno)	28.81 €

Numero unità personale DI	Qualifica Personale	anno	Costo personale DI caricato sul progetto (€)									
			Attività A1	Attività B1	Attività B2	Attività B3	Attività B4	Attività C1	Attività C2	Attività C3	Attività D1	TOTALE
1	Prof. Ordinario l.240/2010 - tempo pieno - classe 0	2021-22	591.50	473.20	473.20	591.50	591.50	473.20	-	-	709.80	3,903.90
1	Prof. Ordinario l.240/2010 - tempo pieno - classe 0	2022-23	-	-	354.90	354.90	354.90	591.50	887.25	887.25	1,064.70	4,495.40
<b>Totale 2021-22-23</b>			<b>591.50</b>	<b>473.20</b>	<b>828.10</b>	<b>946.40</b>	<b>946.40</b>	<b>1,064.70</b>	<b>887.25</b>	<b>887.25</b>	<b>1,774.50</b>	<b>8,399.30</b>
1	Prof.Associato dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 6	2021-22	1,123.60	561.80	561.80	561.80	561.80	337.08	-	-	842.70	4,550.58
1	Prof.Associato dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 6	2022-23	-	-	280.90	449.44	449.44	561.80	842.70	842.70	1,123.60	4,550.58
<b>Totale 2021-22-23</b>			<b>1,123.60</b>	<b>561.80</b>	<b>842.70</b>	<b>1,011.24</b>	<b>1,011.24</b>	<b>898.88</b>	<b>842.70</b>	<b>842.70</b>	<b>1,966.30</b>	<b>9,101.16</b>
1	Ricercatore dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 5	2021-22	609.30	568.68	487.44	487.44	487.44	487.44	-	-	649.92	3,777.66
1	Ricercatore dpr 232/11 ART.2 - t. pieno - cl. 5	2022-23	-	-	487.44	487.44	731.16	487.44	649.92	649.92	649.92	4,143.24
<b>Totale 2021-22-23</b>			<b>609.30</b>	<b>568.68</b>	<b>974.88</b>	<b>974.88</b>	<b>1,218.60</b>	<b>974.88</b>	<b>649.92</b>	<b>649.92</b>	<b>1,299.84</b>	<b>7,920.90</b>
1	Ricercatore t.d. art. 24 c. 3 lett. A Legge 240/10 (t.pieno)	2021-22	576.20	288.10	288.10	144.05	144.05	403.34	-	-	460.96	2,304.80
1	Ricercatore t.d. art. 24 c. 3 lett. A Legge 240/10 (t.pieno)	2022-23	-	-	259.29	259.29	259.29	288.10	374.53	374.53	460.96	2,275.99
<b>Totale 2021-22-23</b>			<b>576.20</b>	<b>288.10</b>	<b>547.39</b>	<b>403.34</b>	<b>403.34</b>	<b>691.44</b>	<b>374.53</b>	<b>374.53</b>	<b>921.92</b>	<b>4,580.79</b>
<b>Totale</b>			<b>2,900.60</b>	<b>1,891.78</b>	<b>3,193.07</b>	<b>3,335.86</b>	<b>3,579.58</b>	<b>3,629.90</b>	<b>2,754.40</b>	<b>2,754.40</b>	<b>5,962.56</b>	<b>30,002.15</b>
<b>Totale 2021-22-23 per Attività</b>			<b>Attività A</b>	<b>Attività B</b>				<b>Attività C</b>			<b>Attività D</b>	<b>Tot. Attività</b>
			<b>2,900.60</b>	<b>12,000.29</b>				<b>9,138.70</b>			<b>5,962.56</b>	<b>30,002.15</b>