RETE
DI IDROLOGIA APPLICATA

CiNiD
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

Università degli studi della Basilicata
Alma mater studiorum Università di Bologna
Università degli studi di Cagliari
Università della Calabria
Università degli studi di Catania
Università degli studi di Firenze
Università degli studi di Napoli Federico II
Università degli studi di Padova
Università degli studi di Palermo
Università degli studi di Salerno
Politecnico di Torino

settembre 2018

CiNiD
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

Il CINID è il Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia, nato nel 2009 per favorire la cooperazione fra le Università Consorziate nei seguenti settori: idrologia, idrometeorologia, mitigazione dei rischi idrogeologici, tutela delle acque superficiali e sotterranee, gestione dei sistemi idrici, salvaguardia dei sistemi ambientali, promuovendo, in particolare, la formazione, lo sviluppo della conoscenza e il suo trasferimento a enti pubblici e privati e al mondo delle professioni.

Possono far parte del CINID solo Università e Istituti di Istruzione universitaria, italiani e stranieri. Attualmente aderiscono: Università degli Studi della Basilicata, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Università degli Studi di Cagliari, Università degli Studi di Catania, Università della Calabria, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Napoli Federico II, Università degli Studi di Padova, Università degli Studi di Palermo, Università degli Studi di Salerno, Politecnico di Torino.

Il Consorzio è attivo nel campo della formazione (master, corsi di aggiornamento, moduli e-learning), nella promozione e gestione di iniziative scientifiche (EGU Leonardo, Summer School), nel trasferimento tecnologico verso utenti nazionali e regionali sui temi di competenza e in particolare nell'analisi e gestione del rischio, nella costruzione di sistemi di allertamento, nella produzione di modelli di preannuncio di inondazioni e frane. Il CINID ha, tra l'altro, promosso, insieme al Gruppo Italiano di Idraulica e a Firenze 2016, la costituzione del GRAL (Gruppo alluvioni, www.gruppoalluvioni.it).

Più in generale presso le Università consorziate è presente un patrimonio straordinario di conoscenze e di competenze nei settori dell'ingegneria delle acque, unito ad una consolidata capacità di trasformare, attraverso un rigoroso approccio metodologico, le più avanzate acquisizioni scientifiche in prodotti applicativi che sovente diventano un riferimento essenziale per il mondo tecnico e delle professioni. Il progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) è tra gli esempi più significativi. La procedura proposta dalla comunità scientifica per stimare le portate con assegnato periodo di ritorno è stata recepita in un Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri ed è stata largamente utilizzata, in tutta Italia, per la redazione dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI). Le Università che fanno parte del

CINID hanno dato un contributo decisivo allo sviluppo del progetto VAPI e alla sua applicazione in molte Regioni.

Il VAPI è solo un esempio. La disponibilità di procedure affidabili e collaudate è molto ampia e costituisce un capitale prezioso da mettere a sistema per favorire la condivisone, il confronto e il trasferimento verso il mondo delle applicazioni.

Per assecondare tale processo il CINID ha deciso di attivare una Rete di Idrologia Applicata tra le Università consorziate con il compito di avviare iniziative capaci di rendere pienamente fruibili le migliori pratiche sviluppate sui vari temi dell'idrologia.

Questo volume è un primo contributo. Esso offre uno spaccato, incompleto, di alcune delle principali metodologie proposte da una o più Università su temi che spaziano dal monitoraggio alla modellistica, dall'idrologia ambientale all'analisi e gestione del rischio, dalla formazione e informazione alle risorse idriche. Sono 55 proposte metodologiche o esempi di esperienze formative raggruppate in 13 gruppi tematici. Ad ogni proposta è dedicata una scheda che mette in luce i risultati conseguiti nelle applicazioni. Sono previsti successivi aggiornamenti che conterranno un numero crescente di proposte e il coinvolgimento di altre sedi universitarie che sviluppano, anch'esse, attività rilevanti di ricerca e di trasferimento su questi temi.

L'obiettivo è rendere sempre più fitta ed efficace la Rete di Idrologia Applicata per affrontare al meglio aspetti di straordinaria rilevanza per la sicurezza e la qualità della vita dei cittadini.

10 settembre 2018

Pasquale Versace

Presidente Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia

INDICE

I. IMPIANTI SPERIMENTALI E MONITORAGGIO

MODELLO FISICO DI LABORATORIO_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

IL SISTEMA LEWIS_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

SPERIMENTAZIONE SUPPORTO_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

II. BANCHE DATI

ITALIAN RAINFALL EXTREME DATABASE_POLITECNICO DI TORINO

III. STATISTICA IDROLOGICA

ANALISI DELLE PIOGGE ESTREME_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

CAMBIAMENTI IDROLOGICI_ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

EFFETTI OROGRAFICI NELL'ANALISI DEGLI ESTREMI PLUVIOMETRICI_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

GEOSTATISTICA IDROLOGICA_ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

IV. MODELLI METEOROLOGICI

AFFIDABILITÀ DELLE PREVISIONI_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

USO DI MODELLI ENSEMBLE PER LA PREVISIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

V. PREVISIONE DELLE PIOGGE

MODELLISTICA INTEGRATA STOCASTICA-METEO_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

I MODELLI STOCASTICI_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

VI. MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

ASSIMILAZIONE DATI_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
IL BFS PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA SPEDITIVA_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
GEOFRAME-NEWAGE BRIMS _UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
MOBIDIC_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
IL MODELLO NASP_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
IL MODELLO RISE_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
IL MODELLO TRI.MO.TI.S_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
IL MODELLO WRROOM_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
PREVISIONE DELLE PIENE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
SCELTA E PARAMETRIZZAZIONE_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

VII. RISORSE IDRICHE

ACQUA E SERVIZI ECOSISTEMICI_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
IL METODO RENERFOR PER LA STIMA DEL POTENZIALE IDROELETTRICO_POLITECNICO DI TORINO
MODELLAZIONE DEL BILANCIO IDROLOGICO IN AMBIENTI AGRICOLI_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
IL MODELLO MOD.A.BA._ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
OTTIMIZZAZIONE IN AMBITO IRRIGUO E URBANO_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
STIMA DEL DEFLUSSO ANNUALE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

VIII. ACQUE SOTTERRANEE

DISPERSIONI DAGLI INVASI _UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FLUSSO E TRASPORTO_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

IX. IDROLOGIA AMBIENTALE

ANALISI HABITAT FLUVIALE_ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

X. IDROLOGIA URBANA

MOBIDIC - U_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
NATURE BASED SOLUTIONS_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
TETTI VERDI_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI
TETTI VERDI AD UNISA_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

XI. FRANE, COLATE E IDROLOGIA DI VERSANTE

LA METODOLOGIA MC-SLIDES_ UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
MODELLAZIONE DEBRIS FLOW_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
IL MODELLO FLAIR_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
IL MODELLO SUSHI_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
IL MODELLO TRIBS - EROSION_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
IL MODELLO TRIBS- LANSLIDE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
LA SUSCETTIBILITÀ DA FRANA_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

XII. ANALISI E GESTIONE DEL RISCHIO

ANALISI DI EVENTI FLASH FLOOD_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
DEM BASED FLOOD HAZARD_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
MODELLI DI DANNO ALLUVIONALE_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
PERICOLOSITÀ ALLUVIONALE_ ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
RISCHIO IDRAULICO DA SORMONTO ARGINALE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
SOGLIE PLUVIOMETRICHE_UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
STIMA DEI DANNI DA ALLUVIONE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
VULNERABILITÀ: MODELLO EVIL_ UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
VULNERABILITÀ SOCIALE_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

XIII. FORMAZIONE ED INFORMAZIONE

CORSO E-LEARNING PROGETTAZIONE OPERE DI DIFESA DEL SUOLO _CINID
GIORNATE DELLA DIFESA DEL SUOLO_CINID
IN CASO DI ALLUVIONE…_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
SCENARI ALLUVIONALI LEGO_UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

IMPIANTI SPERIMENTALI E MONITORAGGIO

MODELLO FISICO DI LABORATORIO

IL SISTEMA LEWIS

SPERIMENTAZIONE SUPPORTO

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

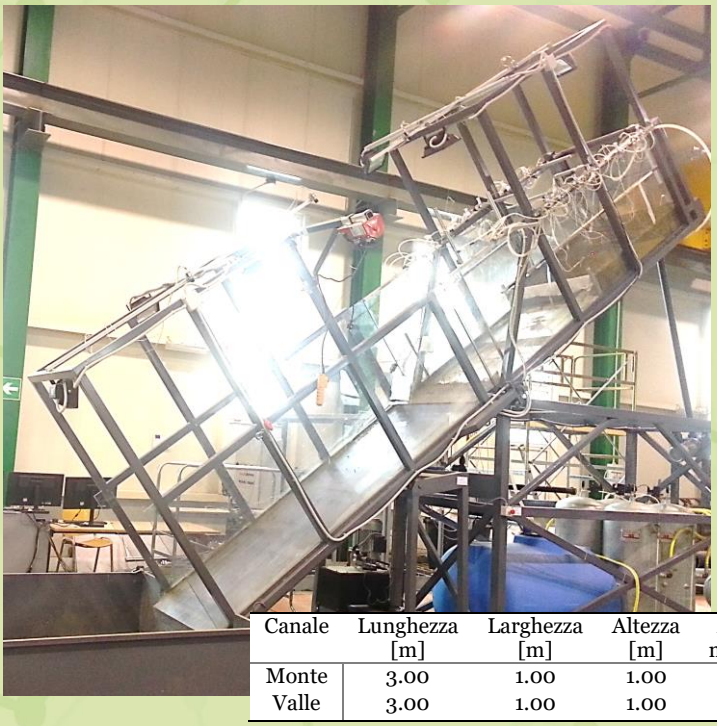
RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

01

Impianti Sperimentali e Monitoraggio

Modello Fisico di Laboratorio

Nell'ambito del progetto SILA – PONa3_00341, Sistema Integrato di Laboratori per l'Ambiente è stato realizzato un canale artificiale di grandi dimensioni in grado di riprodurre l'innesco delle frane indotto da una forzante pluviometrica, di analizzare le grandezze correlate ed osservare l'evoluzione post-rottura.



Canale	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Altezza [m]	Angolo massimo
Monte	3.00	1.00	1.00	50°
Valle	3.00	1.00	1.00	36°

Il modello fisico è stato progettato in modo da conferire al canale grande flessibilità e versatilità nell'utilizzo. È attrezzato di sensoristica per la misura delle principali grandezze fisiche che governano i processi di deformazione e di rottura, di un impianto di video registrazione, di laser per la misura degli spostamenti e di dispositivi per la valutazione delle velocità coinvolte. La presenza di due canali indipendenti consente, inoltre, di analizzare anche la fase di propagazione e di prevedere l'ubicazione di strutture di impatto per valutare eventuali strategie di mitigazione.

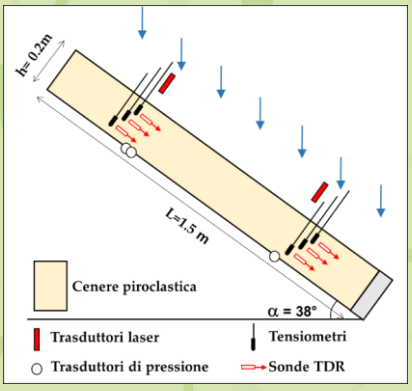
In particolare, il canale artificiale è strumentato con:

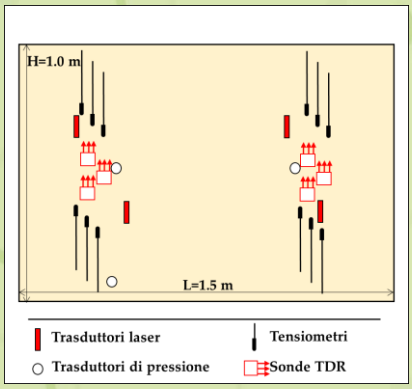
- Tensiometri (usati per la valutazione della suzione);
- Trasduttori di pressione (per la valutazione della pressione neutra);
- TDR device (per il contenuto d'acqua del terreno);
- Impianto di pioggia (usato per simulare un evento di pioggia);
- Sensori laser (per gli spostamenti ortogonali al deposito);
- Videocamere (per gli spostamenti in pianta).

Esempio Applicativo

PROVA CON UN DEPOSITO OMOGENEO DI CENERE PIROCLASTICA

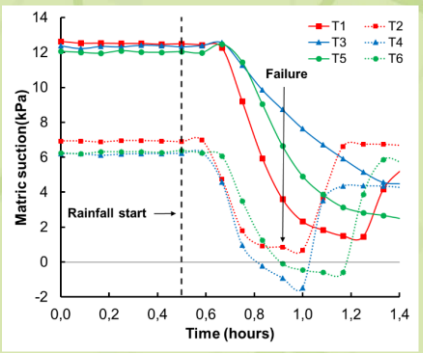
All'interno del canale è stato ricostruito un deposito omogeneo di cenere piroclastica prelevati nella zona di Sarno, in Campania, con 20 cm di spessore, una larghezza di 100 cm e lunghezza 150 cm. All'interno del pendio artificiale, sono stati installati 12 tensiometri per la misura della suzione e 6 sonde TDR per la misura del contenuto d'acqua volumetrico.

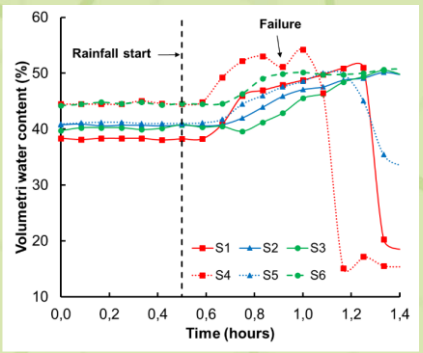


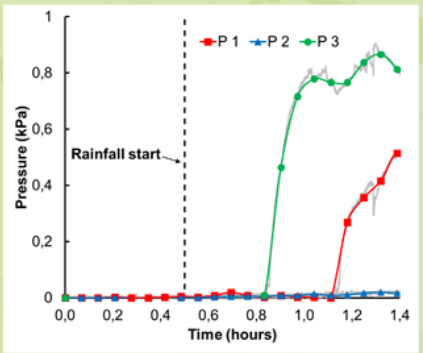


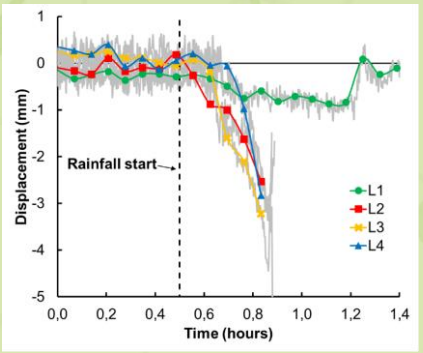
I sensori sono stati installati alle profondità di 5 cm, 11 cm e 17 cm al di sotto del piano campagna, sia nella zona di monte, sia in quella di valle del deposito. Sul fondo del canale sono stati predisposti tre trasduttori di pressione neutra e posizionati lungo le barre esterne 4 trasduttori di spostamento a tecnologia laser per la misura degli spostamenti ortogonali alla superficie del pendio. Sono stati simulati diversi cicli di imbibimento ed essiccamento, sia con il deposito in posizione orizzontale, sia con il deposito inclinato. Durante queste fasi, il pendio ha assunto una configurazione addensata e la rottura, coerentemente con tale struttura, non ha portato all'innesco di una colata di fango, ma ad una progressiva erosione degli strati più superficiali del terreno, inizialmente e prevalentemente concentrata nella zona di valle del pendio, dove l'intenso flusso sub-superficiale determinava il raggiungimento di condizioni di maggiore umidità e favoriva la mobilizzazione del terreno.

Le prime rotture locali hanno cominciato a manifestarsi dopo circa 20 minuti dall'inizio della pioggia artificiale, e solo successivamente si sono estese al punto da interessare i punti nei quali erano installati alcuni dei tensiometri e delle sonde TDR.









Bibliografia essenziale

Capparelli G, Napoli P., Spolverino G., Versace P. (2018) Modello Fisico di Laboratorio per la modellazione dei processi di infiltrazione, di innesco e propagazione dei movimenti franosi. Rubbettino Editore.

Capparelli G., Versace P., Spolverino G. (2017) Physical Modelling of the Rainfall Infiltration Processes in Pyroclastic Soil Responsible of Landslide Trigger. In: Mikoš M., Casagli N., Yin Y., Sassa K. (eds) Advancing Culture of Living with Landslides. WLF 2017. Springer, Cham.

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — *linoversace@libero.it*

Giovanna Capparelli — *giovanna.capparelli@unical.it*

Gennaro Spolverino — *g.spolverino@dimes.unical.it*

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

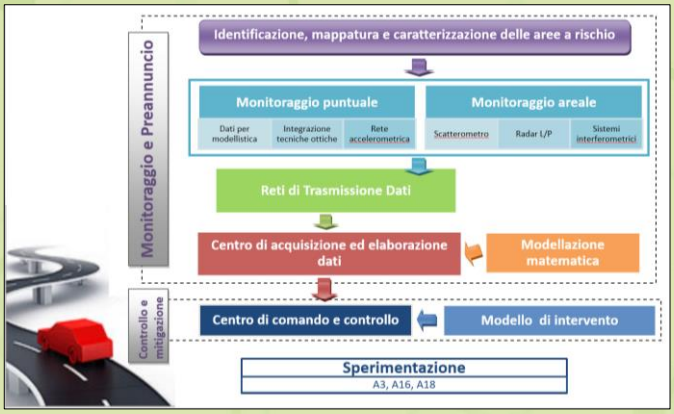
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

02

Impianti Sperimentali e Monitoraggio
Il sistema Lewis

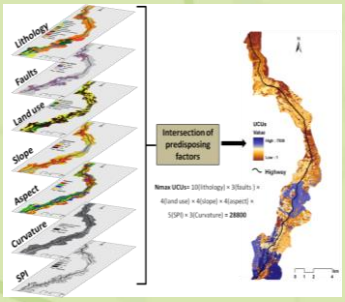
Nelle aree in cui il rischio di frana è molto elevato e le risorse finanziarie sono scarse rispetto a quelle necessarie, è necessario un approccio integrato che combini misure strutturali e non strutturali. In tali aree, è necessaria una strategia complessa che comprenda analisi qualitative e quantitative del rischio, monitoraggio, sistemi avanzati di allerta precoce, modellazione matematica delle relazioni frane-precipitazioni, procedure decisionali, strategie per la riduzione del rischio e piani per la gestione delle emergenze, lavori e manutenzione. Negli ultimi anni, l'attenzione si è concentrata sempre più sui sistemi di preallarme, sviluppando sia singoli componenti che sistemi integrati. Su questi temi, l'Università della Calabria, ed in particolare il Camilab, sono impegnati da anni in attività di studio e di ricerca di rilevanza nazionale e internazionale e nella diffusione e promozione della cultura della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico. Nel 2011 insieme ad altri partner, ha promosso un progetto di ricerca triennale, "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione", finalizzato allo sviluppo di un sistema complesso e articolato di preannuncio delle frane da impiegare per le fasi di previsione/prevenzione del rischio idrogeologico. Il Progetto, indicato con l'acronimo Lewis (Landslide Early Warning Integrated System), è stato svolto, nel periodo 2012-2014, nel quadro del Programma Operativo Nazionale 2007-13 "Ricerca e Competitività". Il progetto è stato sviluppato dall'Università della Calabria e Autostrade Tech S.p.A. insieme ai partner industriali Strago e TDGroup, alle Università di Catania, di Reggio Calabria e di Firenze e al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia). Per l'Ateneo calabrese, oltre al Camilab, con funzione di coordinamento, hanno partecipato diversi laboratori e gruppi di ricerca quali µWave, Geomatica, Nems, Geotecnica ed il Dipartimento di matematica. Il progetto ha previsto lo sviluppo di attività sperimentali su tre tronchi autostradali lungo la A3, la A16 e la A18.

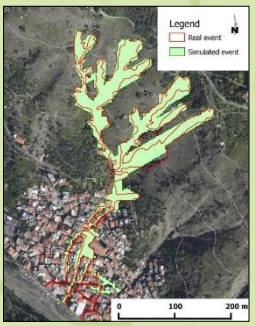


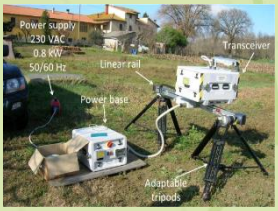
Esempio Applicativo

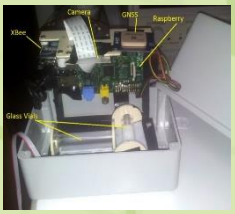
SVILUPPO DEL SISTEMA INTEGRATO

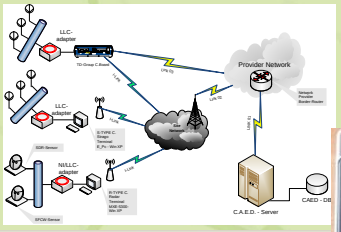
Il sistema ha incluso le seguenti componenti: criteri per la valutazione e la mappatura della suscettibilità al franamento; rete di monitoraggio "puntuale" che comprende sensori che misurano localmente l'inizio degli spostamenti superficiali o profondi; rete di monitoraggio "areale" che include sensori che controllano a distanza il fenomeno franoso con tecniche radar; modelli matematici di simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi; modelli matematici per la simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi indotte da precipitazioni; reti di telecomunicazione che trasmettono anche le informazioni necessarie per il funzionamento dei modelli; modelli per la previsione dello scenario di rischio; un Centro di acquisizione ed elaborazione dei dati (CAED) che, sulla base dei dati misurati dai sensori e delle indicazioni dei modelli, valuta la situazione di pericolo lungo il tronco autostradale, sede di sperimentazione, emettendo i relativi livelli di criticità; Centro di comando e controllo del traffico (CCCT) che, sulla base di un modello di intervento predefinito, attiva le procedure standardizzate per la mitigazione del rischio, che vanno dalla sorveglianza diretta del tratto di interesse da parte di squadre tecniche all'interruzione del traffico su entrambe le direzioni di marcia.

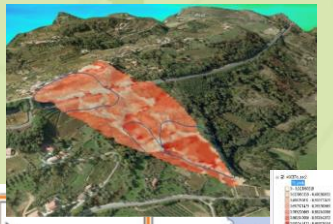


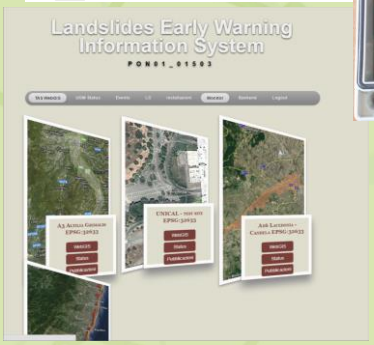


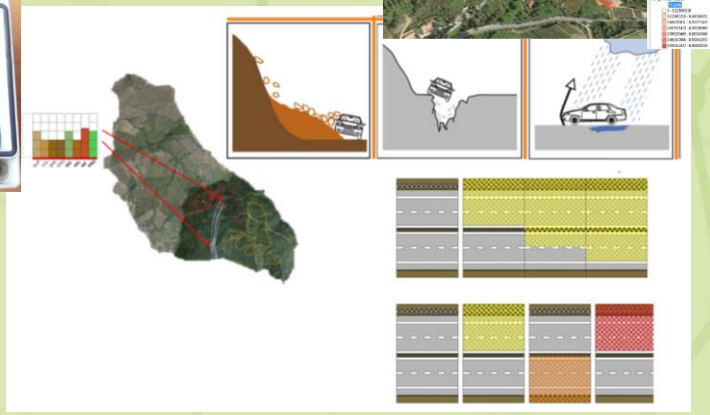












Bibliografia essenziale

Versace P., Capparelli G., De Luca D. 2017 "An Integrated System for Landslides Early Warning in Landslide Dynamics". ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools: Volume 1: Fundamentals, Mapping and Monitoring - ISBN: 978-3-319-57773-9 DOI:10.1007/978-3-319-57774-6_38.

Quaderni PON. AA.VV. 2016 "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione".

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace linoversace@libero.it
Giovanna Capparelli giovanna.capparelli@unical.it
Francesco Cruscomagno francesco.cruscomagno@unical.it
Davide L. De Luca davide.deluca@unical.it

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

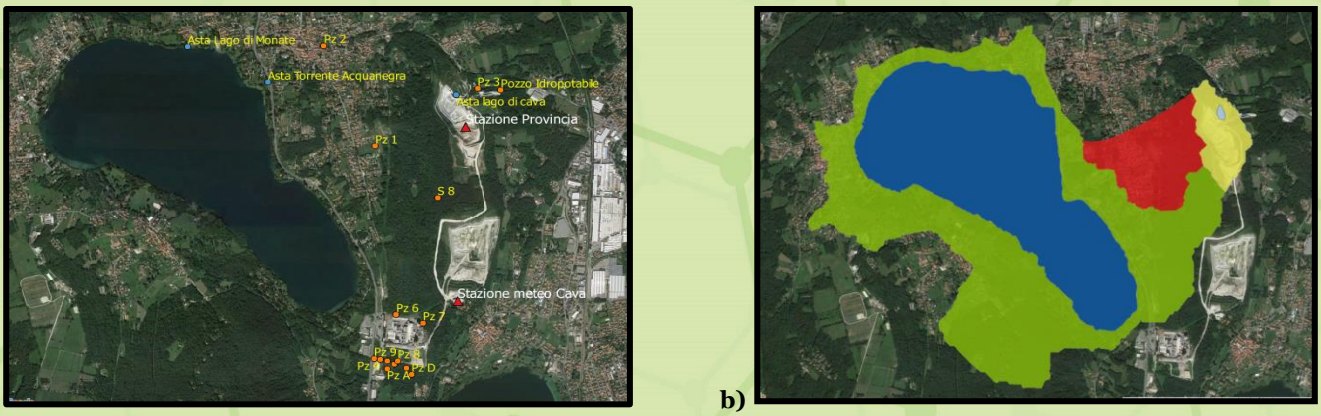
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

MONITORAGGIO IDROLOGICO: SPERIMENTAZIONE DI TECNICHE INNOVATIVE E ATTIVITA' DI SUPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO

Il monitoraggio dei processi idrologici è un'attività che riveste una straordinaria importanza in tutte le applicazioni inerenti la gestione delle risorse idriche, oltre che la progettazione degli interventi di protezione idraulica del territorio e la mitigazione del rischio idrogeologico. Detto monitoraggio richiede l'utilizzo di strumenti e campagne di misura *ad hoc*, che possono integrare metodi tradizionali con tecniche più innovative e meno convenzionali.

In detto ambito il gruppo di ricerca del DICAM – Costruzioni Idrauliche svolge sia attività di sperimentazione di tecniche innovative che attività di supporto tecnico-scientifico a campagne di monitoraggio ambientale ed idrologico (v. Figura 1 e primo es. applicativo).



a) b)

Figura 1. Esempio di rete di supporto tecnico scientifico ad attività di monitoraggio (v. *Tomesani et al., 2016*): (a) rete di monitoraggio meteo-climatico ed idrologico (idrometri in blu; piezometri in arancione; stazioni meteo in rosso); (b) Lago di Monate (blu, 2.58 km²) e relativi bacini imbriferi superficiale (verde, 3.25 km²) e complessivo (verde e rosso, 3.83 km²); bacino imbrifero superficiale del laghetto di cava della Cava Faraona (giallo, 0.28 km²).

Con riferimento alle tecniche di monitoraggio innovative, può essere considerata ad esempio la misura della portata defluente attraverso una data sezione fluviale (v. Figura 2 e secondo es. applicativo). Essa è generalmente ottenuta indirettamente in base alla conoscenza della velocità puntuale della corrente ed alla geometria dalla sezione, con necessità di personale specializzato e costi elevati di gestione. Da questa constatazione, negli ultimi anni è sorta l'esigenza di introdurre tecniche più economiche, basate ad es. sull'analisi di sequenze di immagini finalizzata alla stima della velocità superficiale della corrente (v. ad es. *Tauro et al., 2018*).

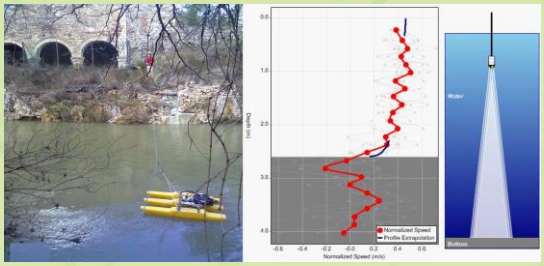
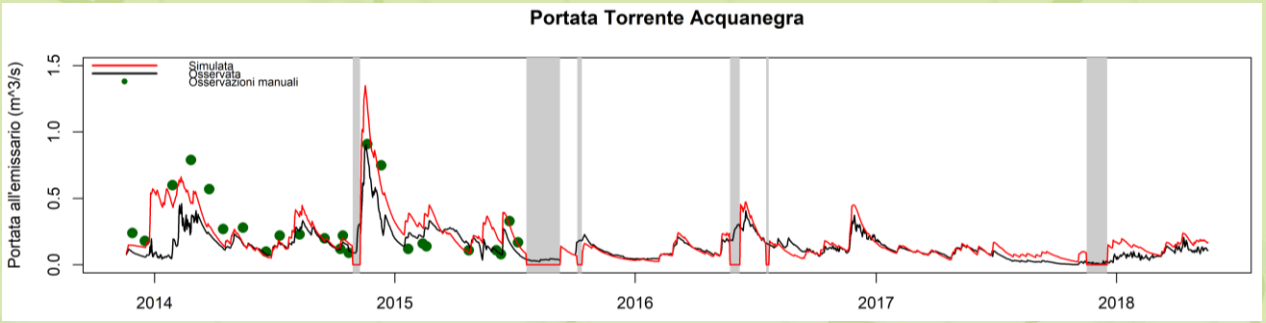


Figura 2. Profilatore acustico ad effetto Doppler: lo strumento misura la velocità dell'acqua in base al principio fisico noto come *effetto Doppler*. Esso consiste nel cambiamento apparente della frequenza d'onda percepita da un osservatore posto in movimento relativo rispetto alla sorgente dell'onda stessa. Nota la frequenza delle onde riflesse dalle particelle in sospensione, lo strumento ricostruisce l'andamento 3D delle velocità.

Esempio Applicativo

MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL BACINO DEL LAGO DI MONATE (VA)

Il primo esempio applicativo ha come obiettivo il supporto tecnico-scientifico al Comune di Travedona-Monate (VA) di una complessa attività di monitoraggio ambientale finalizzata anche alla valutazione del bilancio idrico del Lago di Monate. Il Lago di Monate, situato ad Est del Lago Maggiore in provincia di Varese, costituisce un'emergenza ambientale di inestimabile valore (*Tomesani et al., 1996* e referenze nel testo). Data la presenza di attività estrattive in prossimità del lago, dal 2013 è in atto un'estesa campagna di monitoraggio ambientale, curata da Holcim Italia S.p.A., al fine di stimare se le attività estrattive interferiscano con i sistemi acquiferi. Partendo dai dati metereologici ed idrologici provenienti dalla suddetta rete di monitoraggio, si è generato un modello numerico concettuale di trasformazione afflussi-deflussi per il bacino imbrifero del Lago di Monate. Il complesso degli apporti idrici superficiali e sotterranei giornalieri al lago simulati in un primo passo viene successivamente utilizzato per simulare le variazioni di quota del pelo libero del lago e la portata interessante l'incile dell'unico emissario, il torrente Acquanegra (*Tomesani, 2015*). Come mostrato in figura, i valori simulati da modello risultano coerenti a quelli osservati per l'intero periodo di osservazione.



MONITORAGGIO IDROMETRICO DEL FIUME SECCHIA

Il secondo esempio di applicazione proposto riguarda il monitoraggio fluviale di un tratto del Secchia. Al fine di acquisire video ad alta risoluzione della superficie della corrente fluviale, è stata progettata una stazione prototipale a basso costo e basso consumo energetico. La modalità di acquisizione dei video (orari, frequenza acquisizione, lunghezza del video) è programmabile a distanza, tramite collegamento GSM. Le sequenze di immagini acquisite, una volta ortorettificate e calibrate per assegnare una dimensione metrica ai pixel, sono poi elaborate da algoritmi di *optical flow* sviluppati ad hoc, che ricostruiscono il campo di velocità superficiale della corrente a partire dall'identificazione delle traiettorie dei punti salienti (*feature*) dei traccianti naturalmente presenti in superficie (*Tauro et al., 2018*).

Bibliografia essenziale

Tauro F., Toth E., Mattoccia S., Tosi F., Grimaldi S., "Monitoraggio fluviale da "gauge-cam": stato dell'arte e sviluppi futuri", in pubblicazione su Atti del XXXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Ancona, 12-14 settembre 2018

Tomesani, G., I. Soligno, A. Castellarin, A. Montanari, F. Cervi, G. Carnesecchi, A. Colombo (2016): Modello numerico del comportamento idrologico del Lago di Monate (VA), Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. ISBN 9788898010400, pp. 497-500.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it/it

Gruppo di Ricerca

Giada Molari — giada.molari2@unibo.it
Alberto Montanari — alberto.montanari@unibo.it
Attilio Castellarin — attilio.castellarin@unibo.it
Elena Toth — elena.toth@unibo.it

BANCHE DATI

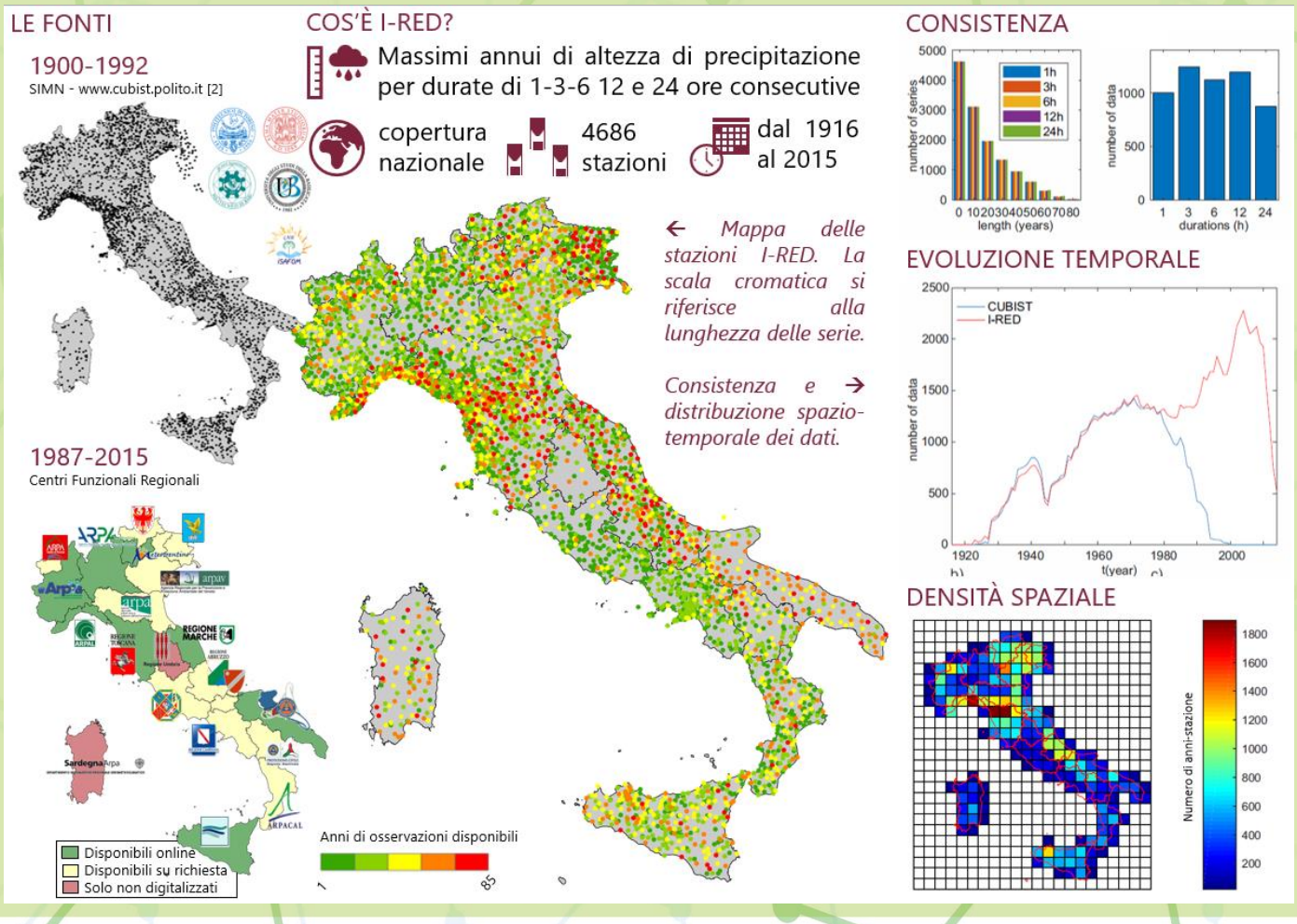
ITALIAN RAINFALL EXTREME DATABASE

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

04 Banche dati
Italian-Rainfall Extreme Database

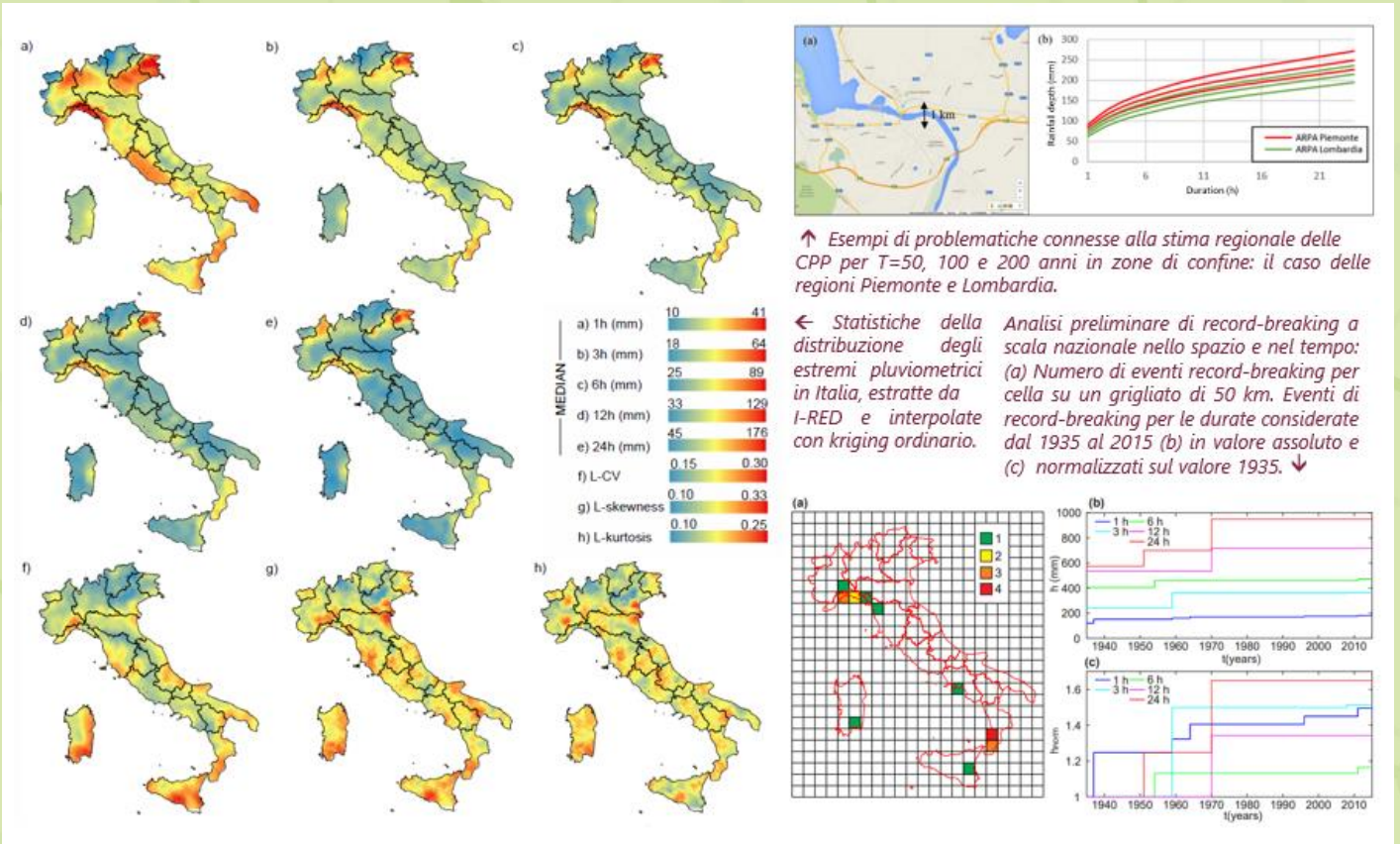
Mediante un minuzioso lavoro di raccolta e catalogazione che ha visto il contributo dei diversi enti preposti al monitoraggio idrologico, è stato sviluppato il database Italian-Rainfall Extreme Database (*I-RED*). Il database raccoglie le altezze di precipitazione massime annuali registrate in intervalli di 1-3-6-12 e 24 ore consecutive in Italia, prendendo in considerazione oltre 4500 stazioni, nel periodo compreso tra il 1916 e il 2014. Per l'assemblaggio dell'*I-RED*, descritto in *Libertino et al.* (2018) sono state usate diverse fonti: i dati registrati fino alla dismissione del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (*SIMN*) derivano dal database realizzato nell'ambito del progetto *CUBIST* (*Claps et al.*, 2010), che include le registrazioni dei massimi annui di durata sub-giornaliera digitalizzate a partire dagli Annali Idrologici. Per gli anni più recenti, le 21 locali autorità competenti sono state contattate per richiedere i dati di interesse. Le diverse tipologie di dati forniti hanno richiesto diversi trattamenti preliminari: in alcuni casi è stato possibile inserire direttamente l'intero dataset regionale nell'*I-RED*, in altri è stato necessario un sistematico pretrattamento dei dati, atto a integrare le diverse fonti, ponendo particolare attenzione a evitare ridondanze e errori nei periodi di sovrapposizione. A seguito di questo lavoro, per la prima volta dalla dismissione del *SIMN*, un database nazionale permette un'analisi delle precipitazioni intense che travalica i limiti amministrativi delle regioni.



Esempio Applicativo

ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE E STIMA DELLA PIOGGIA DI PROGETTO

La mancanza di un database nazionale delle precipitazioni intense riduce significativamente l'efficacia dell'analisi di suscettibilità al rischio di nubifragio. L'utilizzo di serie non aggiornate e frammentate, unita alla riduzione del dominio spaziale di analisi alla scala regionale, porta infatti a una riduzione della consistenza delle serie disponibili che può inficiare la rappresentatività dell'analisi statistica. Inoltre, le analisi condotte a scale regionali possono causare discontinuità nelle zone di confine (*Claps et al.*, 2016) se basate su database differenti.
Oltre a garantire un'analisi di frequenza omogenea e indipendente dai confini regionali, *I-RED* permette un'analisi approfondita della distribuzione spaziale degli eventi più intensi, data l'alta densità delle stazioni e la loro numerosità. La lunghezza delle serie disponibili consente poi di valutare la presenza di variazioni e trend significativi nell'intensità dei nubifragi. In particolare, la consistenza del database ha permesso di focalizzarsi sullo studio sistematico di quella famiglia di eventi "estremi degli estremi" che mostrano intensità straordinarie anche rispetto alle registrazioni massime annue. Le tecniche statistiche adottate includono le analisi di record breaking, nelle quali si esamina l'eventuale significatività dell'aumento della frequenza del superamento delle piogge massime assolute in Italia per una data durata.



↑ *Esempi di problematiche connesse alla stima regionale delle CPP per T=50, 100 e 200 anni in zone di confine: il caso delle regioni Piemonte e Lombardia.*

← *Statistiche della distribuzione degli estremi pluviometrici in Italia, estratte da I-RED e interpolate con kriging ordinario.*

Analisi preliminare di record-breaking a scala nazionale nello spazio e nel tempo: (a) Numero di eventi record-breaking per cella su un grigliato di 50 km. Eventi di record-breaking per le durate considerate dal 1935 al 2015 (b) in valore assoluto e (c) normalizzati sul valore 1935. ↓

Bibliografia essenziale

Claps, P. et al.: Stima operativa delle piogge estreme sul territorio nazionale: nuovi metodi e possibili sinergie, in: Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 2016.

Claps, P. et al.: Development of an Information System of the Italian basins for the CUBIST project, in: EGU, 2008.

Libertino A., D. Ganora e P. Claps. Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy: clues from a reconciled dataset. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2018, 22, 2705-2715.

POLITECNICO DI TORINO

www.polito.it

Gruppo di Ricerca

Andrea Libertino andrea.libertino@polito.it

Pierluigi Claps pierluigi.claps@polito.it

Daniele Ganora daniele.ganora@polito.it

STATISTICA IDROLOGICA

ANALISI DELLE PIOGGE ESTREME

CAMBIAMENTI IDROLOGICI

EFFETTI OROGRAFICI NELL'ANALISI DEGLI ESTREMI PLUVIOMETRICI

GEOSTATISTICA IDROLOGICA

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

05

Statistica Idrologica

Analisi delle piogge estreme

La stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia di una determinata durata, caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontata 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.
In Toscana, per la stima dei massimi annui di altezza di pioggia di varie durate, è stata scelta la distribuzione TCEV e utilizzato l'approccio gerarchico di stima dei parametri in 3 livelli sequenziali. Dopo la validazione del set di dati registrati dalla rete di rilevamento regionale del SIR – *Servizio Idrologico Regionale*, aggiornati all'anno 2012, è stata condotta l'analisi di frequenza regionale usando il "metodo della pioggia indice", determinando le curve di crescita per le precipitazioni in 4 regioni omogenee individuate: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD. La pioggia indice per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia d è stata definita utilizzando un modello multivariato. Per ognuna delle quattro regioni sono state stimate le altezze di pioggia di durata d pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore, e tempo di ritorno T_r pari a 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni, tramite l'espressione $h_{d,T_r} = \mu_d \cdot K_{d,T_r}$ (dove μ_d rappresenta la pioggia indice, K_{d,T_r} rappresenta il fattore di crescita adimensionale). Sono state rese disponibili griglie delle altezze di pioggia stimate per le diverse durate e tempi di ritorno caratteristici, nonché le griglie dei parametri delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (a, n) per i tempi di ritorno fissati.

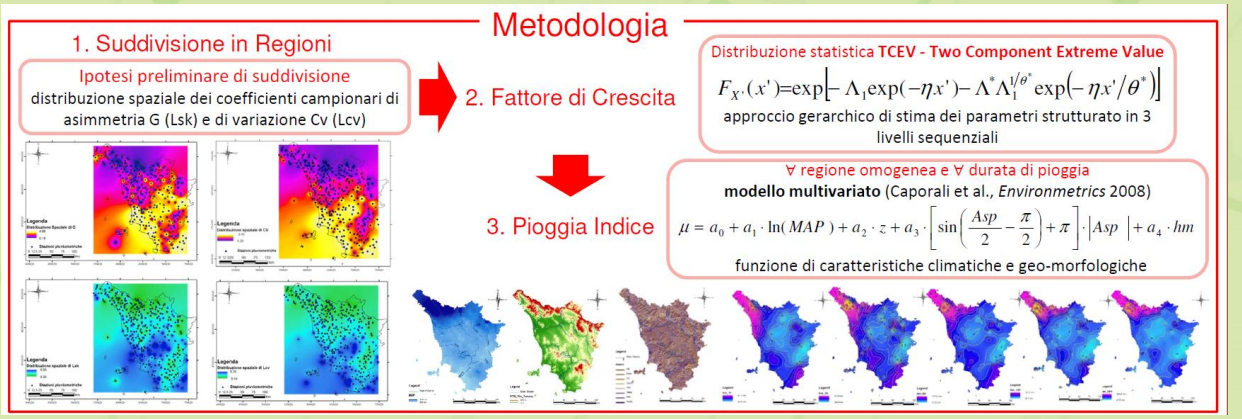


Figura 1: metodologia per la stima dei massimi annui di altezza di pioggia in Toscana

È in corso una revisione di tale analisi di frequenza regionale considerando l'aggiornamento del set dei dati di ulteriori 5 anni, dal 2013 al 2017, suddivisa, in analogia con lo studio precedente, nelle seguenti fasi: i) validazione del set di dati; ii) verifica della consistenza delle serie temporali di valori annui di pioggia massima; iii) verifica della suddivisione del territorio di analisi in regioni e sub-regioni omogenee; iv) aggiornamento e verifica delle statistiche e della curva di crescita per ogni regione omogenea; v) determinazione della pioggia indice per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia.

Esempio Applicativo

ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI IN TOSCANA: PREVISIONE QUANTITATIVA DEI VALORI ESTREMI DI PIOGGIA

Le stime delle altezze di pioggia, in ogni regione omogenea individuata, per le durate e i tempi di ritorno fissati, sono ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice, per le diverse durate, e il fattore di crescita adimensionale, per i diversi tempi di ritorno.

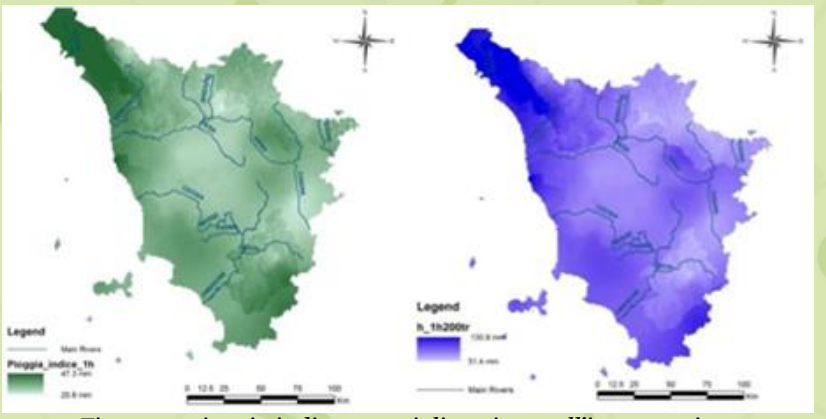


Figura 2: pioggia indice e spazializzazione sull'intera regione dell'altezza di pioggia di durata 1 ora e tempo di ritorno 200 anni.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto viene inoltre effettuata attraverso la determinazione della Linea Segnalatrice di Probabilità Pluviometrica (LSPP), ossia della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per assegnato tempo di ritorno, mediante una legge del tipo: $h(t) = at^n$ (con h altezza di pioggia [mm]; t durata [ore]; a, n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati).

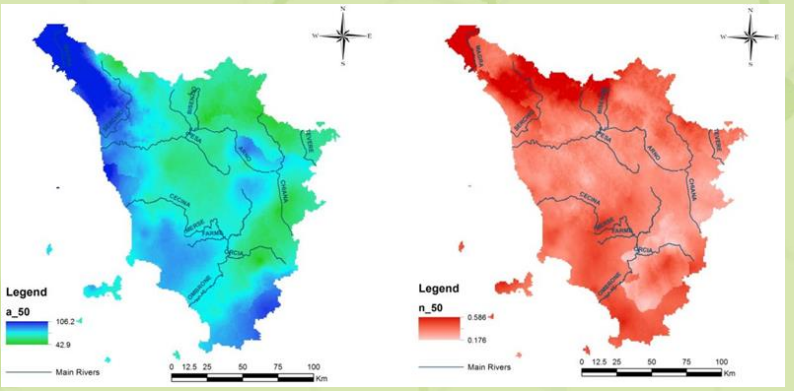


Figura 3: parametri a, n della LSPP per tempo di ritorno 50 anni

Bibliografia essenziale

Caporali E., Cavigli E. and Petrucci A., 2008, The index rainfall in the regional frequency analysis of extreme events in Tuscany (Italy), Environmetrics, 19, 714–727, ISSN:1180-4009, DOI:10.1007/s10651-018-0399-1.

Caporali E., Chiarello, V. and Petrucci A., 2018, Regional frequency analysis and geoadditive modeling for design storm estimates in the Arno river basin (Italy). Environmental and Ecological Statistics, vol. 25, pp. 31-52, ISSN:1352-8505, DOI:10.1007/s10651-018-0399-1.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Enrica Caporali enrica.caporali@unifi.it
Valentina Chiarello v.chiarello@cb6toscanasud.it
Marco Lompi marco.lompi@gmail.com
Matteo Pampaloni matteo.pampaloni@dicea.unifi.it

06

Statistica idrologica

Cambiamenti idrologici

Negli ultimi decenni, in Italia e negli altri paesi europei si è registrato un costante aumento delle perdite economiche e delle conseguenze sociali connesse al verificarsi di eventi idrologici estremi. I principali responsabili di tale situazione sono spesso identificati nei cambiamenti climatici: si ritiene che l'aumento della temperatura possa portare all'intensificazione degli eventi pluviometrici estremi e alla riduzione delle precipitazioni nevose, con una conseguente esacerbazione degli eventi di piena in termini di frequenza ed intensità. Tuttavia, le indagini scientifiche pubblicate negli ultimi anni riportano conclusioni molto variabili a seconda del contesto geografico e climatico, e in alcuni casi giungono a conclusioni contrastanti.

In tale contesto, il gruppo di Costruzioni Idrauliche del DICAM dell'Università di Bologna svolge attività di ricerca volte alla valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sui processi idrologici mediante l'analisi di serie temporali di grandezze idro-meteorologiche (i.e. temperatura, precipitazione, portata), a scala sia continentale che locale. Le tecniche di analisi più comuni consistono nell'applicazione di test statistici non parametrici (i.e. test di Mann-Kendall, test di Pettitt; v ad es. *Castellarin e Pistocchi*, 2012) alle serie dei massimi annuali (*Annual Maximum Series*, AMS) e/o alle durate parziali (*Peaks Over Threshold*, POT) delle diverse grandezze di interesse, quali (1) precipitazione a diversa scala di aggregazione temporale (sub-oraria, oraria, giornaliera), (2) portata, (3) temperatura (ivi compreso il numero di giorni «caldi»), e rilevano tendenze e ciclicità nelle piogge nel regime di frequenza della variabile di interesse (v. ad es. Figura 1).

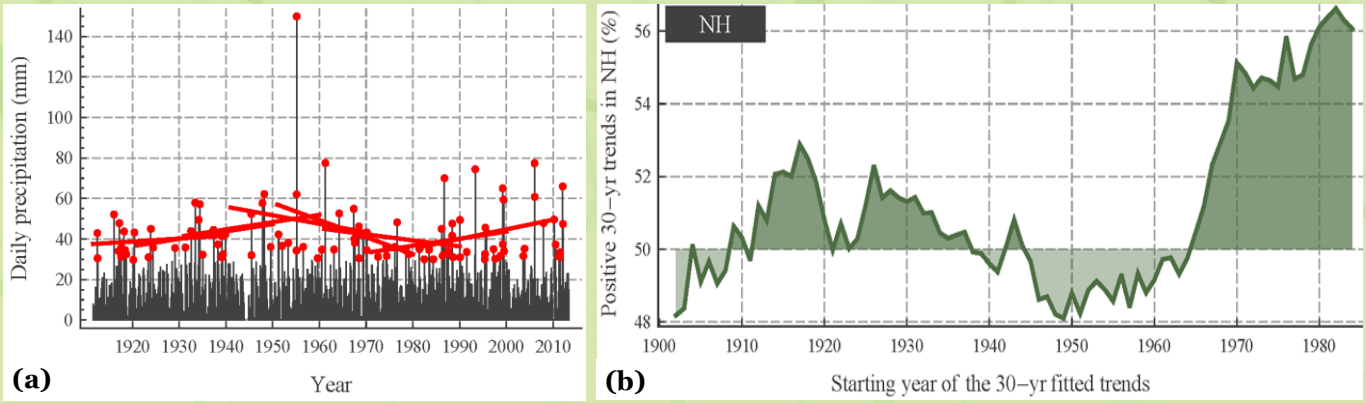


Figura 1. Valutazione di tendenze e ciclicità nelle piogge estreme. (a) Rette di regressione di precipitazioni giornaliere estreme su intervalli trentennali. (b) Percentuale di stazioni pluviometriche nell'Emisfero Boreale (Northern Hemisphere, NH) che mostrano trend positivi su intervalli trentennali, in funzione dell'anno di partenza della valutazione del trend.

Sono altresì considerate tecniche recenti che prendono in considerazione (1) la stagionalità degli eventi estremi (e.g. coefficienti direzionali introdotti da *Mardia*, 1972), (2) le distribuzioni a «coda pesante» (*heavy-tail*), (3) la siccità idrologica (e.g. *Standardized Precipitation Index*, SPI, *McKee et al.*, 1993; *Streamflow Drought Index*, SDI, *Nalbantis e Tsakiris*, 2009). In quest'ottica, le diverse attività di collaborazione con altri enti ed istituti di ricerca (ad es. Protezione Civile, ARPAe Emilia-Romagna, GeoForschungsZentrum (GFZ) di Potsdam in Germania) consentono di estendere la conoscenza delle tecniche disponibili e di acquisire nuovi dati utili per le analisi.

Esempio Applicativo

ANALISI DEGLI ESTREMI IDROLOGICI IN EMILIA-ROMAGNA

Buona parte delle analisi sopra descritte sono state applicate nel territorio emiliano-romagnolo, oggetto di numerosi eventi alluvionali (ad es. Rimini nel Giugno 2013, la Val Nure nel Settembre 2015, il fiume Enza nel Dicembre 2017). Sebbene i cambiamenti climatici siano considerati i principali responsabili di tali fenomeni, recenti studi (e.g. *Domeneghetti et al.*, 2015) hanno evidenziato l'impatto dell'antropizzazione sul rischio idraulico, come risultato delle modifiche all'uso del suolo. Risulta dunque di grande interesse un'analisi che si concentri sulle dinamiche delle diverse componenti del rischio idraulico. Le analisi condotte hanno preso in considerazione un esteso data-base comprendente: (1) serie AMS e PDS di precipitazione oraria e giornaliera (fonte: ARPAe; v. Figura 2a); (2) serie AMS di portata al colmo di piena massima annua. La possibile presenza di trend e cambiamenti repentini nell'intensità e nella frequenza di tali serie è stata verificata mediante l'applicazione dei test di Mann-Kendall e Pettitt con livello di significatività al 5%. Per la valutazione di potenziali cambiamenti nella stagionalità delle precipitazioni di durata oraria e giornaliera, per ciascuna stazione analizzata, sono stati considerati anche diagrammi in coordinate polari delle date di accadimento suddivise in tre distinti periodi: periodo complessivo di osservazione e periodi precedente e successivo rispetto all'anno mediano della serie (v. esempio in Figura 2b).

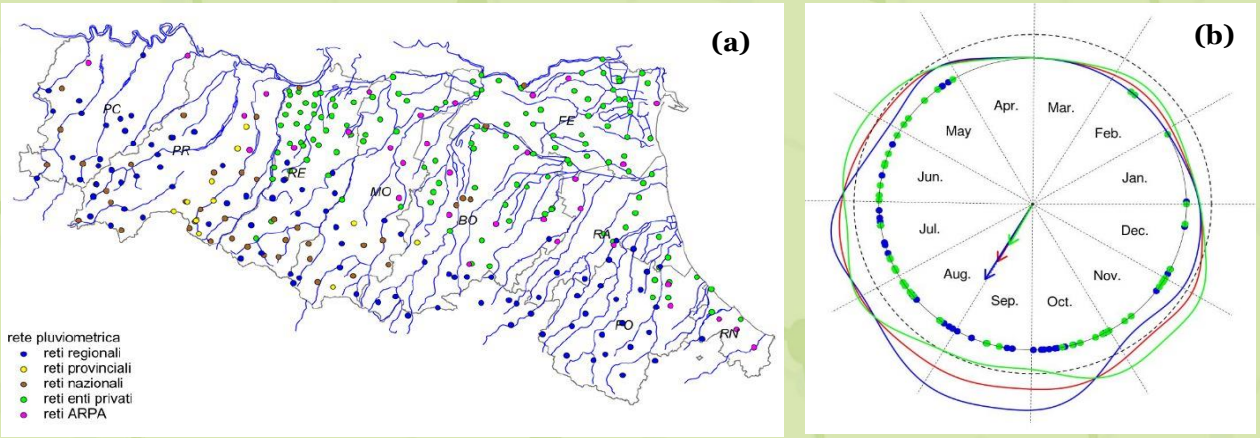


Figura 2. (a) Rete pluviometrica dell'Emilia-Romagna; (b) rappresentazione in coordinate polari delle date di accadimento degli eventi estremi per una stazione pluviometrica di esempio: le curve colorate rappresentano le frequenza relativa di accadimento per diversi periodi di osservazione.

Le analisi condotte hanno evidenziato variazioni statisticamente significative in intensità e stagionalità per alcune serie di precipitazione oraria, più sensibili alle variazioni climatiche rispetto alle durate giornaliere, senza tuttavia rilevare alcun chiaro pattern spaziale. Al tempo stesso, per le serie di portata si è rilevato un significativo e diffuso trend negativo, molto probabilmente legato alle modificazioni antropiche del regime fluviale. Ulteriori analisi hanno evidenziato il significativo incremento delle aree urbanizzate nell'area di studio negli ultimi 40 anni (1975-2014), specialmente nelle aree di pianura e in prossimità del reticolo fluviale (v. anche *Ceola et al.*, 2014). Tali elementi mettono in luce la necessità di approfondire ed estendere ulteriormente le indagini al fine di valutare al meglio l'effettiva incidenza dei cambiamenti climatici sulle variazioni riscontrate nel regime di frequenza degli eventi estremi.

Bibliografia essenziale

Castellarin A., Pistocchi A., (2012) An analysis of change in alpine annual maximum discharges: implications for the selection of design discharges. Hydrological Processes, 26(10), pp. 1517-1526.

Domeneghetti A., Carisi F., Castellarin A., Brath A. (2015) Evolution of flood risk over large areas: Quantitative assessment for the Po river, Journal of Hydrology, 527, pp. 809-823.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it/it

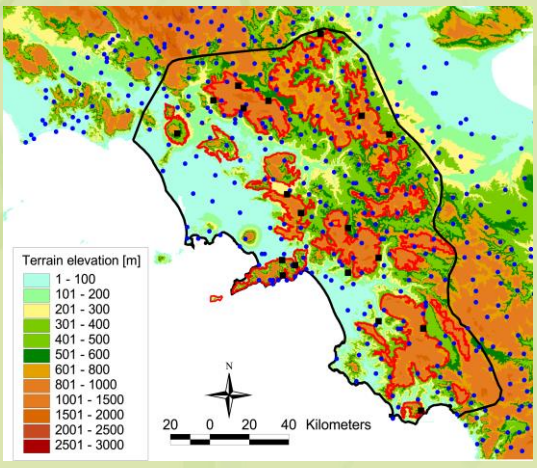
Gruppo di Ricerca

Simone Persiano *simone.persiano@unibo.it*
Alessio Domeneghetti *alessio.domeneghetti@unibo.it*
Armando Brath *armando.brath@unibo.it*
Attilio Castellarin *attilio.castellarin@unibo.it*
Alberto Montanari *alberto.montanari@unibo.it*

07

Statistica idrologica
Effetti orografici nell'analisi degli estremi pluviometrici

Il problema della stima spaziale di campi di precipitazione a partire da informazioni sparse nello spazio è sempre attuale in idrologia ed interessa una grande varietà di applicazioni: analisi idrologiche relative alle costruzioni idrauliche e ingegneristiche, studi di bilancio idrologico nonché sviluppo di sistemi di preannuncio delle piene e di altri fenomeni legati al rischio idrogeologico. L'accuratezza delle stime è connessa alla distribuzione spaziale della rete strumentale, che dovrebbe essere progettata con criteri che tengano conto della topografia di una regione, affinché le misure siano rappresentative dei processi pluviometrici di interesse. Tuttavia, l'esistenza di una forte interazione tra circolazione atmosferica e topografia causa, in prossimità delle aree orografiche, un incremento significativo della quantità delle precipitazioni e un'accentuata variabilità spaziale delle stesse. Quest'ultima circostanza, associata ad una rete pluviometrica storicamente insufficiente e sparsa nelle zone di montagna, rende la quantificazione degli effetti orografici sui campi di precipitazione un compito impegnativo e, talvolta, disatteso con danni sul territorio, specialmente quando le valutazioni si riferiscono ad eventi pluviometrici estremi e agli studi statistici associati. Con riferimento al territorio della regione Campania, *Furcolo et al.* (2016) hanno indagato sugli effetti indotti dalla presenza dell'orografia sulla variabilità spaziale del valor medio della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge giornaliere, $\bar{h}_g$, dimostrando l'inadeguatezza delle tecniche geostatistiche lineari classiche (e.g. Kriging con dati incerti - KUD) nel descrivere il campo di precipitazione in prossimità delle barriere orografiche, così come oggettivamente classificate e identificate da *Cuomo et al.* (2011).



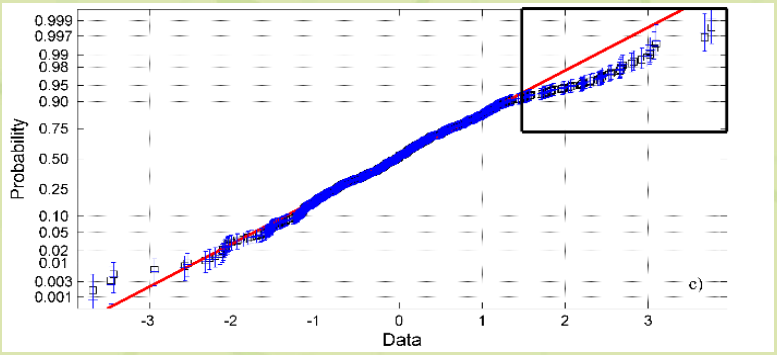


Figura a sinistra: DEM dell'area di studio, con barriere orografiche (linea rossa continua), stazioni pluviometriche (blu) e stazioni "anomale" (neri). Figura in alto: carta probabilistica normale dei residui delle stime spaziali con KUD. Nel riquadro nero in alto le stazioni "anomale" per le quali la procedura KUD fornisce errori di stima particolarmente elevati.

È proprio in prossimità delle aree orografiche, infatti, che si collocano la maggior parte delle anomalie di stima del campo di pioggia $\bar{h}_g$, come evidenziato da un'analisi oggettiva e indipendente sugli errori di stima standardizzati. In particolare, risulta che: (i) circa il 70% delle anomalie sono collocate in aree orografiche, mentre solo meno del 20% dei pluviometri si trovano in queste aree; (ii) circa il 30% dei siti posizionati in aree orografiche sono anomali, contro il 3% individuato altrove.

Esempio Applicativo

IL MODELLO DI AMPLIFICAZIONE OROGRAFICA NELLA STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

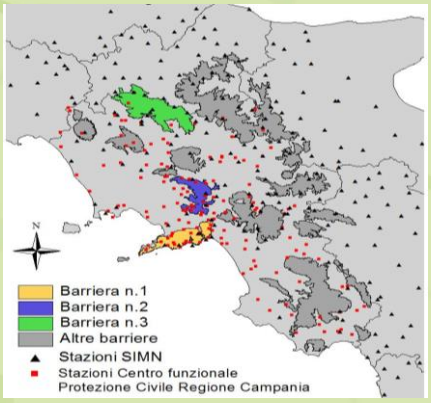
Le portate di piena sono la conseguenza di eventi pluviometrici di rilevante intensità per cui nella valutazione dei deflussi di piena, un ruolo chiave è rivestito dallo studio delle precipitazioni intense. In particolar modo, l'elemento chiave nella stima delle portate di progetto, da utilizzare nel dimensionamento delle opere idrauliche e nella definizione del rischio idraulico da alluvione, è l'analisi statistica degli estremi pluviometrici a diversa durata. Nel seguito, ci si soffermerà, quindi, sugli effetti orografici nella valutazione della media degli massimi annui di pioggia giornaliera e a diversa durata, rispetto alla quale gli effetti orografici appongono una firma distintiva. Il modello proposto da *Pelosi & Furcolo* (2015) ed esteso agli estremi sub-giornalieri, è stato applicato per la stima delle portate di piena in piccoli bacini montani (*Villani et al.*, 2018). In sintesi, si interpreta la media dei massimi annuali delle precipitazioni estreme, come il prodotto di un processo di base debolmente stazionario, $\overline{h'}_d$, da stimare mediante l'applicazione di tecniche geostatistiche lineari (e.g. KUD) alle sole osservazioni site in pianura, e di un fattore di amplificazione, AF, correttivo del processo di base nelle sole aree di barriera, funzione di alcuni indici topografici caratteristici di ciascuna barriera orografica:

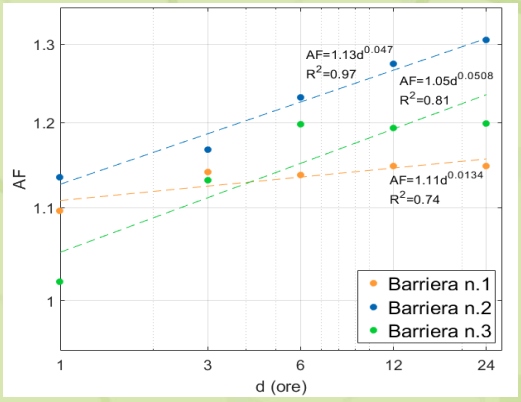
$$\overline{h}_d = \overline{h'}_d AF$$

Nel modello proposto, ciascuna forma orografica nell'area di studio (delimitata in rosso nella Figura di sinistra nel fronte scheda) è trattata come omogenea. Con riferimento a ciascun "oggetto" orografico, sono stati, quindi, calcolati alcuni indici topografici (i.e. esposizione, pendenza media e prominenza). La combinazione ottimale di questi indici topografici da utilizzare come variabili indipendenti per la stima di AF, nel caso delle sole piogge giornaliere è la seguente:

$$\ln(AF) = 0.0796 - 0.221 \cdot \cos\varphi + 0.543 \cdot Sl + 2.532 \times 10^{-5} \cdot P$$

Per quanto concerne le piogge a diversa durata, gli studi sono in corso di completamento, ma per tre barriere di interesse nell'area di studio regionale, scelte in considerazione alla disponibilità dei dati e all'interesse di tali barriere nella difesa dal rischio idrogeologico, si riporta l'andamento di AF con la durata. Tale andamento può essere descritto con una legge di potenza i cui parametri possono essere additivi a quelli delle classiche leggi di potenze utilizzate nelle analisi regionali.





Bibliografia essenziale

Cuomo A., Guida D., Palmieri V. (2011) Digital orographic map of peninsular and insular Italy. Journal of Maps, Vol. 7, pp. 447–463.

Furcolo P., Pelosi A., Rossi, F. (2016) Statistical identification of orographic effects in the regional analysis of extreme rainfall. Hydrological Processes, Vol. 30, pp. 1342–1353.

Pelosi A., Furcolo, P. (2015) An Amplification Model for the Regional Estimation of Extreme Rainfall within Orographic Areas in Campania Region (Italy). Water, Vol. 7, pp. 6877-6891.

Villani P., Rossi F., Pelosi A. (2018) La valutazione delle portate di piena nei piccoli bacini. In: XXXIX Edizione di Tecniche per la Difesa del Suolo e dall'Inquinamento.

C.U.G.RI.
Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi RIschi
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"

https://www.diciv.unisa.it

Gruppo di Ricerca

Pierluigi Furcolo — *p.furcolo@unisa.it*
Anna Pelosi — *apelosi@unisa.it*
Fabio Rossi — *f.rossi@unisa.it*
Paolo Villani — *p.villani@unisa.it*

REGIONALIZZAZIONE GEOSTATISTICA: TOP-KRIGING

Tra i metodi di stima delle variabili idrologiche per sezioni fluviali non strumentate, le tecniche di regionalizzazione statistica sono ad oggi quelle più comunemente usate. La letteratura recente ha evidenziato il significativo potenziale delle tecniche basate sul *kriging* per la stima di diversi indici di deflusso (v. ad es. *Skøien et al.*, 2006*; Castiglioni et al.*, 2011*; Pugliese et al.*, 2014). Tali metodi non necessitano di una preliminare identificazione di raggruppamenti omogenei di bacini e permettono la stima di una "variabile regionalizzata" in punti in cui essa non è nota a priori a partire da più campioni di dati distribuiti su tutto il dominio di interpolazione. Il *kriging* produce previsioni di variabili idrologiche in siti non strumentati attraverso una media ponderata delle informazioni empiriche raccolte nelle stazioni di misura poste nelle vicinanze del sito di interesse. Tra tutte le tecniche a base geostatistica, il *Topological-kriging*, o *Top-kriging* (v. *Skøien et al.*, 2006) ha dimostrato un'elevata precisione di stima e un'eccellente adattabilità a una varietà di applicazioni legate alla previsione di diverse variabili idrologiche: indici di magra (*Castiglioni et al.*, 2009), temperature dei corsi d'acqua (*Laaha et al.*, 2013), quantili di piena (*Alfieri et al.*, 2013), curve di durata delle portate (*Castellarin*, 2014; *Pugliese et al.*, 2014, 2016), deflussi giornalieri (*Parajka et al.*, 2015) e ricostruzione delle serie storiche di portata (*Farmer*, 2016).

A differenza delle tecniche tradizionali di *kriging*, il *Top-kriging* assume che la variabile regionalizzata sia a supporto non puntuale, ovvero che il supporto abbia un'estensione areale finita. Secondo tale approccio, il supporto coincide proprio con il bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura di un corso d'acqua per la quale si hanno a disposizione dati di portata (v. Fig. 1a). Recenti studi hanno dimostrato, infatti, che il *Top-Kriging* può essere ritenuto uno dei migliori approcci all'interpolazione di variabili idrometriche, proprio perché esiste una correlazione tra deflusso superficiale misurato in una determinata sezione fluviale e l'estensione del bacino sotteso da quella sezione. Infatti, nella determinazione dei pesi geostatistici da usare per l'interpolazione, tale metodo considera fondamentale l'influenza delle dimensioni delle aree e della struttura annidata dei bacini lungo il reticolo (v. Fig. 1b).

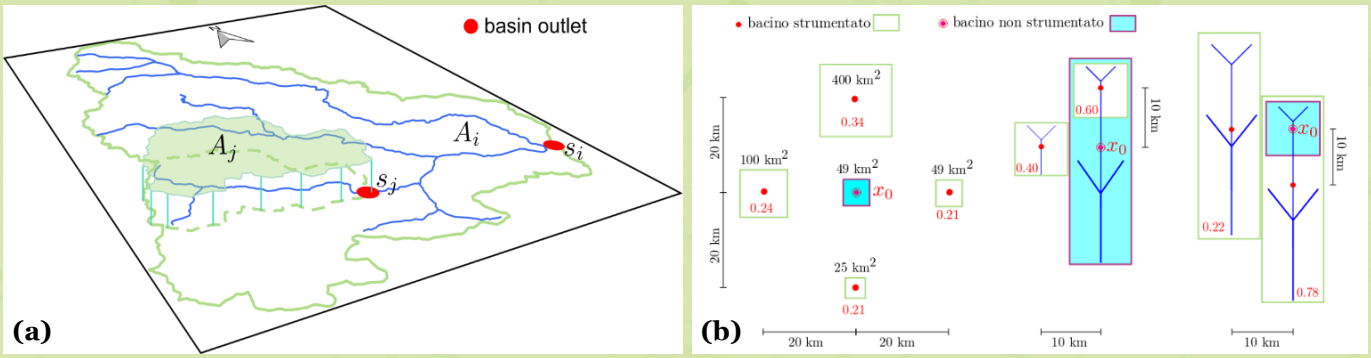


Figura 1. (a) Sovrapposizione di bacini idrografici annidati di diversa estensione; (b) effetto sui ponderatori (o pesi geostatistici, numeri in rosso) della dimensione dei supporti areali e della struttura annidata dei bacini.

Esempio Applicativo

CURVE DI DURATA DELLE PORTATE IN BACINI NON STRUMENTATI

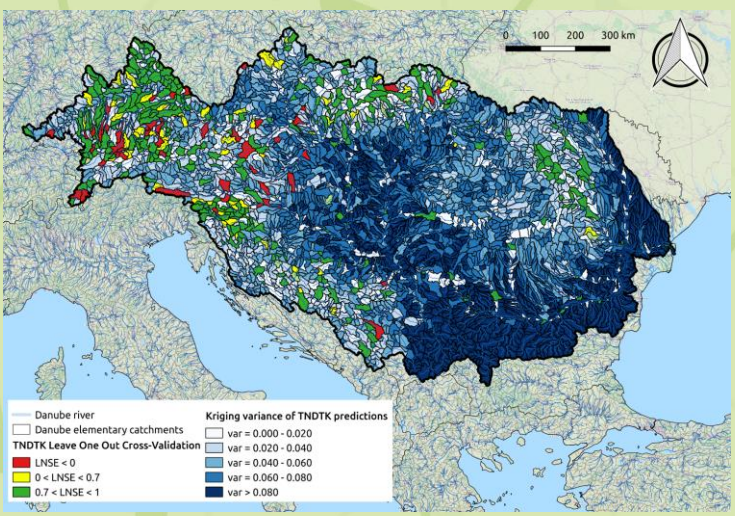


Figura 2. Accuratezza di previsione (LNSE) e varianza di stima (var) nei bacini elementari dell'area di studio del Danubio, rispettivamente strumentati e non.

Studio condotto in collaborazione con il *Joint Research Centre* (JRC) e finalizzato alla valutazione della disponibilità idrica superficiale nel bacino idrografico del Danubio (v. *Castellarin et al.*, 2018). Nell'ambito del lavoro di ricerca è stato sviluppato un modello in grado di stimare le curve di durata delle portate in corrispondenza di circa 4000 sezioni fluviali non strumentate, a partire dai dati di portata registrati presso circa 500 stazioni di misura.

Le procedure di cross-validazione condotte hanno consentito di verificare le elevate prestazioni del *Top-kriging* nella previsione delle curve di durata.

MIGLIORAMENTO GEOSTATISTICO DI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

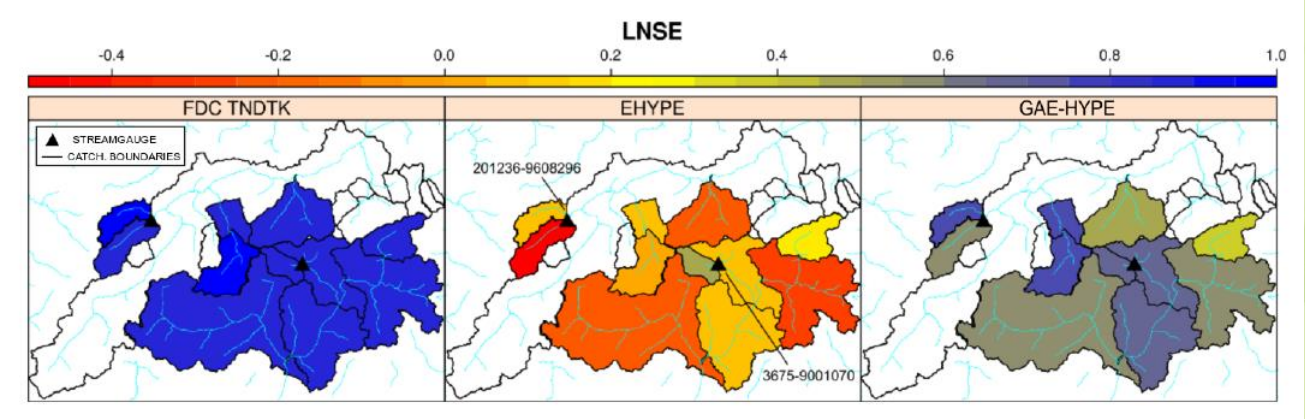


Figura 3. Confronto dell'indice di accuratezza previsionale per il modello afflussi-deflussi a macro-scala E-HYPE prima e dopo l'applicazione della procedura di assimilazione geostatistica.

Esperimento condotto nell'ambito del progetto europeo FP7 SWITCH-ON (http://www.water-switch-on.eu) e volto allo sviluppo e verifica di una tecnica a base geostatistica per il miglioramento locale di previsione dei deflussi simulati da modelli idrologici afflussi-deflussi a macro-scala (o scala globale), senza ricorrere a nuove calibrazioni del modello (v. *Pugliese et al.*, 2018). La procedura utilizza il *Top-kriging* per stimare curve di durata nelle sezioni presso le quali si vuole applicare la correzione. Nel caso studio del Tirolo si è visto che il miglioramento è ottenuto in tutti gli 11 siti considerati (v. ad es. Fig. 3).

Bibliografia essenziale

Castellarin A., Persiano S., Pugliese A., Aloe A., Skøien J.O., Pistocchi A. (2018) Prediction of streamflow regimes over large geographical areas: interpolated flow–duration curves for the Danube region, Hydrological Sciences Journal, 63:6, pp. 845-861.

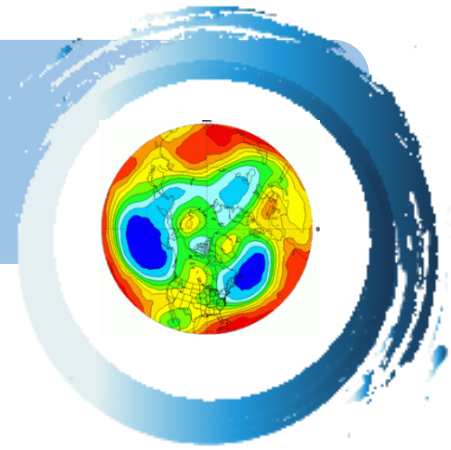
Pugliese A., Persiano S., Bagli S., Mazzoli P., Parajka J., Arheimer B., Capell R., Montanari A., Blöschl G., Castellarin A. (2018) A geostatistical data-assimilation technique for enhancing, Hydrology and Earth System Sciences, [in stampa].

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it/it

Gruppo di Ricerca

Alessio Pugliese alessio.pugliese3@unibo.it
Simone Persiano simone.persiano@unibo.it
Armando Brath armando.brath@unibo.it
Alberto Montanari alberto.montanari@unibo.it
Attilio Castellarin attilio.castellarin@unibo.it

MODELLI METEOROLOGICI



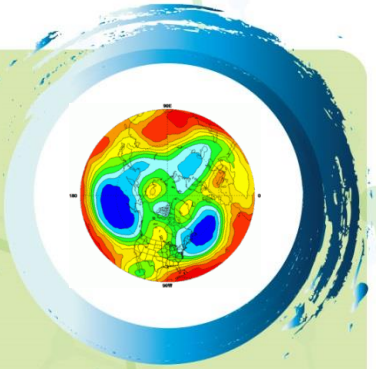
AFFIDABILITÀ DELLE PREVISIONI

USO DI MODELLI ENSEMBLE PER LA PREVISIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

Affidabilità delle previsioni



L'affidabilità e l'utilità di un sistema di previsione delle piene in bacini idrografici soggetti a rischio di esondazione, sono strettamente legate alla precisione delle previsioni di precipitazione. Le sole osservazioni di pioggia non consentono infatti di sfruttare a pieno un modello idrologico, per cui le previsioni di precipitazione (*QPFs*) fornite da uno o più modelli numerici di previsione (*NWP*), se utilizzate come dati di ingresso per il medesimo modello idrologico, forniscono le corrispondenti previsioni in tempo reale di portata e livello idrometrico nelle sezioni fluviali di interesse. In particolare, le previsioni di livello in una determinata sezione risultano importanti nella stima del superamento di un sistema di soglie idrometriche articolato su due livelli di criticità, "moderata" ed "elevata" oltre che ordinaria, a seguito del quale è necessario attivare le procedure di protezione civile previste, come riportato nella "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - 27 /02/ 2004".
Per affrontare le incertezze dei modelli idrologici e meteorologici vengono adottate tecniche di previsione definite *d'ensemble* (e.g. *Single system*, *Multiple system multi-model*, *Lagged avarage*), al fine di aggiungere informazioni probabilistiche nelle previsioni. L'incertezza associata alle previsioni meteorologiche può propagarsi nel modello idrologico che fornisce così una stima dell'incertezza associata in termini di portata e livelli previsti. Lo scopo delle previsioni d'ensemble è fornire un dettagliato scenario di possibili stati meteorologici futuri, quantitativamente coerenti con le limitazioni note del sistema, come l'incertezza delle condizioni iniziali.
All'interno di tale procedura, risulta di fondamentale importanza la verifica dell'attendibilità delle previsioni meteorologiche, che consiste nel confronto tra il dato di pioggia effettivamente registrato dalla stazione meteorologica e il valore previsto dal modello meteo. Considerando solo previsioni di tipo categorico per eventi discreti, ed in particolare previsioni *dicotomiche* (per le quali si possono verificare soltanto due possibilità: "SI", "NO"), il primo passo per effettuare tale verifica di affidabilità consiste nel compilare la seguente tabella di contingenza costruita una volta fissata una specifica soglia di precipitazione:

		Osservato		
		SI	*NO*	
Previsto	*SI*	Hits	False Alarms	*previsti SI*
	NO	Misses	Corret Rejections	*previsti NO*
		osservati SI	*osservati NO*	

Per valutare la fondatezza di un set di previsione meteorologica si ricorre al calcolo di alcuni indici scalari, globalmente definiti dalla *World Meteorological Organization*, che rendono intuitiva la fase di analisi:

$$BIAS = \frac{Hits + False\ Alarms}{Hits + Misses} \qquad PC = \frac{Hits + Correct\ Rejections}{N} \qquad FAR = \frac{False\ Alarms}{Hits + False\ Alarms} \qquad HSS = \frac{Hits + Correct\ Rejection - Correct_{random}}{N - Correct_{random}}$$

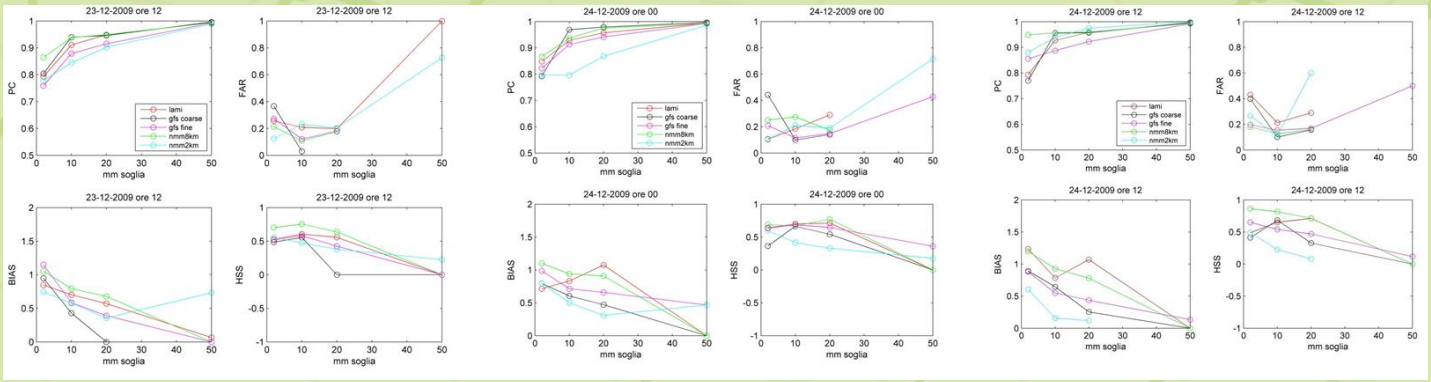
Dove N è la numerosità del campione e $correct_{random} = \frac{1}{N}(oss.SI \cdot prev.SI + oss.NO \cdot prev.NO)$

Esempio Applicativo

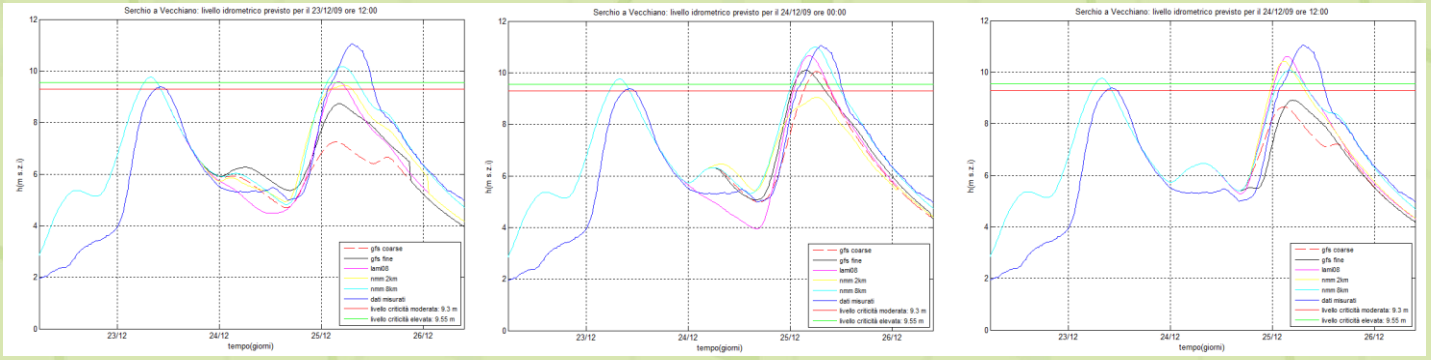
AFFIDABILITÀ NELLA PREVISIONE DEI LIVELLI IDROMETRICI.
CASO STUDIO: EVENTO DEL 2009 NEL BACINO DEL FIUME SERCHIO.

Obiettivo dello studio è stato l'analisi dell'affidabilità del sistema di previsione idrometeorologico, in uso presso il centro funzionale della Regione Toscana, in merito all'evento di piena del 25/12/2009 avvenuto nel bacino del Fiume Serchio, in particolare nella zona di Lucca.

1) Verifica delle previsioni meteorologiche di 5 modelli di previsione (*Cosmo Lami*, *Nmm 2km resolution*, *Nmm 8km resolution*, *Gfs Fine*, *Gfs Coarse*), derivanti dalle simulazioni del 23/12/2009 alle ore 12:00, 24/12/2009 ore 00:00 e 24/12/2009 ore 12.00.
   La verifica è stata effettuata su quattro diversi valori di soglia pluviometrica fissati a 2, 10, 20 e 50 mm.



2) Verifica dell'affidabilità dei 5 modelli previsionali in merito all'allarme di criticità moderata ed elevata nel superamento delle soglie idrometriche per la sezione di Vecchiano (LU), utilizzando i risultati del modello di bilancio idrologico distribuito MOBIDIC, in uso presso il Centro Funzionale della Regione Toscana.



Le analisi confermano la bontà del modello idrologico anche in modalità di bilancio in tempo reale, utilizzando i dati provenienti dai modelli previsionali. Il modello di previsione più affidabile è risultato l'NMM - 8km, che ha fornito dati di preallarme di criticità moderata ed elevata sempre in anticipo rispetto alla realtà.

Bibliografia essenziale

Autorità di Bacino del Fiume Serchio. Report sull'evento alluvionale registrato nei giorni 24-25 Dicembre . 2009 nel Bacino del Fiume Serchio. 29 Gennaio 2010.

World Meteorological Organization. Racommendations for the Verification and Intercomparison of QPFS and PQPFS from Operational NWP Models. Ottobre 2008.

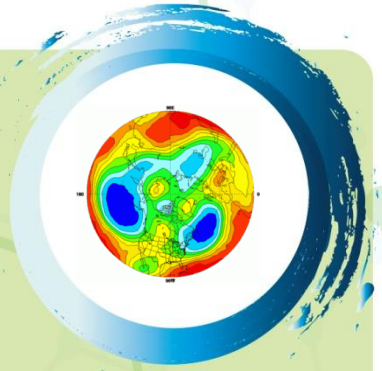
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Matteo Pampaloni — *matteo.pampaloni@dicea.unifi.it*
Fabio Castelli — *fabio.castelli@unifi.it*
Enrica Caporali — *enrica.caporali@unifi.it*

Modelli meteorologici
Uso di modelli ensemble per la previsione dell'evapotraspirazione



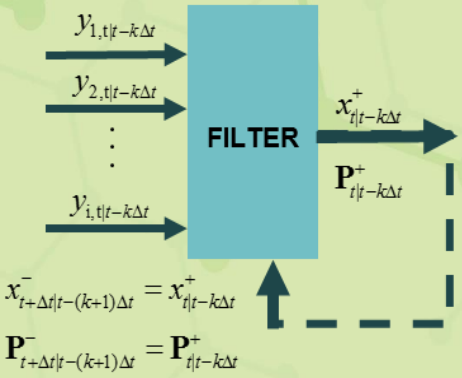
Negli ultimi decenni i sistemi di previsione meteorologica di tipo probabilistico, noti come *ensemble prediction systems*, hanno avuto un notevole sviluppo, incoraggiandone l'uso nel campo dell'idrologia applicata, dalla prevenzione dei rischi connessi ad eventi estremi alla gestione delle risorse idriche. Studi recenti hanno, ad esempio, mostrato come le previsioni meteorologiche di tipo ensemble, possono essere efficacemente adottate per la previsione dell'evapotraspirazione con un anticipo fino a 7 giorni (*Pelosi et al.*, 2016; *Medina et al.*, 2018). I principali vantaggi nell'uso di siffatti modelli riguardano la possibilità di quantificare il grado di incertezza associato alla previsione, risultando un valido supporto nei sistemi decisionali.

La qualità delle previsioni dipende, tra gli altri fattori, dalla presenza di alcuni errori sistematici, la cui correzione è possibile, in presenza di osservazioni, con algoritmi statistici di post-processing dei dati. A tal proposito, per la correzione dei dati meteorologici di tipo ensemble, è stato sviluppato un algoritmo detto AEMOS (Adaptive Ensemble MOS – *Pelosi et al.*, 2017), basato sull'applicazione congiunta della tecnica MOS (Model Output Statistics), nella quale le variabili di output del modello vengono usate come predittori per correggere l'errore di previsione, e del filtro di Kalman, che consente una correzione sequenziale dei parametri della legge regressiva di correzione. L'algoritmo può essere, quindi, utilizzato in assenza di serie storiche osservate e ben si adatta alle non stazionarietà climatiche, stagionali ed eventuali.
La principale innovazione della tecnica proposta consiste nel trattare i membri dell'ensemble come osservazioni multiple dello stato del sistema e processarle simultaneamente secondo una innovativa architettura in parallelo del filtro di Kalman, in grado di sfruttare tutte le informazioni contenute nell'ensemble.

$$\mathbf{x}_{t|t-k\Delta t} = \mathbf{x}_{t-\Delta t|t-(k+1)\Delta t} + \mathbf{v}_{t-\Delta t} \qquad \mathbf{v}_{t-\Delta t} \sim \mathrm{N}\left(0, \mathbf{Q}_{t-\Delta t}\right) \quad (1)$$

$$y_{t|t-k\Delta t} = \mathbf{h}_{t|t-k\Delta t} \cdot \mathbf{x}_{t-\Delta t|t-(k+1)\Delta t} + \eta_t \qquad \eta_t \sim \mathrm{N}\left(0, R_t\right) \quad (2)$$

Data l'equazione MOS: $y_{t|t-k\Delta t} = x_{0,t} + x_{1,t} z_{t|t-k\Delta t}$, dove y è l'errore di previsione e z la variabile di output del modello, lo stato del sistema è rappresentato dai coefficienti di regressione x_0 e x_1, la cui dinamica evolutiva è data dall'Equazione (1), mentre l'equazione dell'osservazione è data dall'Equazione (2) con $\mathbf{h}_{t|t-k\Delta t} = \left[1, z_{t|t-k\Delta t}\right]$.

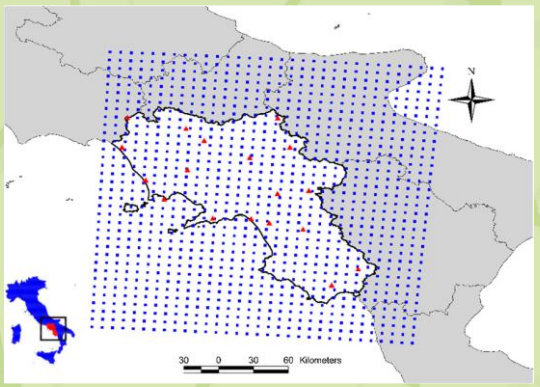


Nell'esempio applicativo, si mostrano le performance di diversi modelli meteorologici ensemble per diverse aree del globo nelle previsioni di evapotraspirazione di riferimento: i) per la regione Campania (Italia), si fa riferimento al modello COSMO-LEPS che è un esempio di modello meteorologico probabilistico di tipo regionale (ad area limitata), messo a punto dal Servizio IdroMeteo di Arpa Emilia-Romagna, ii) per gli USA, sono messi a confronto i tre modelli meteorologici probabilistici globali dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), del National Centers for Environmental Prediction Global Forecast System (NCEP) e dell' UnitedKingdom Meteorological Office (Met Office, MO).

Esempio Applicativo

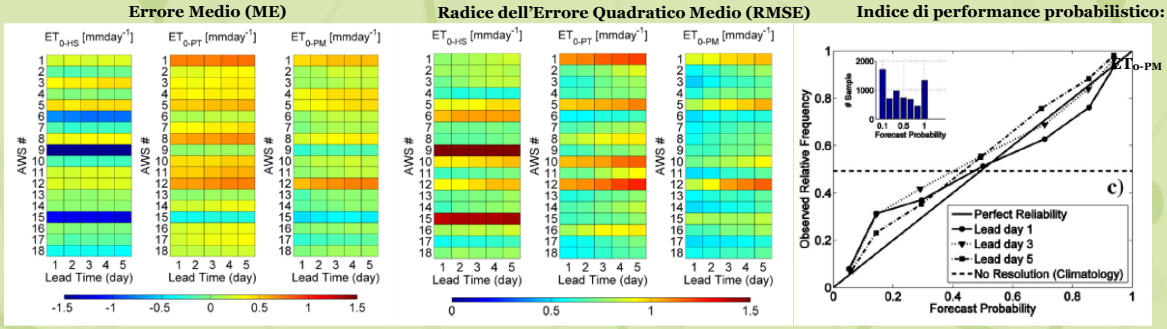
USO DI PREVISIONI METEOROLOGICHE PROBABILISTICHE PER LA PREVISIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE DI RIFERIMENTO

Caso studio n.1: Regione Campania (Italia), *Pelosi et al.* (2016)



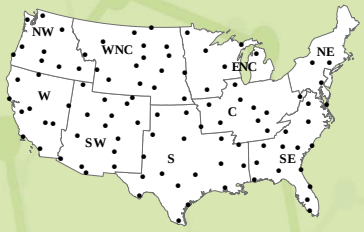
Le previsioni meteorologiche del modello COSMO-LEPS (orizzonte temporale di previsione: 5 giorni; risoluzione spaziale della griglia numerica - in blu: 7 km; numero di membri dell'ensemble: 16 ma 20, dal 2016) sono state validate presso 18 stazioni meteorologiche (in rosso), con standard WMO, del territorio regionale campano nelle stagioni irrigue degli anni 2013-2015.
Presso le stesse stazioni si sono valutate le performance associate all'uso delle previsioni stesse per la stima dell'evapotraspirazione (ET_0), calcolata con tre formule: 1) Hargreaves-Samani (HS), 2) Priestley-Taylor (PT) e 3) FAO Penman-Monteith (PM).

Errore Medio (ME) — **Radice dell'Errore Quadratico Medio (RMSE)** — **Indice di performance probabilistico: *reliability diagram***

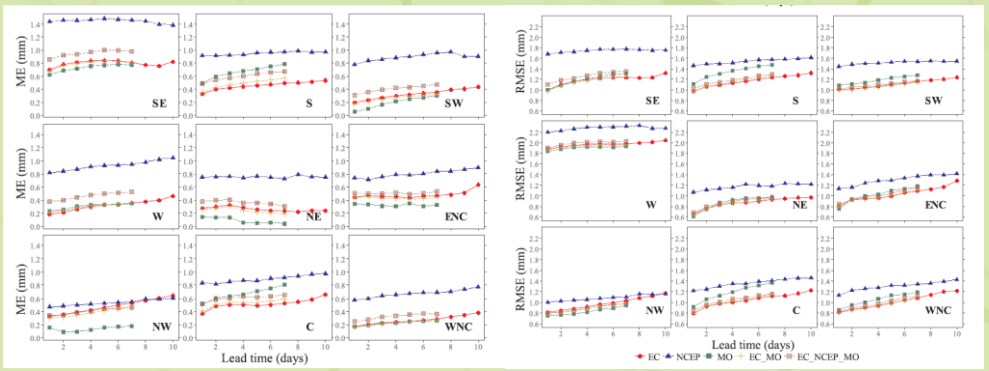


Le previsioni di ET_0 si presentano robuste e affidabili fino all'orizzonte di previsione di 5 giorni. Formule semplificate come HS e PT risentono fortemente degli errori relativi all'unica variabile meteo da cui dipendono, i.e. temperatura e radiazione solare rispettivamente. La radiazione solare è la principale fonte di errore per $ET_{O\text{-}PM}$.

Caso studio n.2: Stati Uniti d'America, *Medina et al.* (2018)



Il modello dell'ECMWF fornisce le performance di previsione migliori.



Bibliografia essenziale

Medina H., Tian D., Srivastava P., Pelosi A., Chirico G.B. (2018) Medium-range reference evapotranspiration forecasts for the contiguous United States based on multi-model numerical weather prediction. Journal of Hydrology, Vol. 562, pp. 502-517.

Pelosi A., Medina H., Villani P., D'Urso G., Chirico G.B., (2016) Probabilistic forecasting of reference evapotranspiration with a limited area ensemble prediction system. Agricultural Water Management, Vol. 178, pp. 106–118.

Pelosi A., Medina H., Van den Bergh J., Vannitsem S., Chirico G.B. (2017) Adaptive Kalman filtering for post-processing ensemble numerical weather predictions. Monthly Weather Review, Vol. 145, n. 12, pp. 4837-4854.

C.U.G.RI.
Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi RIschi
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"

https://www.diciv.unisa.it/

Gruppo di Ricerca

Paolo Villani p.villani@unisa.it
Anna Pelosi apelosi@unisa.it

PREVISIONE DELLE PIOGGE

MODELLISTICA INTEGRATA STOCASTICA-METEO

I MODELLI STOCASTICI

11 Previsione delle piogge
Modellistica integrata stocastica-meteo

Descrizione

Il PRAISE-ME (Prediction of Rainfall Amount Inside Storm Events with MEteo) è un modello stocastico temporale, integrato in maniera bayesiana con una modellistica meteorologica, per la previsione in tempo reale delle altezze di pioggia relative ad una assegnata stazione pluviometrica. La previsione viene effettuata tenendo conto delle precipitazioni antecedenti registrate dal pluviometro, e delle previsioni da modello meteorologico relative alla cella spaziale contenente la stazione. L'applicazione del PRAISE-ME è particolarmente utile per la previsione di scrosci di pioggia improvvisi, caratterizzati da precipitazione antecedenti nulla, e per i quali l'uso di un modello tipo PRAISE fornirebbe percentili di pioggia prossimi allo zero.

Figura 1. Schema di funzionamento del modello PRAISE-ME

Calibrazione del modello

Per la calibrazione del modello PRAISE-ME è necessario disporre di serie storiche continue di campi di precipitazione con risoluzione oraria o suboraria (dati da rete pluviometrica) e una banca dati storica di output da modello meteorologico, con dimensioni campionarie pari ad almeno 10 anni. Gli aspetti cruciali della calibrazione sono: i) l'individuazione della memoria temporale del processo; ii) la definizione matematica delle variabili casuali a supporto dell'altezza di precipitazione da prevedere; iii) la scelta della forma analitica da assegnare alla distribuzione di probabilità condizionata, che sarà utilizzata per la previsione in tempo reale, e la metodologia di stima parametrica.

Per maggiori dettagli si rimanda a De Luca (2013) e De Luca & Versace (2010).

Utilizzo in tempo reale del modello

PRAISE-ME consente di valutare, al tempo attuale t_0, la distribuzione di probabilità delle altezze di pioggia che potranno verificarsi negli intervalli temporali successivi, sulla base dell'andamento delle precipitazioni passate e delle previsioni da modello meteo.

Può integrarsi con qualsiasi altro modello di simulazione di eventi idrologici che richieda, come dati di ingresso, le altezze di pioggia, in modo da costituire un più complessivo modello integrato di preannuncio da utilizzare per scopi di protezione civile.

Esempio Applicativo

APPLICAZIONI DEL MODELLO PRAISE-ME

Si illustra di seguito un esempio di applicazione del PRAISE-ME, relativo all'evento del 6 dicembre 2002 per la stazione pluviometrica di Cosenza (CS), avente le seguenti caratteristiche:

- l'estensione della memoria del processo copre l'intervallo temporale 4:00-12:00, con pioggia nulla registrata;
- il periodo di previsione va dalle ore 12:00 alle ore 18:00, all'interno del quale vi è una previsione di pioggia positiva restituita dal modello meteo MM5;

La Figura 2 mostra chiaramente che le previsioni del PRAISE-ME sono migliori rispetto a quelle ottenute con il modello PRAISE. Il PRAISE-ME, infatti, fornisce intervalli di confidenza che contengono la pioggia osservata nell'intervallo temporale di previsione.

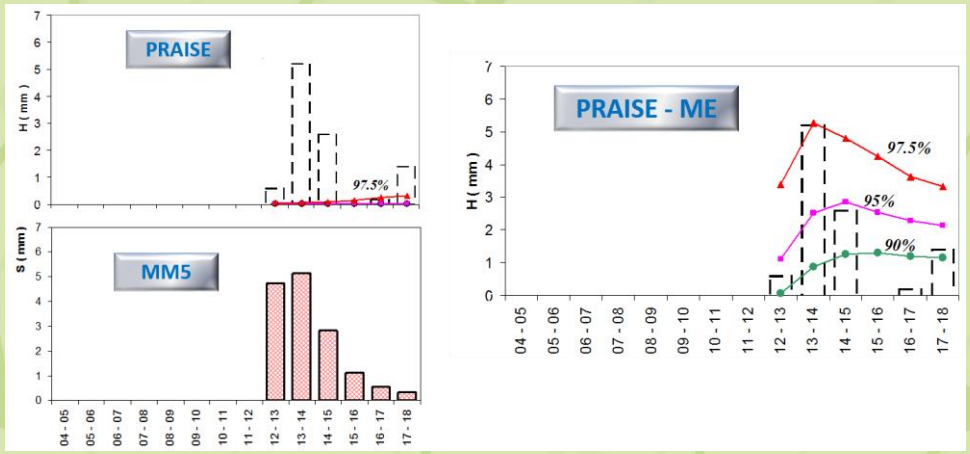


Figura 2. Applicazione del Modello PRAISE-ME per l'evento del 6 dicembre 2002 - stazione di Cosenza (CS).

Il modello PRAISE è stato utilizzato nell'ambito della Convenzione con il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile dal titolo ""*Sviluppo modelli matematici finalizzati alla identificazione di livelli di criticità da evento in atto o da evento previsto in diverse aree di allertamento del territorio nazionale*" (Data sottoscrizione 06/10/2006, repertorio n. 607), per le Aree di Allertamento Moli_a e Basi_b. In Figura 3 si riporta l'interfaccia realizzata nell'ambito di tale progetto.

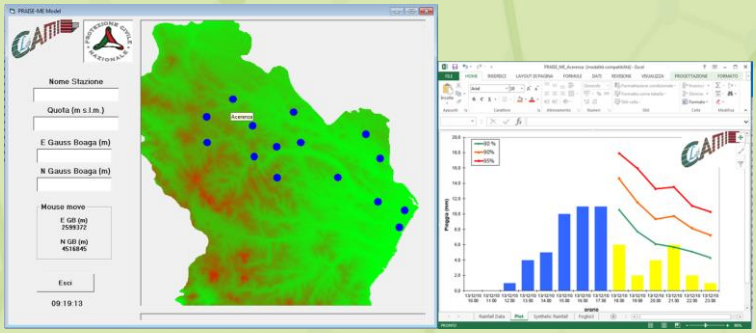


Figura 3. Interfaccia del PRAISE-ME – applicazione all'Area di Allertamento Basi_b

Bibliografia essenziale

De Luca D.L. (2013) Rainfall Nowcasting Models for Early Warning Systems. (Ed. T.W.S. Wong), Nova Publishers. (https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=37699)

De Luca D.L.; Versace P. (2010) Stochastic models for rainfall nowcasting. Proceedings of STAHY 2010 International Workshop on Advances in Statistical Hydrology, Taormina, 23-25 May 2010, edited by University of Catania and IAHS.

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — linoversace@libero.it

Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it

http://www.unical.it

Previsione delle piogge

I modelli stocastici

Descrizione

Sono stati realizzati i modelli stocastici PRAISE (Prediction of Rainfall Amount Inside Storm Events) e PRAISEST (Prediction of Rainfall Amount Inside Storm Events: Space and Time), rispettivamente di tipo puntuale e spazio-temporale, per la previsione in tempo reale delle altezze di pioggia relative ad una assegnata stazione pluviometrica o una cella di un dominio spaziale discretizzato.

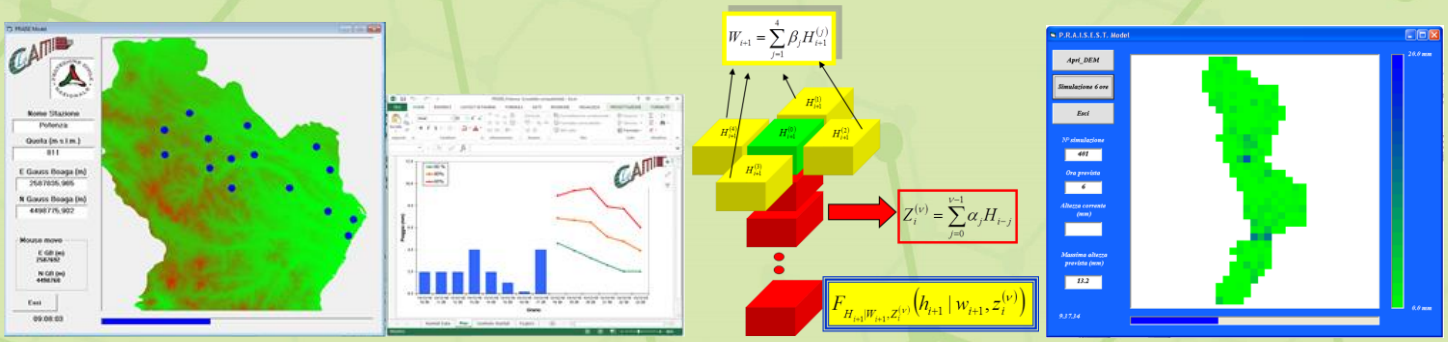


Figura 1. Interfacce dei modelli PRAISE e PRAISEST

Calibrazione dei modelli

Per la calibrazione dei modelli PRAISE e PRAISEST è necessario disporre di serie storiche continue di campi di precipitazione con risoluzione oraria o suboraria (dati da rete pluviometrica oppure serie da radar) con una dimensione campionaria pari ad almeno 10 anni. Gli aspetti cruciali della calibrazione sono:

i) l'individuazione della memoria temporale del processo;
ii) la definizione matematica delle variabili casuali a supporto dell'altezza di precipitazione da prevedere;
iii) la scelta della forma analitica da assegnare alla distribuzione di probabilità condizionata, che sarà utilizzata per la previsione in tempo reale, e la metodologia di stima parametrica.

Per maggiori dettagli si rimanda a Sirangelo et al. (2007), Versace et al. (2009) e De Luca (2013).

Utilizzo in tempo reale del modello

I modelli consentono di valutare, al tempo attuale t_0, la distribuzione di probabilità delle altezze di pioggia che potranno verificarsi negli intervalli temporali successivi, sulla base dell'andamento delle precipitazioni passate e di quelle circostanti.
PRAISE e PRAISEST possono integrarsi con qualsiasi altro modello di simulazione di eventi idrologici che richieda, come dati di ingresso, le altezze di pioggia, in modo da costituire un più complessivo modello integrato di preannuncio da utilizzare per scopi di protezione civile.
Il modello PRAISE è stato utilizzato nell'ambito di una Convenzione con il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile dal titolo ""*Sviluppo modelli matematici finalizzati alla identificazione di livelli di criticità da evento in atto o da evento previsto in diverse aree di allertamento del territorio nazionale*" (Data sottoscrizione 06/10/2006, Repertorio n. 607), per quanto riguarda le Aree di Allertamento Moli_a e Basi_b.

Esempio Applicativo

APPLICAZIONI DEI MODELLI PRAISE E PRAISEST

La Figura 2 mostra l'output del modello PRAISE in riferimento all'evento del 12-13 Dicembre 2008, per la stazione pluviometrica di Montalto Uffugo (CS). La pioggia giornaliera registrata il 13 Dicembre 2008 è stata di 175.8 mm, a cui corrisponde un periodo di ritorno T di circa 180 anni.
Nell'applicazione, l'estensione della memoria del processo è dalle ore 18:00 del 12 Dicembre alle ora 2 del 13 Dicembre, mentre l'intervallo di previsione va dalle ore 2:00 alle ore 8:00. La pioggia effettivamente verificatasi è stata confrontata con i percentili 80%, 90% e 95% delle distribuzioni di probabilità associate ad ogni intervallo orario di previsione; dal confronto si evidenzia la capacità del modello P.R.A.I.S.E. di identificare intervalli di confidenza che includono le altezze di pioggia successivamente misurate.

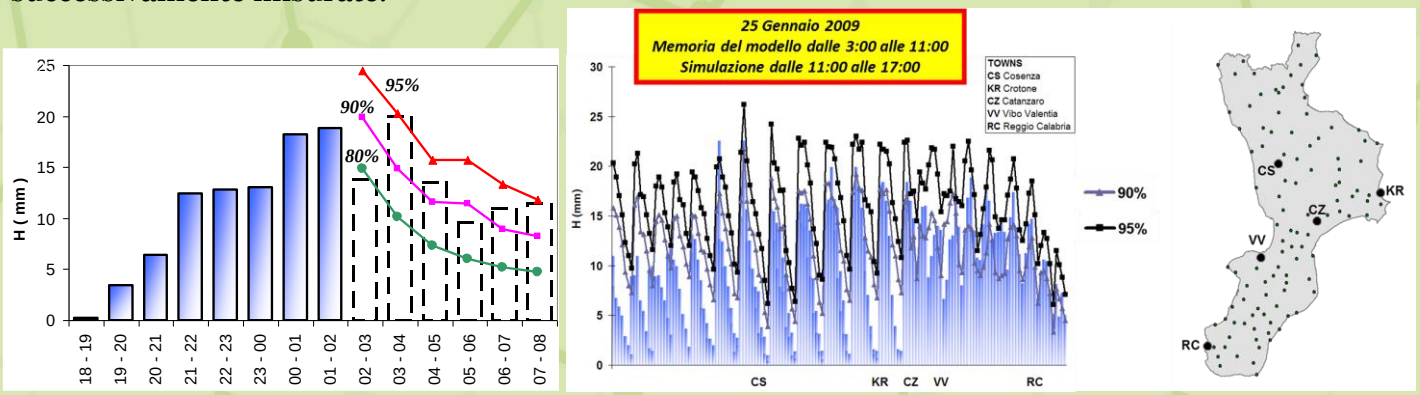


Figura 2. A sinistra: applicazione del Modello P.R.A.I.S.E. per l'evento 12-13 Dicembre 2008 – stazione pluviometrica di Montalto Uffugo (CS). A destra: applicazione del modello PRAISEST per l'evento pluviometrico del 25 Gennaio 2009.

Sempre in Figura 2 si mostra l'output del modello PRAISEST in riferimento all'evento pluviometrico del 25 Gennaio 2009. In tale data, si verificò una frana lungo l'autostrada A3 "Salerno – Reggio Calabria" nei pressi del comune di Rogliano (CS) e persero la vita due persone.
Per questo evento pluviometrico, i campi di precipitazione dalle ore 3:00 alle ore 11:00 sono stati utilizzati come memoria del processo, mentre il periodo temporale tra le ore 11:00 e le ore 17:00 è stato considerato per le simulazioni (tale periodo di simulazione è caratterizzato dalla maggiore pioggia cumulata in 6 ore in relazione all'evento analizzato).
Nel grafico cartesiano rappresentato in Figura 2, lungo l'asse delle ascisse le celle sono geograficamente ordinate da Ovest ad Est, partendo da Nord verso Sud: seguendo dunque l'asse, si incontrano nell'ordine le celle contenenti le città di Cosenza (CS), Crotone (KR), Catanzaro (CZ), Vibo Valentia (VV) e Reggio Calabria (RC).
Sempre in Figura 2, per ogni cella si riportano le altezze di pioggia osservate, cumulate in 6 ore, nonché i percentili 90% e 95% delle distribuzioni di probabilità.
Dall'analisi dei risultati si evince la capacità del modello PRAISEST di identificare intervalli di confidenza che includono le altezze di pioggia successivamente misurate.

Bibliografia essenziale

De Luca D.L. (2013) Rainfall Nowcasting Models for Early Warning Systems. (Ed. T.W.S. Wong), Nova Publishers.

Sirangelo B.; Versace P.; De Luca D.L. (2007). Rainfall Nowcasting by at site stochastic model PRAISE. Hydrology and Earth System Sciences, 11: 1341 - 1351.

Versace P.; Sirangelo B.; De Luca D.L. (2009). A space-time generator for rainfall nowcasting: the PRAISEST model. Hydrology and Earth System Sciences, 13(4): 441-452

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — linoversace@libero.it

Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it

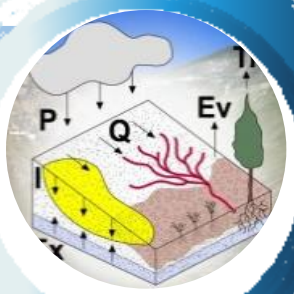
Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

MODELLI

AFFLUSSI-DEFLUSSI



ASSIMILAZIONE DATI

IL BFS PER LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA SPEDITIVA

GEOFRAME-NEWAGE BRIMS

MOBIDIC

IL MODELLO NASP

IL MODELLO RISE

IL MODELLO TRI.MO.TI.S

IL MODELLO WRROOM

PREVISIONE DELLE PIENE

SCELTA E PARAMETRIZZAZIONE

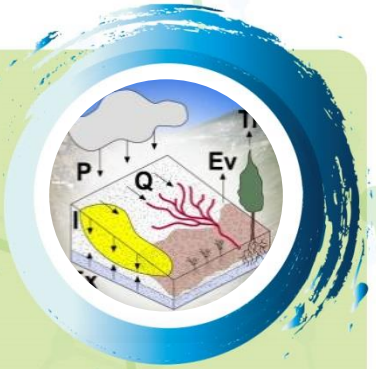
CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

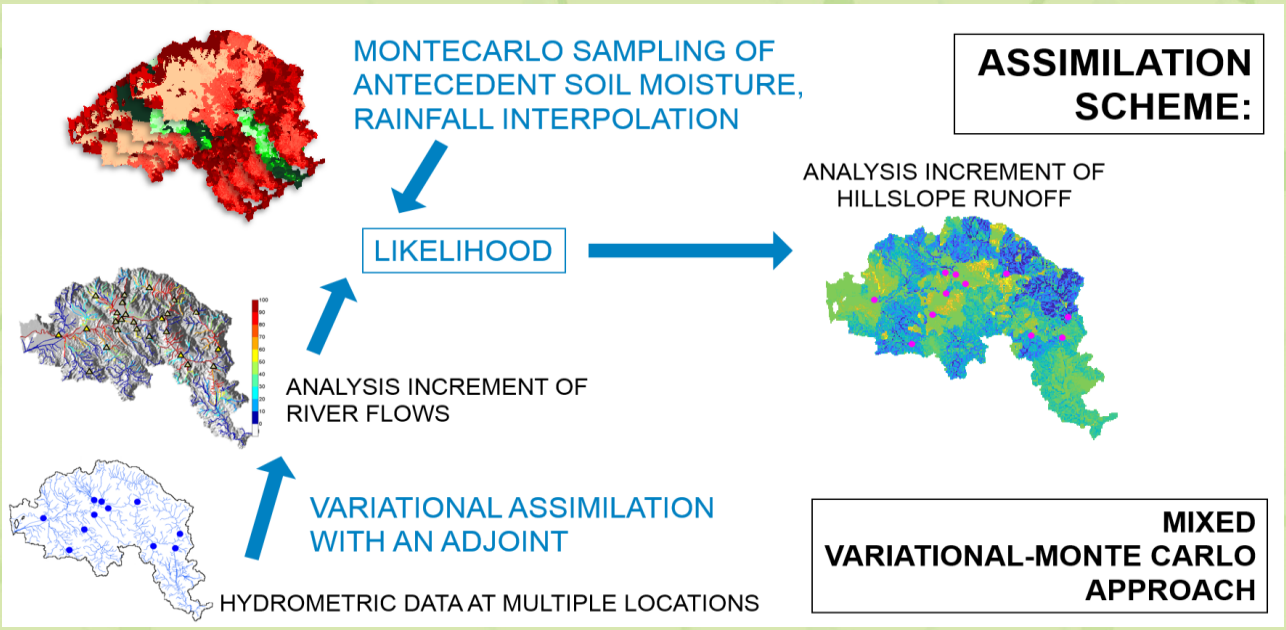
13

Modelli afflussi-deflussi

Assimilazione dati



Il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze ha sviluppato una strategia per l'assimilazione di osservazioni di portata nei modelli idrologici distribuiti finalizzata al miglioramento delle previsioni di piena e specificatamente progettata per un utilizzo operativo. La strategia adotta un approccio misto variazionale – Monte Carlo, ed è in grado di assimilare i dati di portata in più punti del reticolo idrografico contemporaneamente (*Ercolani e Castelli, 2017*). Lo schema misto permette di superare il problema del trattamento esplicito dello sfasamento temporale tra l'errore che intercorre tra portate osservate e modellate e la correzione degli stati del modello che lo hanno generato, quali ad esempio l'umidità del suolo o il deflusso superficiale. Inoltre, ha il vantaggio di poter gestire equazioni non lineari discontinue, tipiche della modellazione dei processi di formazione del deflusso superficiale, senza richiedere le approssimazioni che sarebbero necessarie con un approccio puramente variazionale.

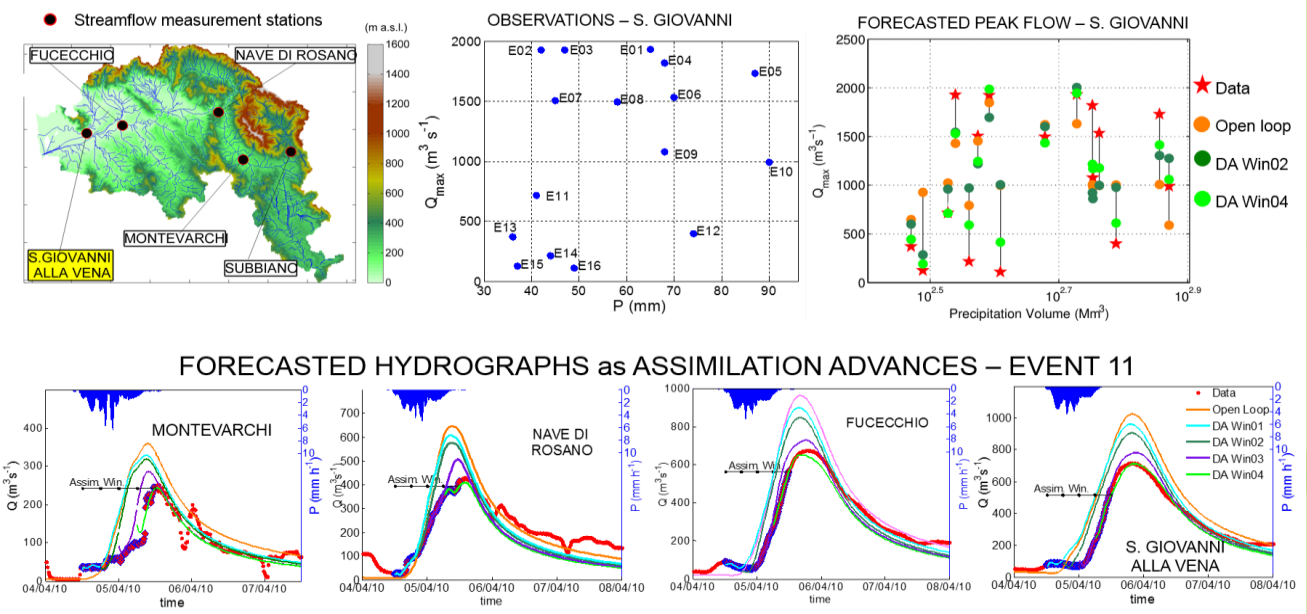


La strategia prevede una prima fase di assimilazione puramente variazionale dei dati di portata utilizzando il modello inverso del modulo di propagazione del deflusso nel reticolo idrografico. Da questa si ottiene, per ognuno dei rami del reticolo a monte dei punti di assimilazione, una stima dell'andamento temporale nella finestra di assimilazione del runoff totale in ingresso alla singola asta richiesto per correggere la discrepanza tra portate modellate e osservate. A seguire, si utilizza un approccio Monte Carlo parsimonioso per individuare la distribuzione spaziale della condizione iniziale di umidità del suolo e l'interpolazione della precipitazione che possano generare l'andamento temporale richiesto per il runoff in ingresso ai rami del reticolo. Risultato finale della strategia è un aggiornamento spazialmente distribuito del deflusso superficiale a scala di bacino. In termini operativi, si prevede l'applicazione dello schema su finestre temporali consecutive, così da progredire con il raffinamento delle previsioni di piena via via che si rendono disponibili nuove misure di portata.

Esempio Applicativo

ASSIMILAZIONE DI DATI DI PORTATA IN UN MODELLO IDROLOGICO DISTRIBUITO PER LA PREVISIONE DELLE PIENE NEL BACINO DELL'ARNO.

Nell'esempio di utilizzo qui presentato, la strategia di assimilazione è stata implementata per il modello idrologico distribuito MOBIDIC (*Castelli et al., 2009*) ed applicata al bacino dell'Arno (Toscana, circa 8230 km²). MOBIDIC è infatti attualmente parte della catena previsionale operativa dalla Regione Toscana per la previsione delle piene. Al fine di valutare l'effettiva capacità della procedura di abbattere l'errore previsionale, il sistema è stato utilizzato per 16 eventi di pioggia significativi (precipitazione media sul bacino maggiore di 30 mm e fino a 90 mm) verificatosi nel periodo 2009-2014. Tali piogge hanno dato origine a portate sia al di sopra che al di sotto della soglia di allarme nelle principali stazioni idrometriche del reticolo dell'Arno. Riferirsi ad un insieme di eventi con caratteristiche eterogenee, sia dal punto di vista della forzante meteorologica che della risposta idrologica, ha permesso di realizzare una verifica del funzionamento della strategia di assimilazione che fosse rappresentativa delle condizioni di effettivo esercizio nella pratica operativa.



Nei test effettuati, le portate sono state assimilate in corrispondenza di 5 stazioni di misura poste lungo l'asta principale del fiume Arno, entro finestre consecutive di 6 ore. Per il modello idrologico, sono stati utilizzati una risoluzione spaziale di 500 m e un passo temporale di 15 minuti (setup operativo di MOBIDIC). I risultati ottenuti hanno dimostrato che il sistema di assimilazione, in generale, riesce sia ad abbattere significativamente l'errore sulla portata di picco (rispetto all'open loop, diminuzione di più del 50% con un lead time di circa 10 ore per la maggior parte degli eventi e delle stazioni di misura) che a migliorare la previsione dell'idrogramma nella sua totalità. Inoltre, al diminuire del lead time, le performance riducono la sito ed evento dipendenza.

Bibliografia essenziale

Castelli, F., Menduni, G., Mazzanti, B. (2009). A distributed package for sustainable water management: a case study in the Arno basin. IAHS publication, Vol. 327, pp. 52-61.

Ercolani, G., Castelli, F. (2017). Variational assimilation of streamflow data in distributed flood forecasting. Water Resour. Res., Vol. 53, n. 1, pp. 158-183.

Gruppo di Ricerca

Fabio Castelli *fabio.castelli@unifi.it*

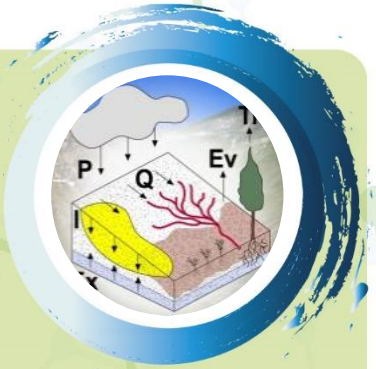
Giulia Ercolani *giulia.ercolani@unifi.it*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

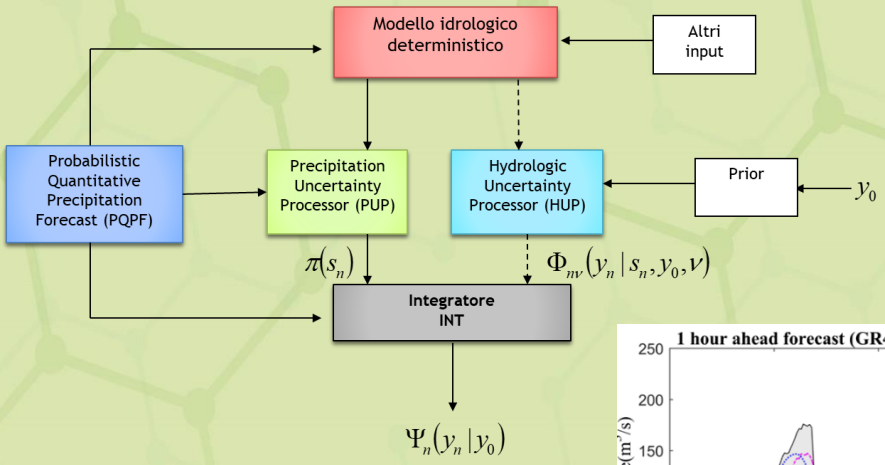
www.dicea.unifi.it

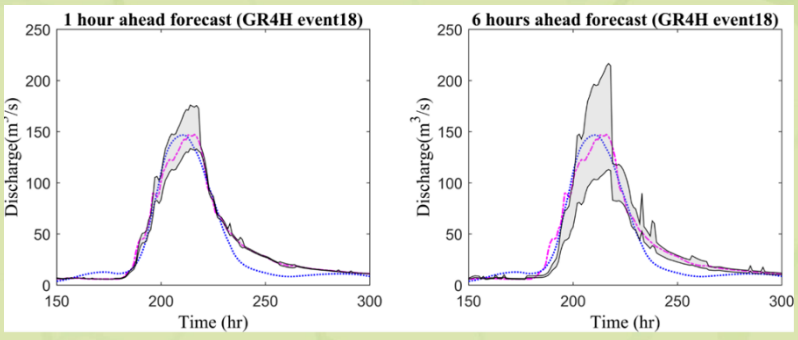
14

Modelli afflussi-deflussi
Il BFS per la valutazione dell'incertezza speditiva



Il Bayesian Forecasting System (BFS), introdotto da *Krzysztofowicz* nel 1999, fornisce una metodologia generale per la stima dell'incertezza totale della previsione di una grandezza idrologica utilizzando un qualsiasi modello deterministico. Il BFS è un post-processore di tipo bayesiano per la quantificazione dell'incertezza predittiva, sviluppato per il preannuncio in tempo reale delle piene, che consente di associare alla previsione di un qualsiasi modello idrologico deterministico, una stima in termini probabilistici dell'accuratezza dell'uscita del modello. L'incertezza predittiva è definita, infatti, come la distribuzione di probabilità di un futuro valore reale di una variabile idrologica di interesse *y* (es. livello idrometrico, portata o volume del deflusso), condizionata all'informazione disponibile nell'istante in cui si fornisce la previsione, in particolare la simulazione *s* del modello. Il BFS assume l'incertezza nella precipitazione prevista in ingresso al modello afflussi-deflussi quale principale sorgente di errore nella previsione, e distingue tre componenti strutturali. Un primo processore PUP (Precipitation Uncertainty Processor) propaga l'incertezza della previsione della precipitazione nella risposta del modello, considerato non affetto da errori; un secondo processore HUP (Hydrologic Uncertainty Processor) stima l'incertezza idrologica considerando tutte le altre fonti di errore non connesse alla previsione dell'input pluviometrico (struttura del modello, stima dei parametri, stima degli altri ingressi, errori di misura, etc.). Infine, un integratore (INT) combina i due contributi per stimare l'incertezza totale Ψ.



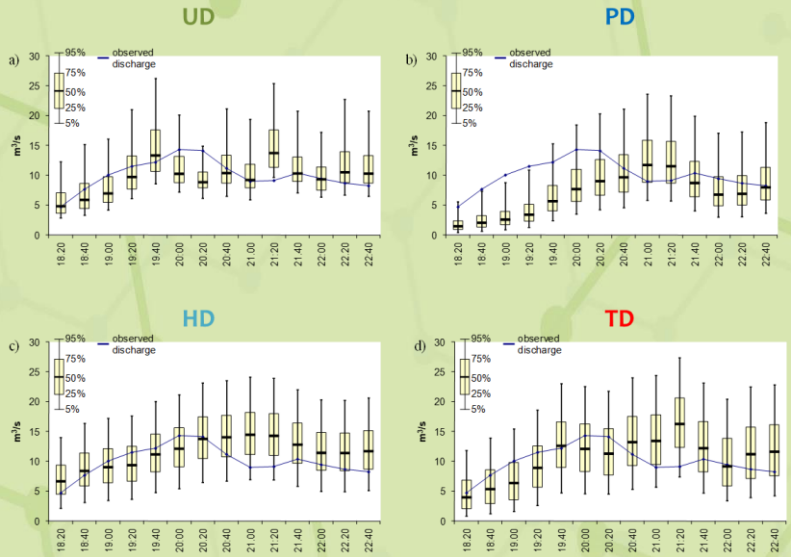


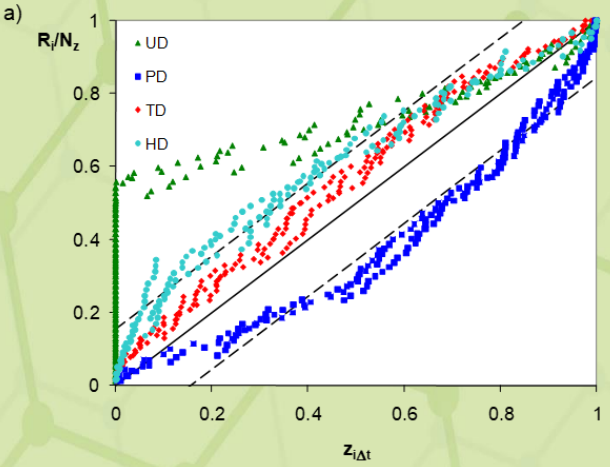
A partire dalla formulazione originale, diverse versioni, anche dei singoli processori, sono state sviluppate per adattare il sistema alla previsione della portata in piccoli bacini o alla stima dell'incertezza predittiva nel caso di ensembles idrologici (*Biondi et al., 2010; Biondi e De Luca, 2012; 2013*).

Esempio Applicativo

VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA PREDITTIVA. APPLICAZIONE AL TORRENTE TURBOLO.

In questo studio, sono state valutate le performance di un sistema bayesiano per la valutazione dell'incertezza predittiva e la realizzazione di previsioni probabilistiche di piena a partire da un modello idrologico deterministico. Il post-processore applicato è stato sviluppato sulla base del BFS proposto da *Krzysztofowicz* (1999) e adattato all'applicazione in piccolo bacino della Calabria, soggetto a flash floods (*Biondi et al. 2010; Biondi e De Luca, 2013*). Per tener conto delle caratteristiche del bacino oggetto di studio, nel sistema le previsioni probabilistiche di pioggia (Probabilistic Quantitative Precipitation Forecast - PQPF) sono fornite dal modello stocastico PRAISE (Prediction of Rainfall Amount Inside Storm Events) proposto da *Sirangelo et al.* (2007), particolarmente adatto per previsioni di pioggia riferite a bacini idrografici di modesta estensione. Il BFS utilizzato, inoltre, è stato basato su un Precipitation Dependent-HUP (PD-HUP) e sull'uso di un indicatore di precipitazione che consente di modellare e distinguere l'impatto di una precipitazione più intensa sulla risposta idrologica del bacino. La distribuzione predittiva totale che ne risulta è una mistura di due componenti. Lo studio ha permesso, inoltre, di illustrare le proprietà del BFS ed identificare le possibili uscite in relazione a diverse ipotesi di funzionamento, separando le diverse componenti che concorrono alla definizione dell'incertezza totale: incertezza input (UD); incertezza a priori, ovvero in assenza di previsione, (PD); incertezza idrologica (HD) e incertezza predittiva totale (TD).





Il caso di studio ha evidenziato: i) risultati migliori in termini di reliability per la distribuzione predittiva totale (TD); ii) il ruolo cruciale svolto dalla componete relativa all'incertezza idrologica; iii) che per orizzonti di previsione maggiori di quello di previsione della precipitazione, le diverse ipotesi di funzionamento del BFS forniscono risultati confrontabili.

Bibliografia essenziale

Krzysztofowicz R. (1999) Bayesian theory of probabilistic forecasting via deterministic hydrologic model, WRR, 35 (9), 2739–2750.

Biondi, D., Versace, P., Sirangelo, B. (2010) Uncertainty assessment through a precipitation dependent hydrologic uncertainty processor: An application to a small catchment in southern Italy. J. Hydrol., doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.004

Biondi, D., De Luca D.L. (2013) Performance assessment of a Bayesian Forecasting System (BFS) for real-time flood forecasting, J. Hydrol., 479, pp. 51-63.

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — linoversace@libero.it

Daniela Biondi — daniela.biondi@unical.it

Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it

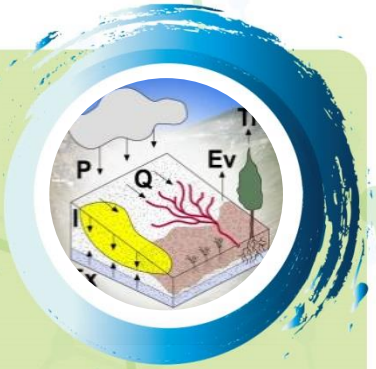
Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

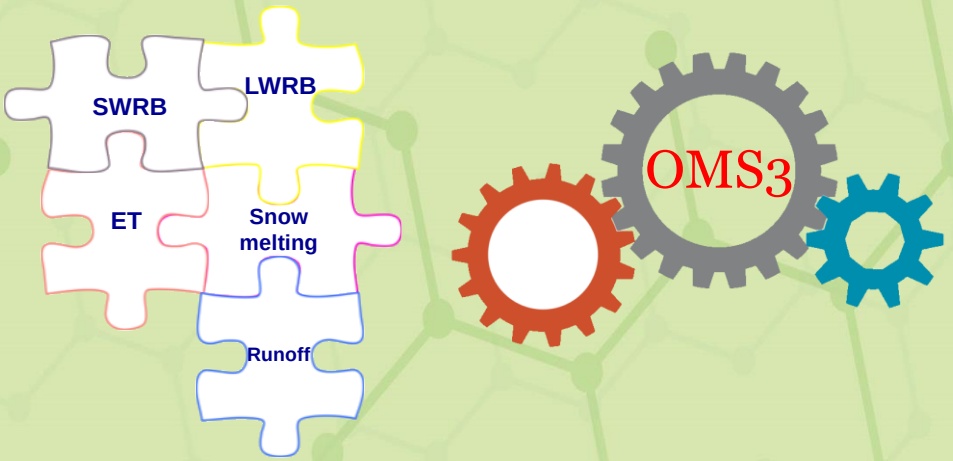
Modelli afflussi-deflussi

GEOFRAME-NEWAGE BRIMS

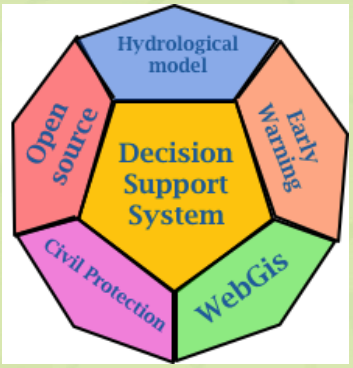


A web-based early warning decision support system

Il sistema GEOframe-NewAGE è basato sul framework di modellazione Object Modeling System v3, (OMS3) (David, 2013). OMS è un EMF (Environmental Modeling Framework) a componenti. I componenti sono blocchi predefiniti, moduli o unità di codice.



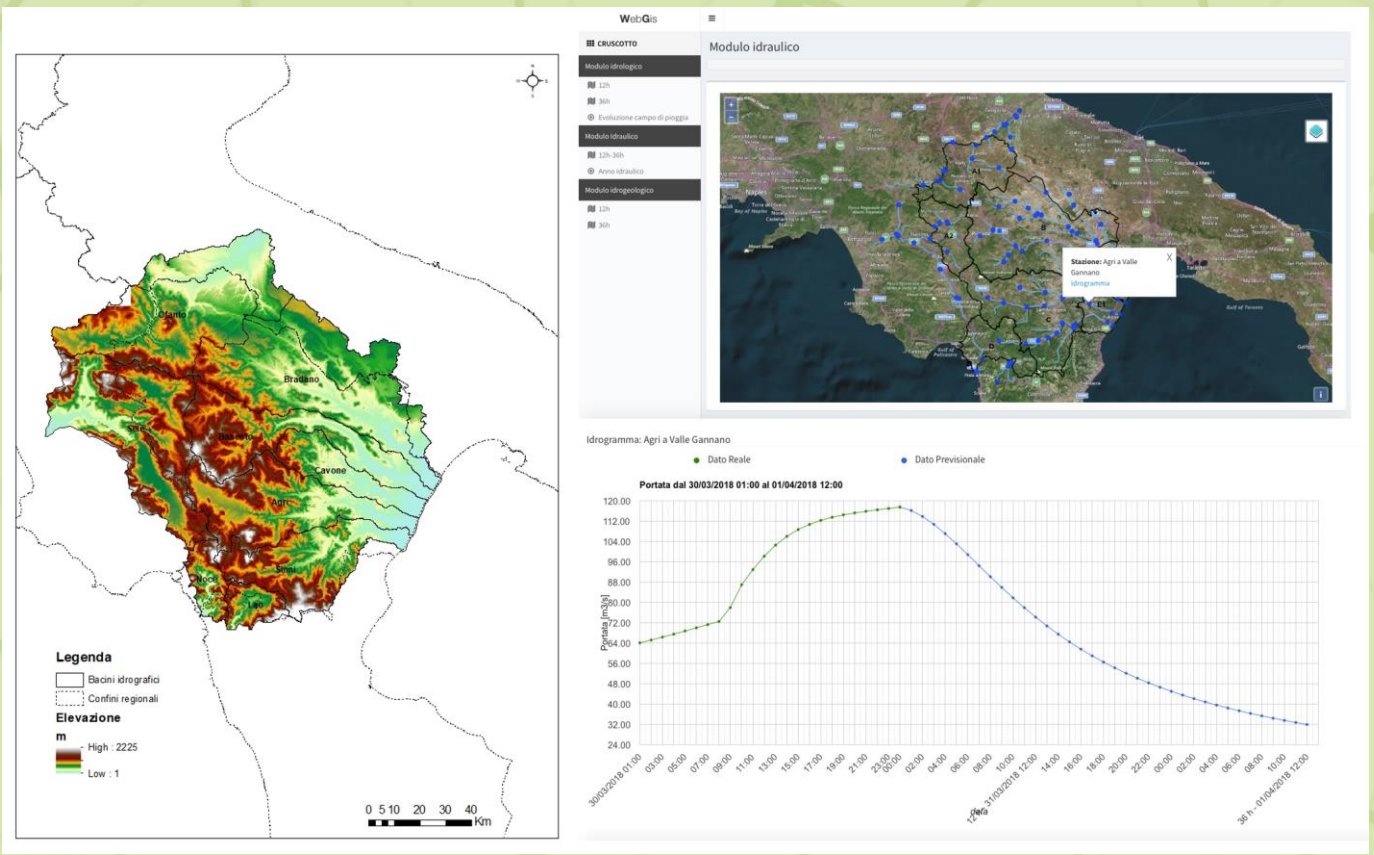
Ogni componente implementa un singolo processo e possono essere uniti per ottenere la simulazione del bilancio idrologico e la quantificazione dei flussi in input e output ad un bacino idrografico. Per il presente studio sono stati implementati vari componenti OMS per simulare i processi idrologici rilevanti e per l'analisi dei dati in pre elaborazione e post elaborazione. In particolare, le forzanti meteorologiche sono interpolate usando le tecniche di Kriging; il modello del bilancio della radiazione solare include sia onde corte che onde lunghe. L'evapotraspirazione è stata modellata attraverso il modello Priestly - Taylor (Priestley & Taylor 1972). La componente dello Snow-Pack include due componenti: separazione pioggia/neve - snow melting e Snow Water Equivalent (SWE). La componente afflussi/deflussi utilizza la formulazione dell'Embedded Reservoir Model (Bancheri, 2017). Infine, gli algoritmi di calibrazione implementati sono: Let Us CAlibrate (LUCA) e Particle Swarm Optimization (PSO).



Esempio Applicativo

BRIMS – BASILICATA REGIONAL HYDROLOGICAL MODEL SYSTEM

Il modello descritto è stato applicato all'intero territorio della Basilicata. La regione ha una superficie di circa 14000 km² suddivisa in 10 bacini idrografici (Agri, Basento, Bradano, Cavone, Lao, Noce, Ofanto, Noce, Sele, Sinni). La regione è dotata di una rete di monitoraggio di 76 stazioni che registra temperatura, precipitazioni, altezze idrometriche, radiazioni e le altre principali forzanti ambientali.



I bacini idrografici sono stati suddivisi in 151 unità di risposta idrologica elementare HRU e i dati relativi alla temperatura e alla pioggia sono stati interpolati per ciascun centroide delle HRU utilizzando l'algoritmo di interpolazione di Kriging; grazie a un recente miglioramento del core OMS, River Net3 (Serafin, 2016), le simulazioni sono eseguite in parallelo e l'output per ciascuna HRU viene trasportata fino alla sezione chiusura di ciascun bacino idrografico. Tutto il sistema di modellazione è stato implementato all'interno del WebGis a supporto delle decisioni del Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile permettendo di gestire e visualizzare mappe tematiche come: piovosità storica e prevista, grado di saturazione dei suoli suscettibilità da frana, portate previste in ciascuna sezione di controllo e superamenti di soglie di allerta identificate.

Bibliografia essenziale

Formetta, Mantilla, Franceschi, Antonello, and Rigon: The JGrass-NewAge system for forecasting and managing the hydrological budgets at the basin scale: models of flow generation and propagation/ routing, Geosci. Model Dev., 4, 943-955, 2011.

Mita, L,. Bancheri, M., Dal Sasso S., Davenia, G., Lanorte, V., Fiorentino, M., and Manfreda S.: The Web-based Flood Warning System exploiting the JGrass-NewAge, World Engineering Forum, Rome, 2017.

Gruppo di Ricerca

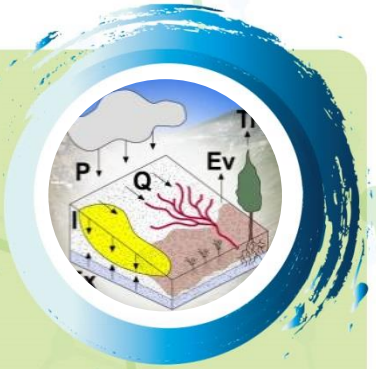
Salvatore Manfreda salvatore.manfreda@unibas.it
Leonardo Mita leonardo.mita@unibas.it
Luciana Giuzio giuzio.luciana@libero.it
Marialaura Bancheri maryban@hotmail.it

http://www2.unibas.it/manfreda/HydroLab/

16

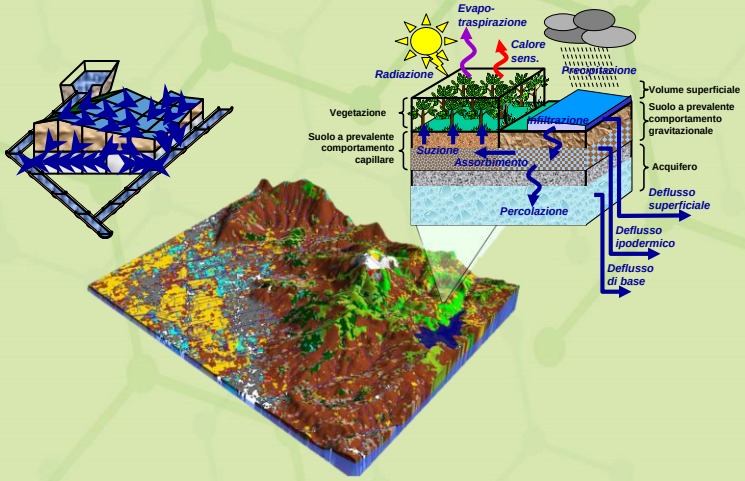
Modelli afflussi-deflussi

MOBIDIC



MOBIDIC (**MO**dello di **B**ilancio **I**drologico **DI**stribuito e **C**ontinuo) è un modello idrologico sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze in collaborazione con il Massachusetts Institute of Technology, la Regione Toscana e l'Autorità di Bacino del fiume Arno. MOBIDIC è attualmente in uso presso la Regione Toscana per i bilanci idrici e le previsioni delle piene. Il modello è fisicamente basato, idoneo sia per simulazioni ad evento che continue su periodi pluriannuali, e spazialmente distribuito sia dal punto di vista dei parametri che delle forzanti meteorologiche e dei risultati, in modo da tenere conto pienamente della eterogeneità del sistema modellato (proprietà ed input) e da poterne valutare l'impatto sulle grandezze idrologiche di interesse. MOBIDIC nasce con base raster per la descrizione dei versanti e vettoriale per la rappresentazione della rete di drenaggio, ma è attualmente in corso lo sviluppo di una versione a base poligonale non-regolare al fine di incrementare la flessibilità in termini di rappresentabilità dell'eterogeneità del territorio.
I principali processi modellati da MOBIDIC sono la trasformazione afflussi-deflussi, la propagazione del deflusso lungo versanti e canali, l'interazione con la falda superficiale, il bilancio accoppiato di massa ed energia alla superficie per il calcolo dell'evapotraspirazione. Inoltre, prelievi e rilasci nella rete idrica, invasi artificiali e casse di espansione possono essere inclusi nelle simulazioni. La dinamica dell'umidità del suolo è modellata con uno schema computazionalmente parsimonioso la cui capacità predittiva è comparabile a quella di approcci più dettagliati (es. equazioni di Richards) ma maggiormente onerosi (*Castillo et al., 2015*).

MOBIDIC
Modello di **B**ilancio **I**drologico
DIstribuito e **C**ontinuo

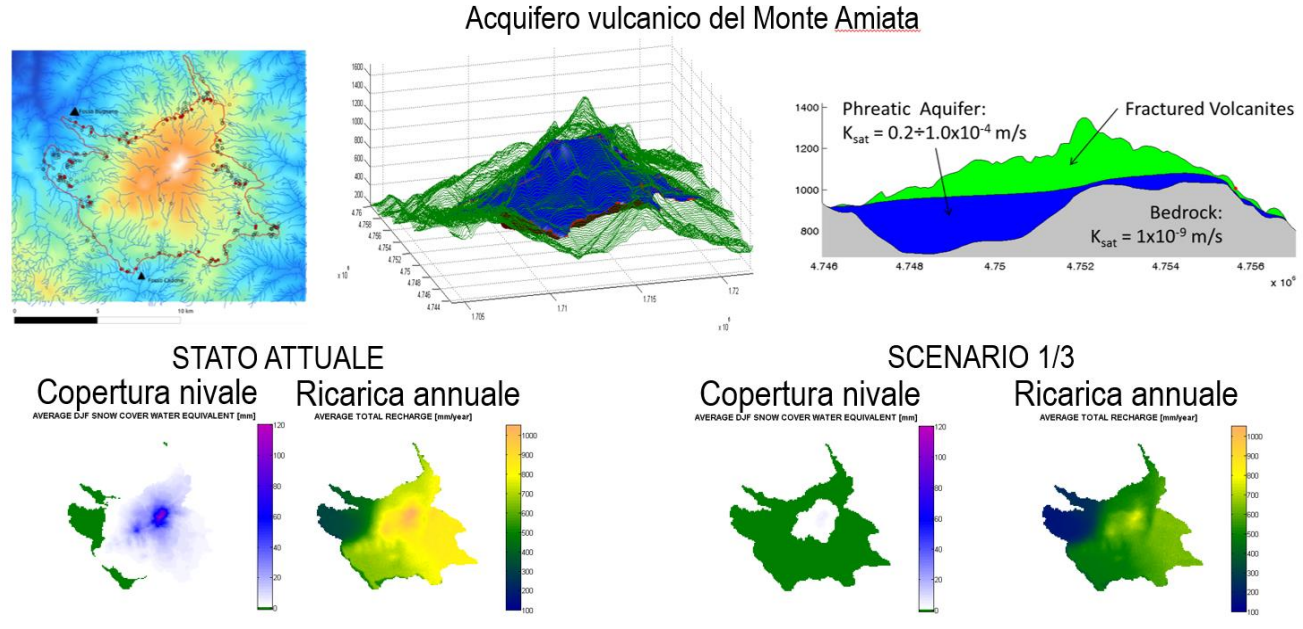


La struttura del modello è modulare, così da poter selezionare i processi da includere nelle simulazioni in funzione delle informazioni a disposizione e del tipo di applicazione (es. bilancio energetico alla superficie attivato per simulazioni in continuo, disattivato per simulazioni di eventi di piena), e anche di adeguare il livello di dettaglio della loro descrizione (es. falda freatica come serbatoio concettuale o impiegando lo schema di Dupuit). Inoltre, gli schemi sono implementati in modo da poter utilizzare un passo di calcolo temporale a partire dall'ordine dei minuti fino al giornaliero. MOBIDIC è utilizzato sia per applicazioni ad evento (es. previsione di eventi di piena (*Ercolani e Castelli, 2017*)), che per simulazioni continue su periodi prolungati (es. a fini di gestione della risorsa idrica (*Castelli et al., 2009*)).

Esempio Applicativo

IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA RISERVA IDRICA DELL'ACQUIFERO FREATICO DEL MONTE AMIATA.

Nell'applicazione qui presentata, il modello idrologico MOBIDIC è stato utilizzato per la valutazione del bilancio idrico superficiale e sub-superficiale della zona del Monte Amiata (Toscana). Particolare attenzione è stata dedicata alla dinamica dell'acquifero freatico di origine vulcanica, che è stata modellata in maniera completamente accoppiata con l'idrologia di superficie grazie al modulo di falda bidimensionale presente in MOBIDIC. Peculiarità dell'acquifero del monte Amiata è che, allo stato attuale, una quota significativa della ricarica annuale (circa il 50%) è di origine nivale. Di conseguenza, l'approccio modellistico ha previsto anche l'attivazione del modulo di bilancio energetico dedicato alla simulazione esplicita dello scioglimento nivale. Tale caratteristica rende la falda del monte Amiata particolarmente vulnerabile al cambiamento climatico, e fine ultimo dell'indagine è stato quindi stimarne l'impatto su di essa.



Il lavoro ha previsto una fase iniziale di calibrazione del modello sulla base di misure di portata nel reticolo idrografico e in uscita dalle principali sorgenti della falda, e di immagini satellitari per l'estensione della copertura nivale. Successivamente, sono state eseguite una serie di simulazioni di dettaglio (100 m per la risoluzione spaziale e passo temporale giornaliero) pluriannuali, le cui forzanti metereologiche sono state derivate da 3 diversi scenari di cambiamento climatico. I risultati hanno evidenziato una significativa variazione della ricarica sia in termini quantitativi totali che di distribuzione spaziale, causata principalmente da una drastica riduzione dello scioglimento nivale. È stata inoltre prevista una diminuzione del 20-30% dell'apporto annuo totale dalle sorgenti del monte Amiata.

Bibliografia essenziale

Castillo, A., Castelli, F., Entekhabi, D. (2015). Gravitational and capillary soil moisture dynamics for distributed hydrologic models. HESS, Vol. 19, n. 4, pp. 1857-1869.

Castelli, F., Menduni, G., Mazzanti, B. (2009). A distributed package for sustainable water management: a case study in the Arno basin. IAHS publication, Vol. 327, pp. 52-61.

Ercolani, G., Castelli, F. (2017). Variational assimilation of streamflow data in distributed flood forecasting. Water Resour. Res., Vol. 53, n. 1, pp. 158-183.

Gruppo di Ricerca

Fabio Castelli — *fabio.castelli@unifi.it*

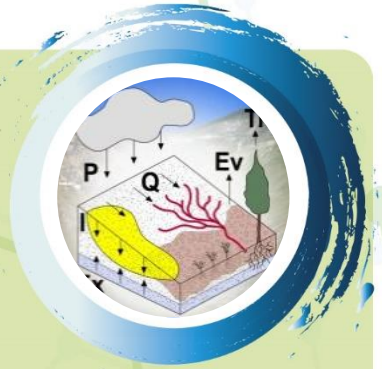
Giulia Ercolani — *giulia.ercolani@unifi.it*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

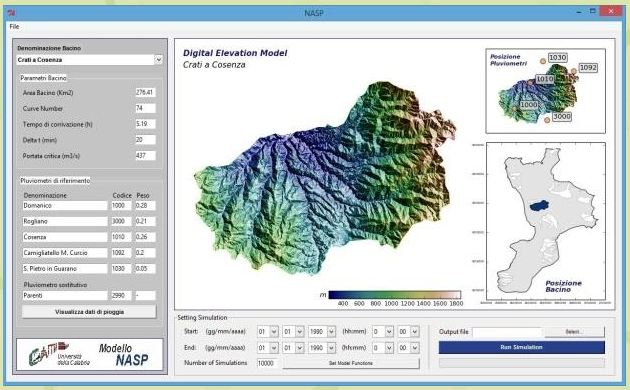
www.dicea.unifi.it

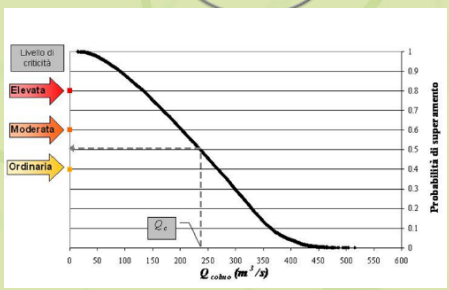
Modelli afflussi-deflussi

Il modello NASP



Il modello NASP (NAsh SPeditivo) è un modello idrologico per la simulazione della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi idrografici, che opera attraverso approcci semplificati nella rappresentazione dei processi coinvolti nella formazione del deflusso e che può essere impiegato anche in assenza di una taratura dei parametri (*Biondi e Versace*, 2007). Il modello NASP, infatti, è stato pensato per applicazioni di tipo 'speditivo' e si caratterizza per tempi di calcolo contenuti e per un facile utilizzo anche in sezioni non strumentate. Per rispondere a questi criteri, si è fatto riferimento a una un'impostazione concettuale e a una rappresentazione di tipo concentrato dell'unità territoriale di analisi, coincidente con l'intero bacino idrografico, oltre che a un criterio di parsimonia nella scelta del numero e della tipologia di parametri, tutti riconducibili a caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche. Il modulo di generazione del deflusso superficiale, prevede la sola identificazione delle piogge efficaci per il pluviogramma fornito in ingresso attraverso il metodo del Curve Number del SCS (Soil Conservation Service, 1972). Il trasferimento alla sezione di chiusura del contributo delle piogge efficaci al deflusso superficiale si basa, invece, sull'applicazione dell'idrogramma unitario istantaneo, in particolare nella formulazione proposta da Nash (1957).





Le applicazioni del modello NASP hanno riguardato sia la valutazione di portata al colmo di progetto (progetto POR Calabria 2000-2006 Lotto 7) sia la valutazione della probabilità di superamento di valori critici di portata per fissate sezioni di interesse in sistemi di allertamento finalizzati alla previsione delle piene (convenzioni con Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria e con il Dipartimento Nazionale Protezione Civile). In entrambi i casi, l'analisi è effettuata attraverso una tecnica Monte Carlo che fornisce ad ogni istante di previsione un ensemble di membri ottenuti da un differente set parametrico attraverso la cui distribuzione si tiene conto dell'incertezza associata alla loro stima, che soprattutto in assenza di calibrazione non può essere trascurata. Le leggi di distribuzione ed i campi di variazione dei parametri sono fissati secondo criteri riconducibili alle caratteristiche geomorfologiche e alle condizioni di umidità antecedente del bacino in esame. Le più recenti applicazioni hanno considerato nella definizione delle distribuzioni marginali dei parametri anche l'utilizzo di firme idrologiche regionali, in particolare degli L-moments ricavati dall'analisi dei massimi annuali di portata al colmo (*Biondi e De Luca, 2015; 2017*).

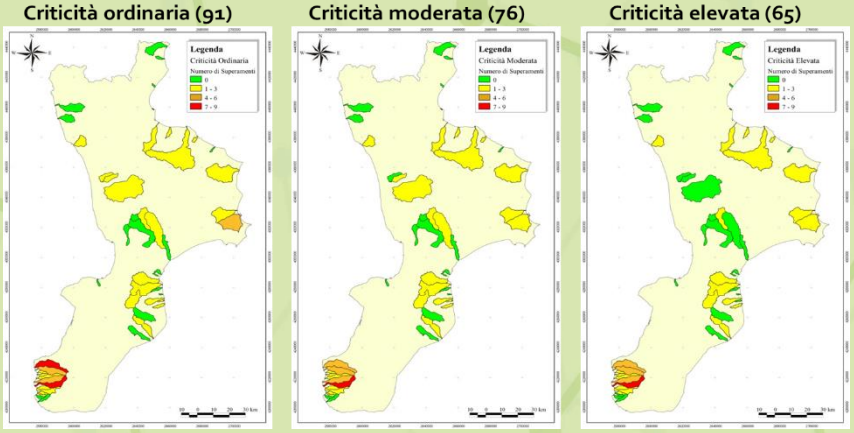
Esempio Applicativo

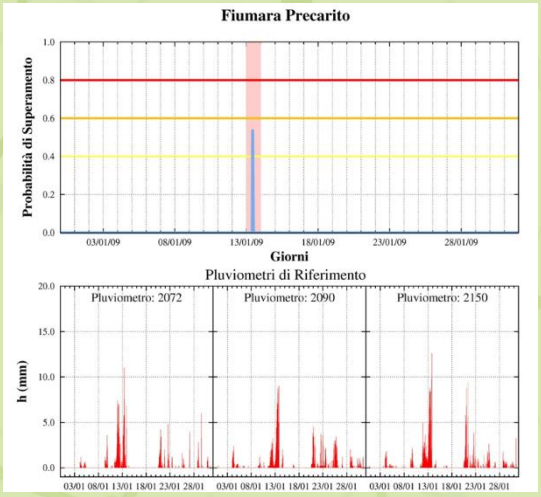
SISTEMA DI PREANNUNCIO BASATO SULLA VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA PORTATA CRITICA. APPLICAZIONE E VERIFICA SUL TERRITORIO CALABRESE.

Tra le attività svolte nell'ambito di una convenzione tra Dipartimento della Protezione Civile e CAMILAB, è stata verificata la capacità di preannuncio del modello afflussi-deflussi Nash SPeditivo (NASP) per 50 sezioni di interesse del territorio calabrese, in gran parte non strumentate e coincidenti con zone a rischio idraulico R4. Il periodo di riferimento è stato quello 2008-2010 in cui numerosi eventi di dissesto si sono verificati nella regione. Nell'applicazione, l'attivazione dei livelli di criticità ordinario, moderato ed elevato è stata fatta corrispondere al superamento di valori soglia della probabilità di superamento della portata critica fissata, in particolare 0.4, 0.6, e 0.8. La validazione del modello NASP per gli eventi registrati nel periodo di analisi nei bacini considerati è stata effettuata secondo diversi criteri: i) valutazione del numero di superamenti per ciascun livello di criticità; ii) valutazione del numero di allarmi corretti, mancati allarme e falsi allarme; iii) valutazione di parametri di efficienza ricavati dalle tabelle di contingenza.

Numero superamenti

Criticità ordinaria (91) | Criticità moderata (76) | Criticità elevata (65)





In sintesi, l'approccio adottato ha mostrato una buona capacità di previsione: circa il 79% dei 62 eventi considerati è stato correttamente previsto, con un numero di allertamenti comunque limitato.

Bibliografia essenziale

Biondi D., Versace P., (2007) Peak flow estimation under parameter uncertainty in a real time flood warning system for ungauged basins. In: Quantification and Reduction of Predictive Uncertainty for Sustainable Water Resources Management. IAHS Publ. 313.

Biondi D., De Luca D.L., (2015) Process-based design flood estimation in ungauged basins by conditioning model parameters on regional hydrological signatures. Natural Hazards, Vol. 79, n.2, pp. 1015.1038

Gruppo di Ricerca

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

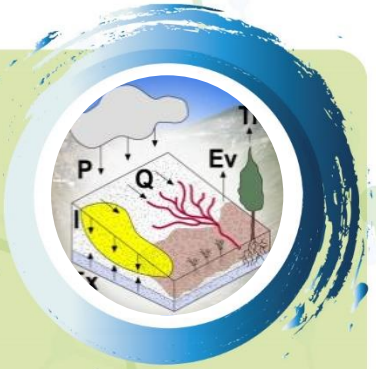
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

Pasquale Versace — linoversace@libero.it
Daniela Biondi — daniela.biondi@unical.it
Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it

Modelli afflussi-deflussi

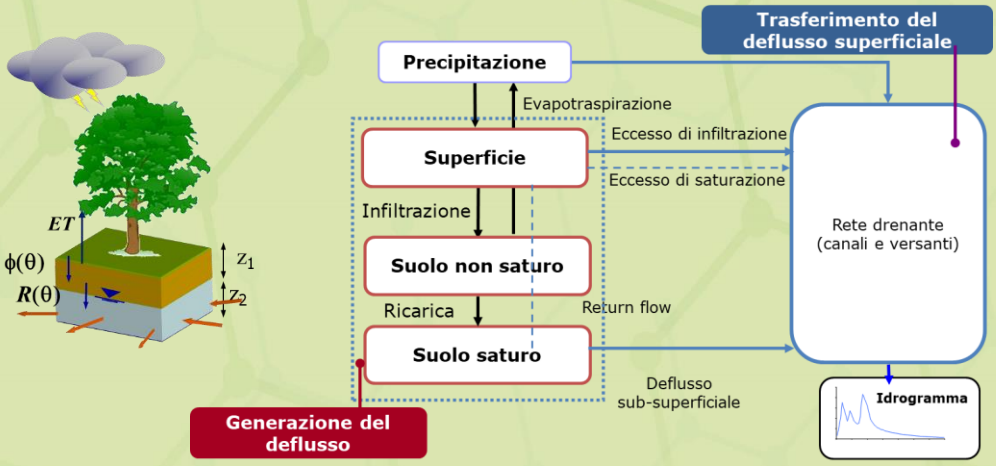
Il modello RISE

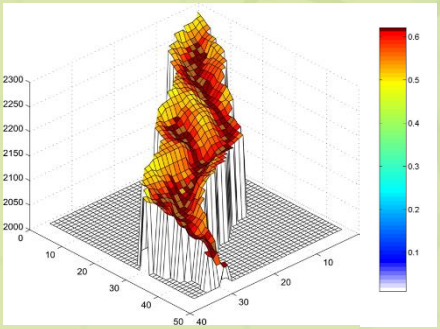


Il modello idrologico RISE (**R**unoff by **I**nfiltration and **S**aturation **E**xcess) si caratterizza per una rappresentazione dettagliata dei processi idrologici che si sviluppano alla frontiera tra l'atmosfera e il suolo e all'interno di quest'ultimo in risposta alle sollecitazioni climatiche (infiltrazione, evapotraspirazione, circolazione idrica sotterranea, propagazione del deflusso superficiale, etc.), adeguata a rappresentare i legami fortemente non lineari che intervengono nella formazione delle piene (*Versace et al.*, 2004). RISE è un modello distribuito, fisicamente basato, sviluppato per la simulazione in continuo della risposta idrologica di bacini di piccola e media dimensione. La sua struttura rispecchia l'impostazione generale individuata nella modellistica afflussi-deflussi e prevede due moduli che descrivono i meccanismi con cui si attuano, rispettivamente, la generazione del deflusso ed il suo trasferimento lungo i versanti e la rete idrografica. Ciascuna cella versante rappresenta uno strato di suolo superficiale di spessore Z, che può variare da una decina di centimetri ad 1-2 metri, diviso in due zone con diverso comportamento:

- uno strato superiore non saturo, delimitato inferiormente dal pelo libero della falda sospesa o dal fondo impermeabile, nel quale si ipotizza un flusso essenzialmente verticale;
- uno strato inferiore saturo, la cui contrazione o espansione avviene a scapito della zona non satura, ed attraverso il quale si ha il movimento laterale del deflusso sub-superficiale dai versanti ai canali (*Wigmosta et al., 1994*).

Peculiarità del modello è quella di considerare diversi contributi alla formazione della piena: il deflusso superficiale generato con il classico meccanismo hortoniano, il contributo dovuto alla saturazione dello strato superficiale dal basso secondo l'approccio dunniano, considerando anche il contributo del return flow; la componente sub-superficiale. I fenomeni di trasporto nei canali e sui versanti dei diversi contributi di ciascuna cella al deflusso superficiale, sono trasferiti alla sezione di chiusura in accordo con la teoria del GIUH sulla base della formulazione proposta da *Rinaldo et al.* (*1995*).





Distribuzione del contenuto idrico (θ)

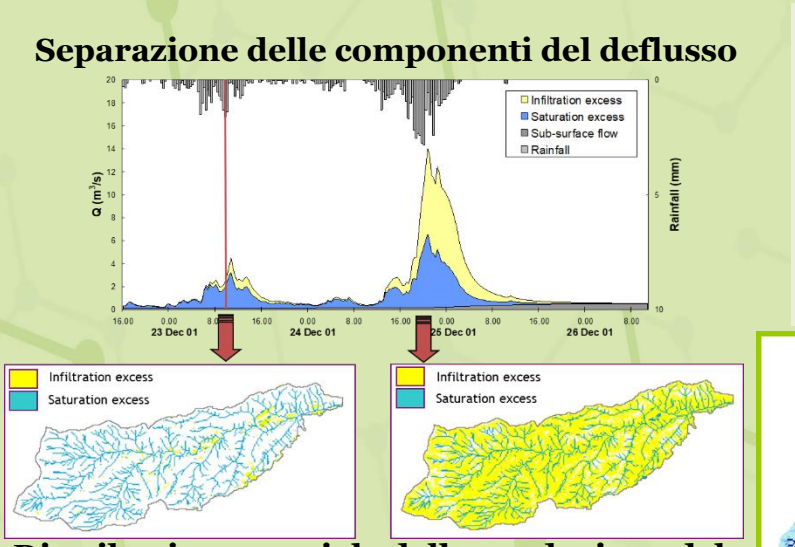
Una procedura di taratura totalmente automatica viene implementata in corrispondenza di ogni stazione di misura idrometrica per la quale sono disponibili osservazioni di portata, siano essi dati storici o rilevati in tempo reale. In diversi contesti di preannuncio, WRROOM è stato utilizzato anche in versione adattiva, consentendo, a fronte della disponibilità di registrazioni di portata in tempo reale, una taratura dinamica dei parametri.

Esempio Applicativo

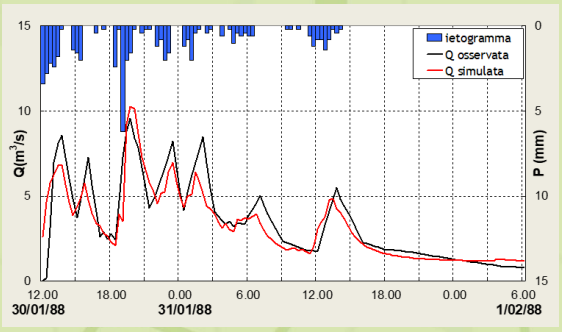
VALUTAZIONE DEI DIVERSI CONTRIBUTI AL DEFLUSSO DI PIENA. APPLICAZIONE AL TORRENTE TURBOLO.

Il modello RISE, come descritto, consente una valutazione in continuo della risposta idrologica e permette di distinguere le diverse componenti che concorrono alla piena in una fissata sezione, così come le aree del bacino che contribuiscono alla formazione del deflusso, caratteristica quest'ultima particolarmente importante e apprezzata nella pianificazione dell'utilizzo di pesticidi. Il modello è stato applicato sul bacino del Turbolo, affluente del Crati, che sottende un'area drenante di circa 29 km², nell'ambito del progetto POR Calabria 2000-2006 Lotto n.7. Nell'applicazione, particolare attenzione è stata posta nella valutazione dell'effetto che la superficie urbanizzata presente nell'area indagata esercita nella formazione del deflusso e nel suo trasferimento alla sezione di chiusura del bacino. Ad ogni step della simulazione, inoltre, il modello ha fornito una fotografia generale del sistema idrologico che comprende non solo l'andamento dell'idrogramma superficiale, ma anche la posizione della falda e dello stato di umidità in ogni punto interno del bacino.

Separazione delle componenti del deflusso



Distribuzione spaziale della produzione del deflusso



Il modello RISE, ha ben riprodotto gli eventi di piena considerati per la taratura e la validazione del modello; la scomposizione degli idrogrammi simulati nelle tre componenti hortoniana, dunniana e sub-superficiale e la localizzazione delle aree contribuenti sono risultate realistiche in relazione alle caratteristiche del bacino analizzato. Le analisi condotte, sono particolarmente utili per lo sviluppo di procedure di ottimizzazione e funzioni obiettivo differenziate per i parametri coinvolti nella simulazione delle diverse componenti al fine di ridurre l'incertezza associata alla stima dei parametri ed i problemi derivanti dall'equifinalità di diversi set parametrici.

Bibliografia essenziale

Versace P., Biondi D., Sirangelo B. (2004) "La generazione dei deflussi nella simulazione delle piene fluviali", Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche (Trento, 7-10 Settembre, 2004), vol. II, pp. 855-862.

Versace P., Biondi D. (2011) Monografia Attività A livello 5 "Modelli afflussi-deflussi distribuiti e fisicamente basati". POR Calabria 2000-2006. Lotto Progettuale n.7 - Stima delle massime portate al colmo di piena.

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace linoversace@libero.it

Daniela Biondi daniela.biondi@unical.it

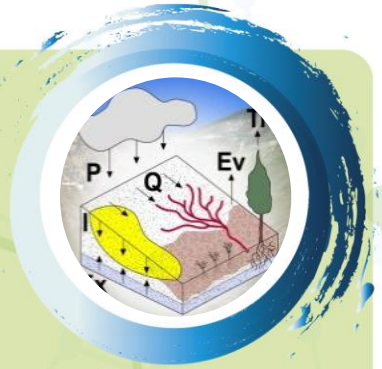
Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

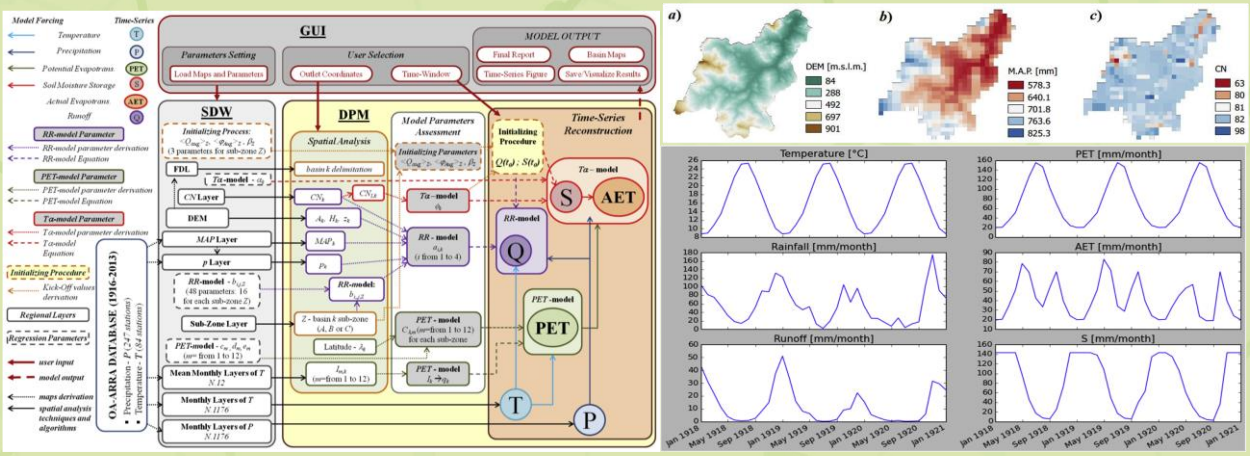
http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

Modelli afflussi-deflussi

Il Modello Tri.Mo.Ti.S.



Il modello Tri.Mo.Ti.S (TRInacria Model for mOnthly TIme-Series) è un modello idrologico messo a punto dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM) dell'Università degli Studi di Palermo nell'ambito di una Convenzione del 2013 con il Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti – Servizio Osservatorio delle Acque (Regione Siciliana) ai fini della classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici fluviali mediante l'applicazione della procedura dell'ISPRA del 2011 per il calcolo dell'indice di alterazione idrologica IARI. In particolare, nella sua prima versione (Pumo et al., 2016), il modello era stato disegnato al fine di creare uno strumento regionale per la valutazione, a scala mensile, dei deflussi "naturali" (indisturbati da pressioni di natura antropica) in una qualsiasi sezione di un corso d'acqua. Il modello è stato successivamente implementato in ambiente GIS e integrato con altri modelli (Pumo et al., 2017) al fine di consentire una ricostruzione di serie temporali "naturali" mensili per tutte le maggiori variabili di interesse in idrologia. Nello specifico, il plug-in (codificato in Python e sviluppato in Quantum-GIS 2.14), una volta selezionata una sezione d'interesse nel corso d'acqua e un periodo storico di interesse, identifica automaticamente l'area di drenaggio corrispondente e stima, per il periodo selezionato, le serie temporali mensili di pioggia media areale e temperatura. Successivamente calcola, mediante un modello afflussi-deflussi di tipo regressivo, le serie di deflusso naturale, e stima le serie di evapotraspirazione potenziale mediante il metodo di Thornhwaite e le serie di evapotraspirazione effettiva e dell'umidità del suolo mediante una procedura basata su un modello classico di bilancio idrologico (Tα-model). Il modello è stato implementato per la Sicilia e calibrato per tutto il periodo compreso fra il 1916 e il 2013, sfruttando e valorizzando l'intera banca dati termo-pluviometrica dell'Osservatorio delle Acque.

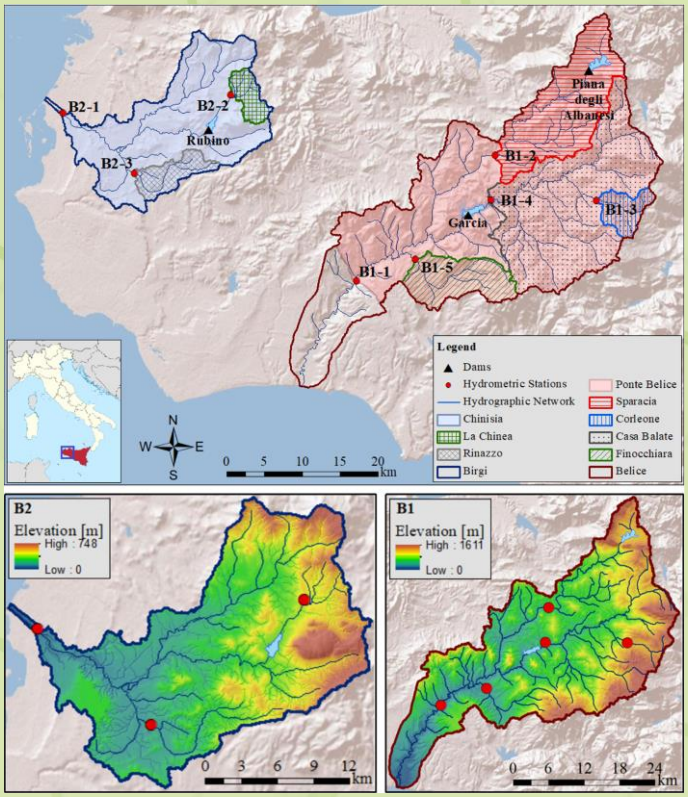


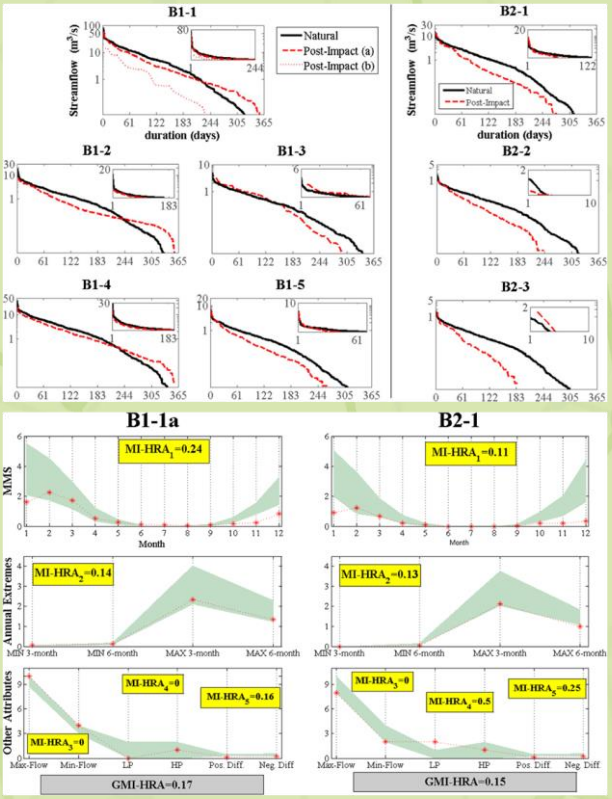
Come si evince dallo schema in figura, la struttura del modello è essenzialmente costituita da tre macrocomponenti: 1 – Spatial Data Warehouse (SDW); 2 – Data Porcessing Module (DPM); 3 – Grafical User Interface (GUI). Il modello trova un pratico risvolto in tutte le applicazioni idrologiche in cui siano richieste operazioni di "filling" e/o di ricostruzione di serie termo-pluviometriche, valutazioni di serie di deflussi naturali (ad esempio per la valutazione dello stato quali-quantitativo delle risorse idriche) e, in generale, la valutazione delle varie componenti del bilancio idrologico a scala di bacino e a scala mensile (ad esempio, per scopi irrigui). Inoltre, nel Gennaio 2018, in occasione di un significativo evento di siccità nell'area di Palermo, il modello, accoppiato ad un modello di generazione di piogge sintetiche, è stato impiegato dall'Osservatorio delle Acque in fase previsionale, per la valutazione probabilistica dei volumi invasabili nel breve termine (fino a 12 mesi) all'interno dei principali invasi a servizio del sistema acquedottistico del comune di Palermo.

Esempio Applicativo

VALUTAZIONE DELL'ALTERAZIONE DEL REGIME IDROLOGICO DEI FIUMI INDOTTA DA PRESSIONI ANTROPICHE

Sono stati analizzati due bacini siciliani (Belice e Birgi), valutando alcuni indicatori mensili di alterazione idrologica, proposti in Pumo et al.(2018), in 5 sezioni diverse del fiume Belice e in 3 sezioni del fiume Birgi (tutte sezioni con stazione idrometrica e misurazioni storiche da parte dell'Osservatorio delle Acque). Il bacino del Belice (955 km²) è caratterizzato dalla presenza di due bacini artificiali (Piana degli Albanesi e Garcia) e da 15 immissioni da impianti civili di trattamento di acque reflue, che rappresentano i fattori antropici di disturbo rispetto alla "traiettoria naturale".
Il bacino del Birgi (330 km²) è caratterizzato dalla presenza della diga Rubino, da 5 immissioni da impianti civili di trattamento acque e dalla presenza di piccole traverse di derivazione nella parte montana. Gli indici di alterazione considerano un confronto, a livello di ogni sezione, fra alcuni indicatori idrologici derivati dalla serie idrometrica relativa a un periodo "post-impact", e quindi potenzialmente disturbato, e quelli derivati da una serie idrometrica "pre-impact" o naturale. Per ciascuna sezione considerata, tutte le serie di dati registrati mediante le stazioni dell'Osservatorio delle Acque nei periodi dopo la costruzione delle opere idrauliche a monte di esse, rappresenta la serie "post-impact", mentre per la ricostruzione delle serie "naturali" è stato utilizzato il modello Tri.Mo.Ti.S. (Pumo et al., 2016; 2017), ricostruendo serie mensili di deflusso naturale per tutto il periodo dal 1918 al periodo "post-impact".





Gli indicatori risultanti, riflettono pienamente il grado di antropizzazione, ricostruito mediante altre informazioni disponibili, per tutte le sezioni, fornendo risultati del tutto coerenti con quanto aspettato in considerazione delle opere di regimazione e regolazione dei deflussi presenti.

Bibliografia essenziale

Pumo D., Viola F., Noto L.V. (2016) Generation of natural runoff monthly series at ungauged sites using a regional regressive model. Water, 8 (5), 209, doi:10.3390/w8050209

Pumo D., Lo Conti, F., Viola F., Noto L.V. (2017) An automatic tool for reconstructing monthly time-series of hydro-climatic variables at ungauged basins. Environmental Modelling & Software, 95: 381-400, doi:10.1016/j.envsoft.2017.06.045

Pumo D., Francipane A., Cannarozzo M., Antinoro C., Noto L.V. (2018) Monthly hydrological indicators to assess possible alterations on rivers' flow regime. Water Resources Management, 32 (11), 3687-3706, doi: 10.1007/s11269-018-2013-6.

Gruppo di Ricerca

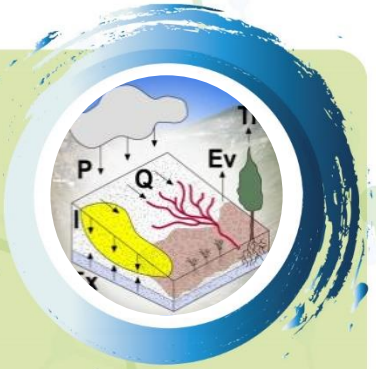
Goffredo La Loggia — goffredo.laloggia@unipa.it
Leonardo V. Noto — leonardo.noto@unipa.it
Dario Pumo — dario.pumo@unipa.it
Antonio Francipane — antonio.francipane@unipa.it

DICAM

http://www.unipa.it

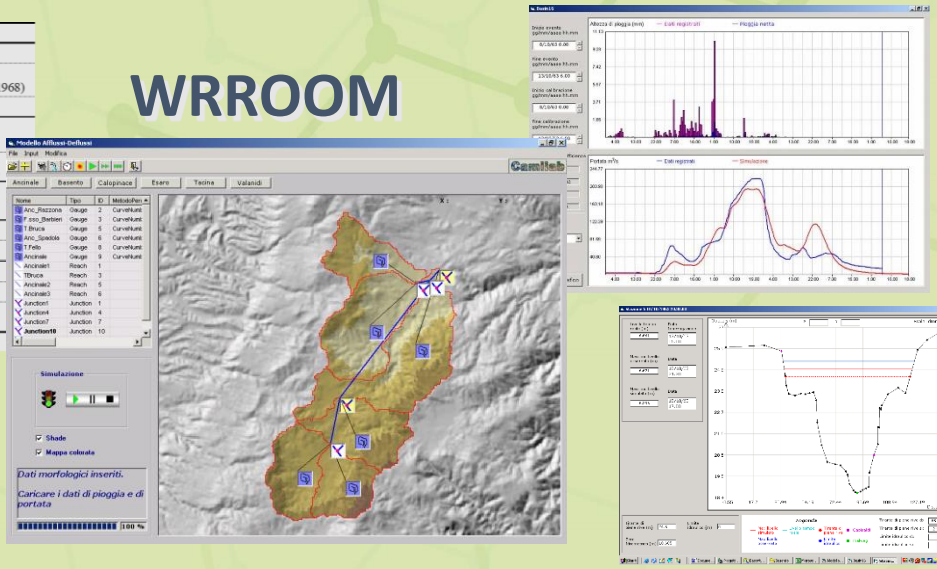
Modelli afflussi-deflussi

Il modello WRROOM



Il modello WRROOM (**W**atershed **R**ainfall **R**unoff **O**bject **O**riented **M**odel) è un modello idrologico ad evento finalizzato alla simulazione della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi idrografici, che può essere usato anche in modalità semi-distribuita ed è caratterizzato da un'impostazione ad oggetti che consente l'agevole integrazione con ulteriori moduli di simulazione idrologica e idraulica (*Biondi et. al.*, 2002). Nel modello WRROOM, la risposta idrologica è definita attraverso la combinazione di oggetti idrologici (es. sottobacino, canale, serbatoio, etc.) connessi tra loro in funzione del livello di dettaglio con cui si vuole effettuare la simulazione. La rappresentazione semi-distribuita del bacino idrografico prevede che, nella determinazione della risposta idrologica, si tenga conto, implicitamente, della variabilità spaziale dei campi di precipitazione e delle caratteristiche morfologiche e geo-litologiche del territorio attraverso la discretizzazione in sottobacini caratterizzati da condizioni sostanzialmente omogenee al loro interno e descritti, pertanto, attraverso un numero limitato di parametri concentrati. Ciascun oggetto idrologico può essere poi caratterizzato in maniera differente da uno o più processi fisici (es. perdite, propagazione del deflusso superficiale, uscita da serbatoi di laminazione, etc.) che, a loro volta, possono essere simulati attraverso una o più procedure matematiche alternative. Naturalmente la scelta del metodo più opportuno da applicare dipende dalla disponibilità, per il bacino oggetto di indagine, delle informazioni necessarie all'implementazione e dai tempi disponibili per la simulazione. Si rimanda alla bibliografia specifica per una descrizione più dettagliata del modello e dei singoli metodi implementati.

Oggetto	Processo simulato	Metodi disponibili
NODO (sottobacino, giunzione, stazione, serbatoio)	Generazione del deflusso	Metodo Φ
		SCS-Curve Number (*Soil Conservation Service*, 1968)
		Green-Ampt
	Concentrazione del deflusso	IUH Clark modificato (*Maidment et al.*, 1996)
		IUH diffusivo (*Olivera & Maidment*, 1999)
	Deflusso profondo	Low Pass (*Chapman*, 1999)
	Relazione invaso-portata (solo oggetto serbatoio)	Level-Pool
		Runge-Kutta (4° ordine)
CANALE	Propagazione nei canali	Lag
		Muskingum
		Muskingum-Cunge (*Orlandini & Rosso*, 1996)

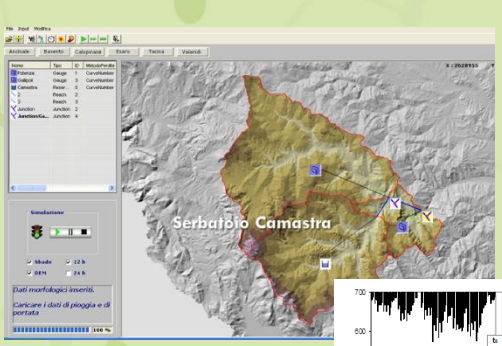


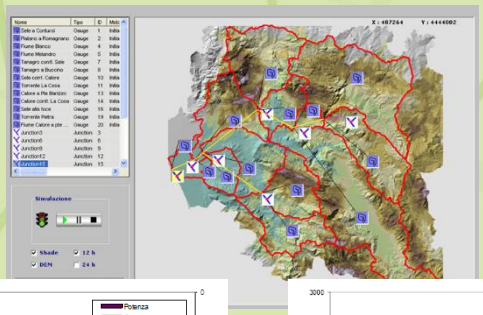
Una procedura di taratura totalmente automatica viene implementata in corrispondenza di ogni stazione di misura idrometrica per la quale sono disponibili osservazioni di portata, siano essi dati storici o rilevati in tempo reale. In diversi contesti di preannuncio, WRROOM è stato utilizzato anche in versione adattiva, consentendo, a fronte della disponibilità di registrazioni di portata in tempo reale, una taratura dinamica dei parametri.

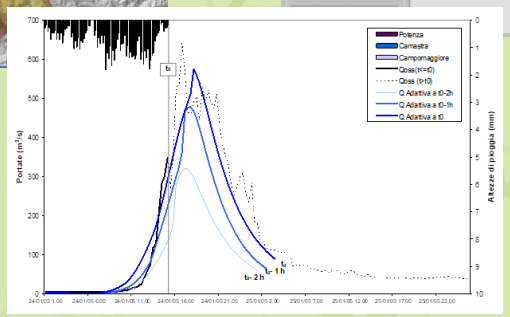
Esempio Applicativo

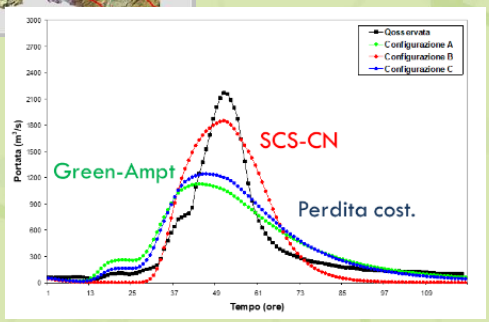
SISTEMA INTEGRATO DI PREVISIONE DELLE PIENE.

Il modello WRROOM, inserito in sistemi integrati per l'analisi della risposta idrologica e la previsione delle piene in tempo reale, ha trovato applicazione in diversi casi di studio, caratterizzati da condizioni climatiche, morfologiche e geo-litologiche differenti. In particolare il modello è stato applicato nell'ambito di convenzioni con il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile e con il Centro Funzionale della Regione Calabria, del progetto POR Calabria 2000-2006 Lotto 7 e del Progetto di rivisitazione del PAI per il Bacino del Sele: in Calabria, nei bacini Ancinale, Calopinace, Esaro di Crotone, Tacina e Valanidi; in Basilicata, bacino del Basento; in Campania al bacino del Sele, e in Molise nei bacini del Trigno e del Biferno. I sistemi di previsione sviluppati racchiudono in unico "ambiente" di lavoro gli strumenti necessari per la gestione e l'analisi dei dati che intervengono nel processo di previsione delle piene e sono basati sull'integrazione delle funzionalità offerte dai sistemi informativi geografici (GIS) con quelle del modello idrologico e con le informazioni provenienti in tempo reale da sensori in telemisura e modelli meteorologici. L'estensione GIS denominata HydroAnalyst, appositamente sviluppata, consente di creare e visualizzare, in maniera automatica e dinamica, gli schemi topologici dei bacini e di creare i file di ingresso richiesti da WRROOM. Le applicazioni sviluppate hanno anche riguardato la verifica delle prestazioni del modello in presenza di diverse ipotesi di configurazione topologica, di numero di bacini considerati e metodi di simulazione adottati.









Il modello è risultato particolarmente flessibile, evidenziando la possibilità di identificare, in tutti i casi analizzati, schemi e configurazioni in grado di simulare efficacemente gli eventi osservati.

Bibliografia essenziale

Biondi D., Mendicino G., Versace P., (2002) Modelli semi-distribuiti object-oriented per la previsione delle piene fluviali, 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza, 16-19 Settembre, 2002.

Versace P., Mendicino G., Biondi D., De Luca D.L. (2011) Monografia Attività A livello 4 "Modelli afflussi-deflussi concentrati". POR Calabria 2000-2006. Lotto Progettuale n.7 - Stima delle massime portate al colmo di piena.

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace *linoversace@libero.it*

Daniela Biondi *daniela.biondi@unical.it*

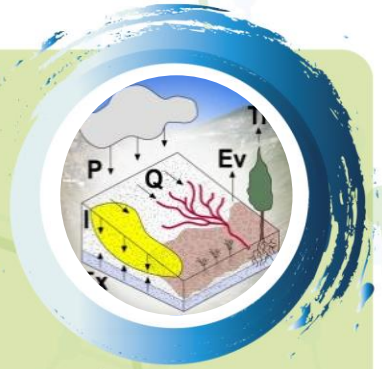
Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

Modelli afflussi-deflussi

Previsione delle piene



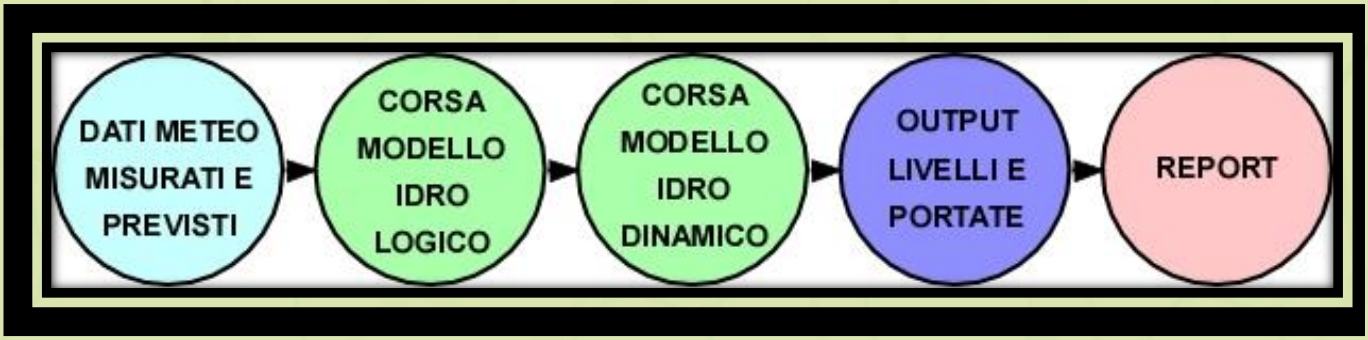
Il sistema integrato I.M.A.Ge. (Interfaccia e Modello per l'Allerta e la Gestione delle piene) è uno strumento software messo a punto dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Padova che consente di monitorare e prevedere in tempo reale l'evoluzione di eventi di piena e le loro conseguenze sul territorio. È stato concepito come mezzo di supporto ai fini di allertamento e per le attività di protezione civile.

Una interfaccia grafica dedicata consente di gestire l'acquisizione di dati idro-meteo-climatici da rete di misura a terra e da modelli di previsione meteorologici, di aggiornare la base dati interna, di eseguire le corse modellistiche idrologico/idrauliche, di visualizzare i risultati del calcolo, di produrre report di sintesi e di dettaglio.

I dati misurati in tempo reale da stazioni meteo-climatiche sparse sul territorio e quelli ottenuti da previsioni metereologiche sono utilizzati per stimare la distribuzione spazio-temporale della precipitazione che insiste sul bacino e di altre variabili climatiche (umidità, temperatura, velocità del vento e radiazione solare).

Il modello idrologico stima le componenti efficaci della pioggia mediante opportune equazioni di bilancio idrologico. Dopo aver valutato il contributo di ciascun sottobacino in termini di deflusso, la risposta idrologica viene calcolata sulla base della convoluzione tra la pioggia efficace ed un idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico. Gli idrogrammi di piena previsti dal modello idrologico geomorfologico, generalmente estratti in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini montani dei fiumi considerati, sono poi utilizzati come dati in ingresso per la modellazione idrodinamica. Il modello idrodinamico simula la propagazione delle onde di piena lungo le aste fluviali e i possibili allagamenti delle aree limitrofe. Esso risolve le equazioni di De Saint Venant che descrivono il moto uni e bi-dimensionale di correnti a superficie libera mediante uno schema numerico agli elementi finiti. Entrambi i modelli sviluppati sono stati sviluppati da ricercatori del Dipartimento.

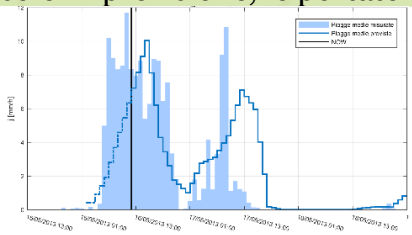
L'interfaccia grafica consente di visualizzare, mediante grafici e mappe a colori, i dati di input e i risultati del calcolo. Mentre l'utente esperto ha accesso a una grande varietà di dati, l'interfaccia prevede anche l'estrazione di dati particolarmente significativi in posizioni predefinite, così da facilitare la consultazione anche a utenti meno esperti. Infine, l'interfaccia consente di produrre report di sintesi e di dettaglio per la diramazione agli enti locali interessati e per l'archiviazione.



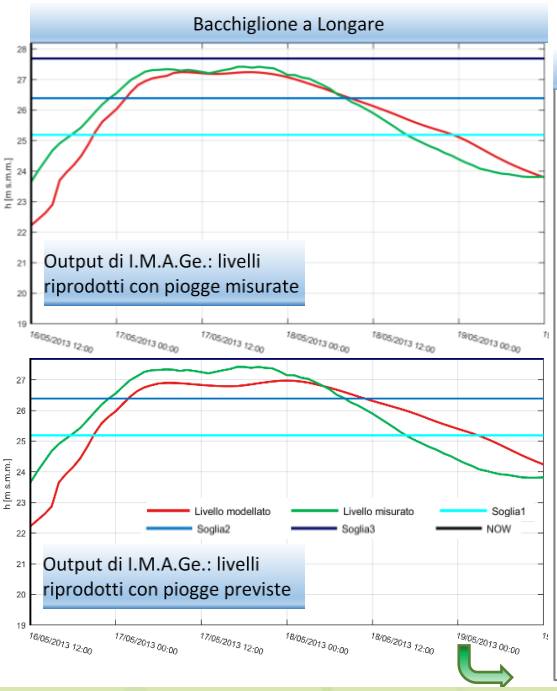
Esempio Applicativo

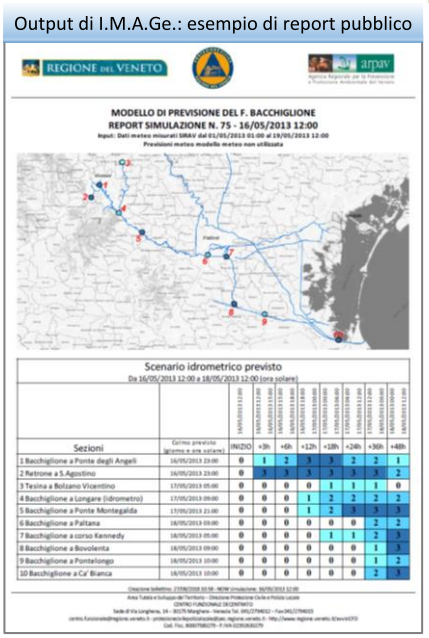
SISTEMA INTEGRATO DI PREVISIONE DELLE PIENE IN TEMPO REALE NEL BACINO IDROGRAFICO BRENTA-BACCHIGLIONE

Il sistema integrato di previsione delle piene "I.M.A.Ge." è attualmente operativo in uso presso il Centro Funzionale Decentrato (CFD) della Protezione Civile della Regione Veneto per il monitoraggio del sistema idrografico Brenta-Bacchiglione, considerato dalle sezioni di chiusura dei bacini montani sino alla foce.
La piattaforma integrata I.M.A.Ge per il sistema idrografico Brenta-Bacchiglione è stata predisposta e calibrata considerando i dati registrati nel corso degli eventi di piena del recente passato e quindi ampliamente testata, verificandone l'attendibilità nel riprodurre sia i livelli idrometrici misurati sia, qualora disponibili, le portate.
Nella sua versione operativa, I.M.A.Ge. permette alle autorità regionali competenti di monitorare e gestire gli eventi di piena in tempo reale. In un tempo di esecuzione di circa 10 minuti, I.M.A.Ge. elabora le misure provenienti dalla rete di telerilevamento gestita da ARPAV e, in parte, da Meteotrentino, e le previsioni del modello meteorologico LAMI o COSMO; gestisce la corsa dei modelli idrologico e idrodinamico; analizza e post-processa i risultati mediante rappresentazioni grafiche dei parametri idraulici calcolati, quali livelli e portate ma anche mappe delle aree allagate e franchi arginali. Questi risultati, disponibili in formato compatibile con sistemi GIS, vengono anche sinteticamente raccolti in report creati dall'interfaccia e utilizzabili dalle Autorità competenti per diramare eventuali pre-allarmi, sulla base del superamento di soglie di allerta in sezioni predefinite.
Si evidenzia che nelle applicazioni in tempo reale, per ridurre l'incertezza del risultato, vengono propagate le portate misurate alle sezioni di ingresso del dominio idrodinamico finché disponibili e, solo in previsione, le portate simulate dal modello idrologico.



Output di I.M.A.Ge.: piogge medie misurate e previste nel bacino del Bacchiglione





Bibliografia essenziale

Modellazione idrologica-idraulica per la previsione in tempo reale delle piene del Bacchiglione chiuso a Voltabarozzo –relazione di aggiornamento. A. Rinaldo, L. D'Alpaos, G. Botter, L. Carniello, D.P. Viero, G. Passadore, E. Crestani, R. Mel. Relazione nell'ambito della Convenzione tra Regione del Veneto e DICEA dal titolo "Messa a punto dei modelli idrologici e idraulici già sviluppati e loro applicazione ai sistemi Brenta-Bacchiglione e Piave"

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

ICEA INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CIVIL, ARCHITECTURAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

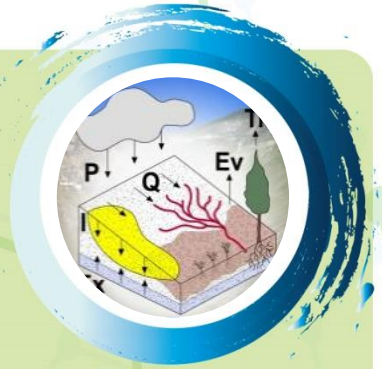
https://www.dicea.unipd.it

Gruppo di Ricerca

Andrea Rinaldo — andrea.rinaldo@unipd.it
Luigi D'Alpaos — luigi.dalpaos@dicea.unipd.it
Luca Carniello — luca.carniello@dicea.unipd.it
Daniele P. Viero — Giulia Passadore
Elena Crestani — Riccardo Mel

Modelli afflussi-deflussi

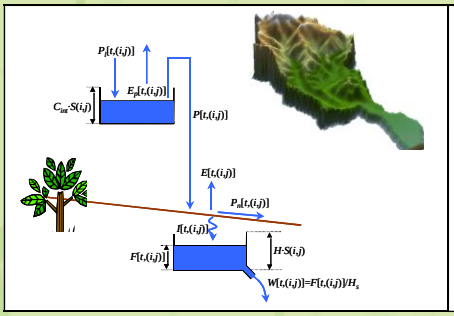
Scelta e parametrizzazione

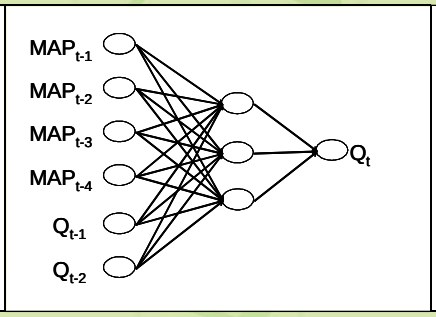


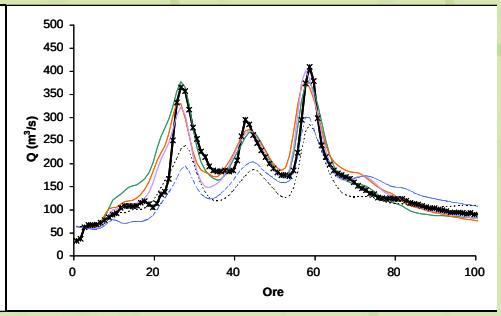
MODELLISTICA AFFLUSSI-DEFLUSSI: SUPPORTO ALLA SCELTA DEL MODELLO E STIMA DEI PARAMETRI IN BACINI STRUMENTATI E NON-STRUMENTATI

Attività a supporto dell'applicazione pratica di modelli per la trasformazione afflussi-deflussi, testate in relazione a modellistica di natura profondamente diversa, e in particolare modelli di tipo misto concettuale-fisicamente basato a parametri distribuiti o semi-distribuiti, modelli di tipo concettuale a parametri concentrati e modelli di tipo sistemico (basati sull'utilizzo di reti neurali artificiali). Per valutare le prestazioni dei diversi approcci modellistici, anche al variare della scala temporale e spaziale dei dati disponibili, vengono analizzati:

i) le caratteristiche delle serie storiche e delle informazioni sul bacino che permettono la scelta ottimale della struttura e la più affidabile parametrizzazione del modello;
ii) l'influenza della metodologia di spazializzazione delle forzanti meteorologiche;
iii) le potenzialità dell'uso di misure idrometriche disponibili in sezioni diverse del bacino e di informazioni sulle variabili di stato (ad es. sul manto nevoso o sull"umidità del suolo).



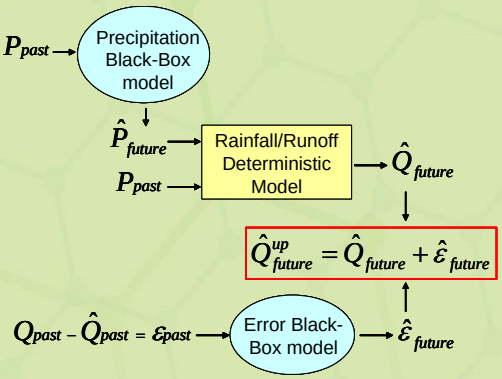




Per la parametrizzazione dei modelli in sezioni fluviali caratterizzate da scarsità o assenza di osservazioni idrometriche, si sono utilizzate diverse tecniche di regionalizzazione. Per individuare insiemi di bacini idrologicamente simili, si propone una classificazione dei bacini con reti neurali non supervisionate, del tipo Self-Organising Maps (Toth, 2013).

UTILIZZO DI MODELLISTICA AFFLUSSI-DEFLUSSI NEL PREANNUNCIO DI PIENA

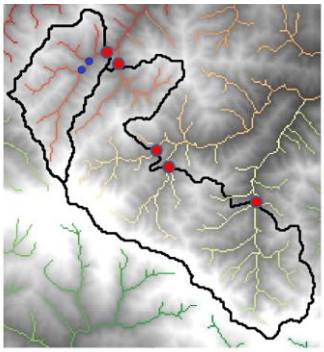
• Uso integrato di tecniche stocastiche e modelli deterministici afflussi-deflussi per la previsione di piena in tempo reale (previsione della precipitazione e updating delle portate simulate) (Toth et al., 2000; Brath et al., 2002).



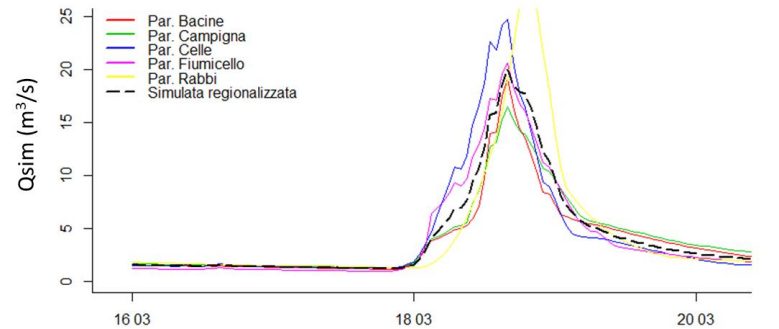
Esempio Applicativo

Regionalizzazione dei modelli afflussi-deflussi in bacini non-strumentati

Parametrizzazione dei modelli afflussi deflussi in sezioni non strumentate.
Trasferimento degli interi set invariati dei bacini "donatori", scelti sulla base della similarità idrologica. Applicazione ai bacini afferenti all'invaso artificiale di Ridracoli.



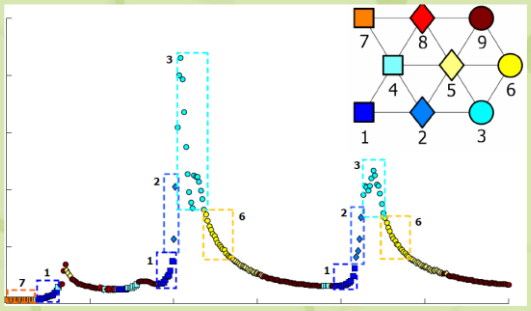
Insieme di bacini strumentati (donatori)
Una o più sezioni non-strumentate



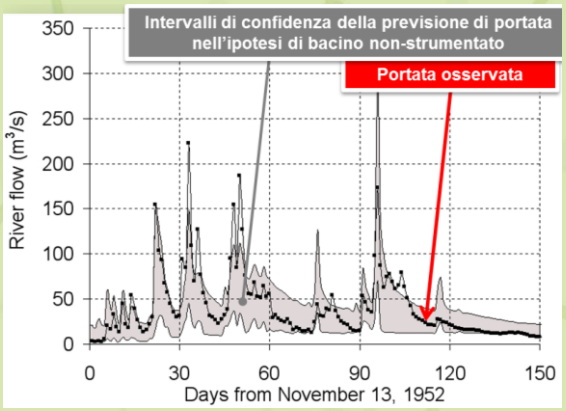
Portata simulata (tramite regionalizzazione) nel bacino non-strumentato

Utilizzo di modellistica afflussi-deflussi nel preannuncio di piena

• Previsione di piena con approccio modellistico modulare: insieme di modelli diversi da applicare a seconda della situazione meteorologica che corrisponde ad ogni particolare istante di previsione, scomponendo quindi l'idrogramma di piena in funzione dei processi idrologici dominanti (Toth, 2009).



• Analisi dell'incertezza presente in simulazioni e previsioni prodotte da modelli idrologici: la tecnica proposta, che si basa sull'applicazione di un modello di tipo meta-Gaussiano, consente di derivare le fasce di confidenza, per assegnato livello di significatività, delle variabili simulate, sotto ipotesi che non sono particolarmente restrittive in ambito applicativo (Sikorska et al., 2015)



Bibliografia essenziale

Toth, E., Brath A., Multistep ahead streamflow forecasting: Role of calibration data in conceptual and neural network modeling, Water Resour. Res., 43, W11405, doi:10.1029/2006WR005383, 2007.

Toth, E., Classification of hydro-meteorological conditions and multiple artificial neural networks for streamflow forecasting, Hydrology and Earth System Sciences, 13, 1555–1566, 2009.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Mattia Neri — mattia.neri5@unibo.it
Armando Brath — armando.brath@unibo
Alberto Montanari — alberto.montanari@unibo.it
Elena Toth — elena.toth@unibo

RISORSE IDRICHE

ACQUA E SERVIZI ECOSISTEMICI

IL METODO RENERFOR PER LA STIMA DEL POTENZIALE IDROELETTRICO

MODELLAZIONE DEL BILANCIO IDROLOGICO IN AMBIENTI AGRICOLI

IL MODELLO MOD.A.BA.

OTTIMIZZAZIONE IN AMBITO IRRIGUO E URBANO

STIMA DEL DEFLUSSO ANNUALE

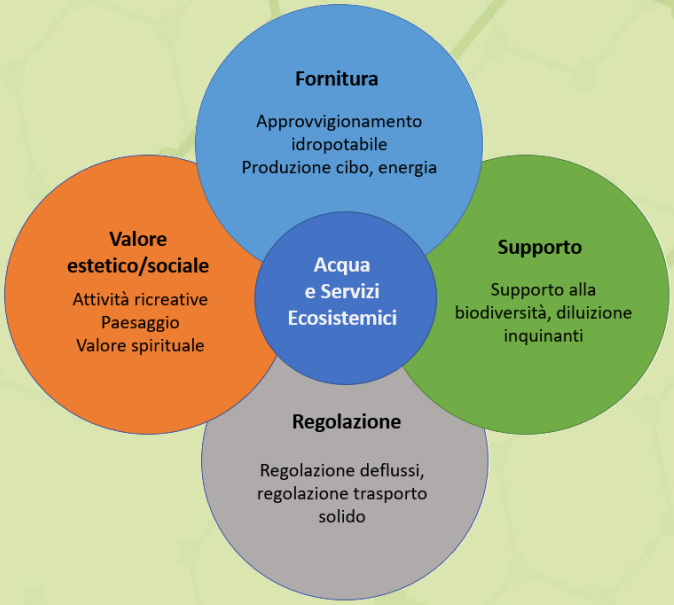
CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

Risorse idriche

Acqua e Servizi Ecosistemici

L'acqua è una componente fondamentale del capitale naturale, perché è alla base di un'ampia serie di benefici per il benessere umano, i.e. servizi ecosistemici, grazie alle sue interazioni con l'ecosistema terrestre. La valutazione dei servizi ecosistemici legati all'acqua (ad es. approvvigionamento idrico, produzione alimentare ed energetica, regolazione del clima o controllo dei sedimenti) può fornire indicazioni sui molteplici valori dell'acqua e garantire un supporto importante per la gestione integrata dei bacini idrografici. Concentrandosi sulla conversione dei processi ecoidrologici in servizi ecosistemici, possono essere sviluppate metriche del capitale naturale per la valutazione dei servizi ecosistemici a supporto della gestione delle risorse idriche. I servizi ecosistemici costituiscono una sovrapposizione della biosfera e dell'antroposfera, pertanto la loro valutazione deve comprendere una valutazione biofisica della loro produzione (ad esempio con la modellazione ecoidrologica) e del loro uso (ad esempio con l'impronta idrica), andando a coinvolgere i principali *stakeholders* all'interno del territorio di riferimento (approccio partecipativo).



Il concetto di servizi ecosistemici è strategico per l'attuazione della *Water Framework Directive* (WFD) che, perseguendo il raggiungimento di uno stato qualitativo adeguato per ogni corpo idrico, mira alla protezione degli ecosistemi per preservare la disponibilità a lungo termine delle risorse idriche e i benefici derivanti dagli ecosistemi acquatici.

L'implementazione del concetto di servizi ecosistemici permette la valutazione dei *trade-offs* e delle sinergie tra i benefici prodotti dall'acqua, promuovendo l'individuazione di soluzioni multifunzionali. L'approccio partecipativo utilizzato nell'individuazione dei principali servizi ecosistemici, anch'esso in linea con le indicazioni della WFD, favorisce la convergenza tra diverse visioni così da ottenere un'efficace strategia gestionale che traduca il generale concetto di bene comune in un equilibrio tra le diverse esigenze.

Esempio Applicativo

VALUTAZIONE SERVIZI ECOSISTEMICI NEL BACINO DEL FIUME ARNO

La valutazione dei servizi ecosistemici legati all'acqua nel bacino del fiume Arno è stata effettuata mediante lo sviluppo di una metodologia operativa che, integrando la modellistica idrologica (attraverso *SWAT – Soil Water Assessment Tool*) e metodologie di "*water accounting*" (e.g. *water footprint*), permette la mappatura e la quantificazione dei servizi stessi.
L'analisi biofisica è stata affiancata da una componente di ricerca sociale, attraverso metodi per il coinvolgimento della popolazione nei processi decisionali. Questo processo partecipativo ha permesso di conoscere, per alcuni comuni pilota, la varietà di valori dell'acqua percepiti nel territorio favorendo la definizione delle priorità gestionali.

Il risultato è stata la mappatura e la quantificazione dei servizi ecosistemici forniti dall'acqua nel bacino del fiume Arno, valutandone la correlazione in termini di co-benefici prodotti dalla risorsa idrica nel territorio. Il coinvolgimento degli *stakeholders* ha inoltre permesso la valutazione partecipata delle possibili strategie di intervento per garantire una maggiore produzione dei servizi ecosistemici nelle aree pilota considerate.

Bibliografia essenziale

Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. E., & Mooney, H. A., 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Annu. Rev. Environ. Resour., 32, 67-98.

Grizzetti, B., Liquete, C., Antunes, P., Carvalho, L., Geamănă, N., Giucă, R., Leone, M., McConnell, S.,Preda, E., Santos, R., Turkelboom. F., Vădineanu, A., Woods, H., 2016. Ecosystem services for water policy: Insights across Europe. Environmental Science and Policy, 66, 179-190.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

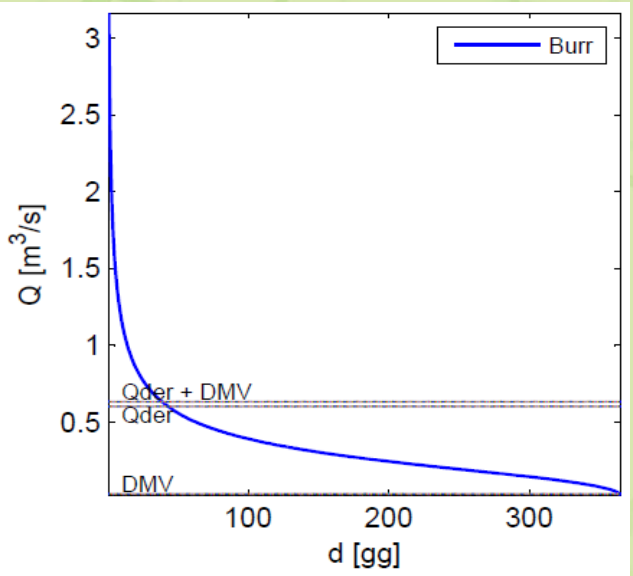
Enrica Caporali — *enrica.caporali@unifi.it*
Tommaso Pacetti — *tommaso.pacetti@unifi.it*

Il nome del metodo deriva dalla denominazione di un progetto INTERREG-ALCOTRA, finalizzato alla costruzione di strumenti per la valutazione quantitativa del potenziale idroelettrico sul territorio della Regione Piemonte.

Il progetto ha prodotto una sistematica raccolta e validazione dei dati idrometrici ed una base dati informatizzata relativa alle caratteristiche morfologiche e climatiche medie di oltre 120 bacini strumentati della regione idrografica Piemonte e Valle d'Aosta, documentata da un apposito Atlante dei Bacini Imbriferi.

La procedura sviluppata prevede l'impiego di una funzione analitica aventi interessanti proprietà di consistenza con le curve di durata naturali. Si tratta della funzione di Burr, che è una distribuzione di probabilità limitata sia inferiormente che superiormente. La stima dei parametri della funzione in bacini non strumentati è resa dipendente unicamente da semplici analisi GIS, mediante le quali si possono estrarre dalle cartografie (modello digitale del terreno), e dalle mappe climatiche (già disponibili per gli utenti) i tre parametri necessari alla costruzione della curva. Le funzioni polinomiali da utilizzare per la stima sono descritte nelle Norme Tecniche adottate dalla Regione Piemonte, applicabili seguendo il link http://www.idrologia.polito.it/tools/

Area [km]	16.68	IDF a dev.st. [mm/h]	0.5367
Quota media [m s.l.m.]	1804.84	Fourieri B1 [-]	-4.8393
Quota max [m s.l.m.]	2652	Cv_rp [-]	0.3352
Curva ipsografica 75% [m s.l.m.]	1495	Clc2 [%]	0.6115
MAP [mm]	1003.917	Clc3 [%]	0.3381
IDF a [mm/h]	16.536		

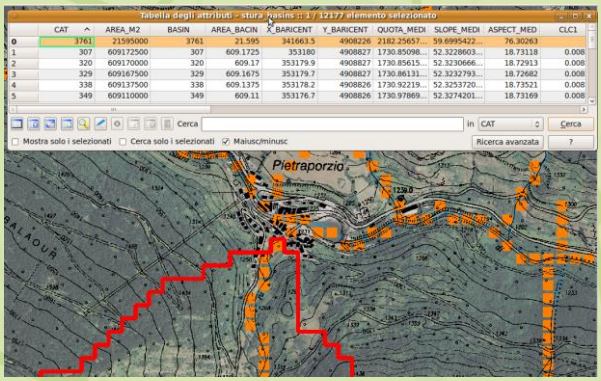


Un'applicazione importante è connessa alle modalità di depurazione degli effetti dei prelievi già assentiti sul corso d'acqua (*antropizzazione* della curva di durata). Apposite procedure utili per la determinazione della curva di durata antropizzata sono riportate nel rapporto tecnico del progetto (*Ganora et al., 2013*).

Esempio Applicativo

ANALISI AD ALTA RISOLUZIONE E NAVIGAZIONE DEI CONTENUTI

Un'applicazione sperimentale di RENERFOR ha considerato due bacini campione, Chisone e Stura di Demonte, aventi area superiore a 600 km², per distribuire i risultati della valutazione del potenziale idroelettrico. In essi l'intero reticolo fluviale è stato "discretizzato" ad alta risoluzione (50m) definendo altrettante sezioni fluviali e rispettivi sotto-bacini idrografici di dominio. Ogni pixel appartenente al reticolo fluviale corrisponde quindi ad un bacino idrografico le cui caratteristiche morfometriche e climatiche di interesse per lo studio (area, pendenza media, precipitazione media annua, ecc.) sono state memorizzate in un geo-database PostgreSQL ed utilizzate per rappresentare geograficamente la disponibilità "naturale" della risorsa e del salto geodetico sul territorio.



La producibilità idroelettrica lorda è stata valutata in via preliminare ricercando il massimo salto utile entro 500-2500 metri a valle di ogni pixel e utilizzando la stima della portata media antropizzata relativa al bacino sotteso dal pixel.

I risultati delle analisi ad alta risoluzione sono rappresentati attraverso una mappatura 2,5D, che rende possibile l'interrogazione di ogni punto per visualizzare tutte le grandezze di interesse (caratteristiche di bacino, stime idrologiche, stime di potenziale, ecc). E' stata anche prevista la visualizzazione interattiva 3D su piattaforma Google Earth, per la quale è sufficiente scaricare i files KMZ disponibili nell'area 'Open Data' del sito web www.idrologia.polito.it.

Bibliografia essenziale

Gallo, E., D. Ganora, F. Laio, A. Masoero, P. Claps. Atlante dei Bacini Imbriferi Piemontesi, Rapporto finale del progetto RENERFOR-ALCOTRA, Regione Piemonte, 2013, 978-88-96046-06-7

Ganora D., E. Gallo, F. Laio, A. Masoero, P. Claps . Analisi Idrologiche e Valutazioni del Potenziale Idroelettrico dei Bacini Piemontesi, Rapporto finale del progetto RENERFOR-ALCOTRA, Regione Piemonte, 2013, ISBN 978-88-96046-07-4

POLITECNICO DI TORINO

www.idrologia.polito.it

Gruppo di Ricerca

Pierluigi Claps — *pierluigi.claps@polito.it*

Francesco Laio — *francesco.laio@polito.it*

Daniele Ganora — *daniele.ganora@polito.it*

Enrico Gallo

Alessandro Masoero

Risorse idriche
Modellazione del bilancio idrologico in ambienti agricoli

La modellazione idrologica dei flussi scambiati fra il suolo, l'atmosfera ed i corpi idrici in ambienti agricoli è resa particolarmente complessa dall'estrema eterogeneità delle caratteristiche pedologiche e climatiche in territori di ampia estensione, dalla presenza di apporti esterni e di volumi di ricircolo difficilmente quantificabili e dalla scarsa disponibilità di misure sperimentali. Il gruppo di idrologia e costruzioni idrauliche del Dipartimento ICEA dell'Università di Padova si è occupato in questi anni dello sviluppo e dell'applicazione di un modello per la stima dei flussi idrici relativi al bilancio idrologico a scala comprensoriale, basato sulla simulazione delle dinamiche spazio-temporali del contenuto d'acqua del suolo nelle diverse unità territoriali del comprensorio. Il modello integra approcci geostatistici per l'interpolazione spaziale di variabili climatiche, e modelli fisicamente basati per la stima dell'infiltrazione in suoli parzialmente saturi, e si propone come un utile strumento di pianificazione e di gestione per i Consorzi, in particolare per la definizione degli obiettivi del Piano Comprensoriale di Bonifica e per il calcolo dei ruoli nei Piani di Classifica.

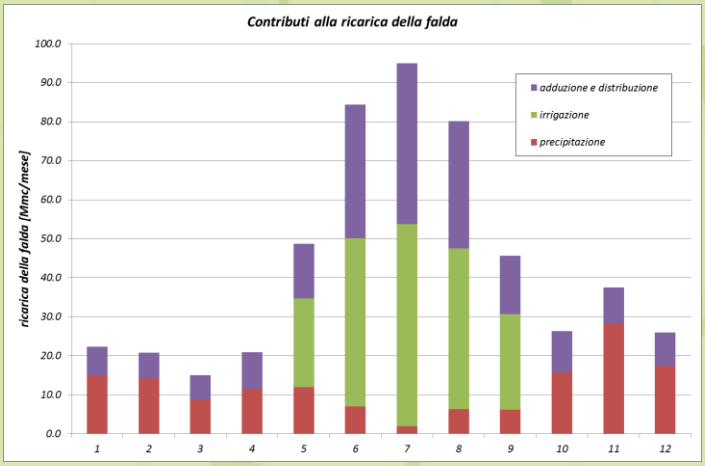
Esempio Applicativi

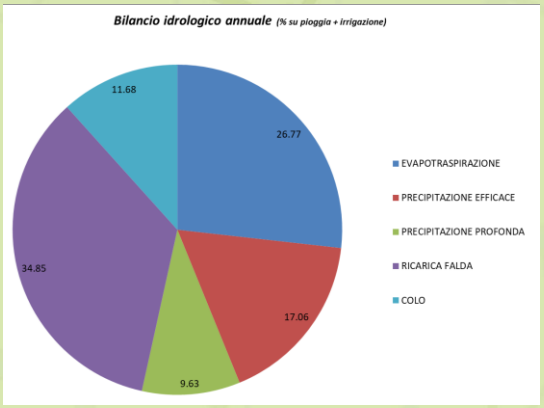
IL BILANCIO IDROLOGICO COMPRENSORIALE NEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA MEDIA PIANURA BERGAMASCA

L'applicazione modellistica è stata svolta con riferimento a diversi casi studio relativi a 4 diversi consorzi in territorio Lombardo. In questa sede si riporta, a puro titolo esemplificativo, qualche risultato rilevante che si riferisce al Consorzio della Media Pianura Bergamasca.

L'analisi dei risultati del bilancio idrologico evidenzia un quadro caratterizzato da una forte stagionalità dei flussi idrici in gioco, primi fra tutti la precipitazione e l'evapotraspirazione.

Nei mesi estivi (e particolarmente nel mese di luglio) si osserva la concomitanza fra i valori massimi di richiesta idrica da parte delle piante e i valori minimi di precipitazione (meno di 50 milioni di m³/mese per il comprensorio irriguo), con un'evidente condizione di deficit idrico legato alle fonti naturali. La situazione è particolarmente gravosa nelle zone sudorientali del comprensorio, dove gli apporti meteorici sono in generale meno abbondanti rispetto alle zone più settentrionali, e dove l'evapotraspirazione risulta significativa per via delle condizioni climatiche sfavorevoli. In questo contesto, è del tutto evidente come l'apporto irriguo risulti assolutamente determinante per garantire lo sviluppo delle colture durante i mesi estivi. In particolare, durante il mese di luglio, l'irrigazione provvede a oltre il 70% dei flussi idrici in ingresso al comprensorio, contribuendo per oltre il 50% all'evapotraspirazione attuata dalle colture all'interno del territorio comprensoriale. Le simulazioni svolte consentono anche di valutare i flussi idrici che dalla zona radicale vengono trasferiti in profondità e contribuiscono alla ricarica della falda. Tali flussi risultano significativi nei mesi estivi, con circa 100 milioni di m³ nel solo mesi di luglio, di cui 50 milioni di m³ derivanti da apporti irrigui. Una frazione significativa di questi volumi viene generata da percolazioni profonde a seguito di irrigazioni per scorrimento superficiale. Il dato è confermato dal calcolo del rapporto fra l'evapotraspirazione effettiva e gli apporti idrici complessivi sull'intero comprensorio, pari al 27% .





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

ICEA INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CIVIL, ARCHITECTURAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

https://www.dicea.unipd.it

Gruppo di Ricerca

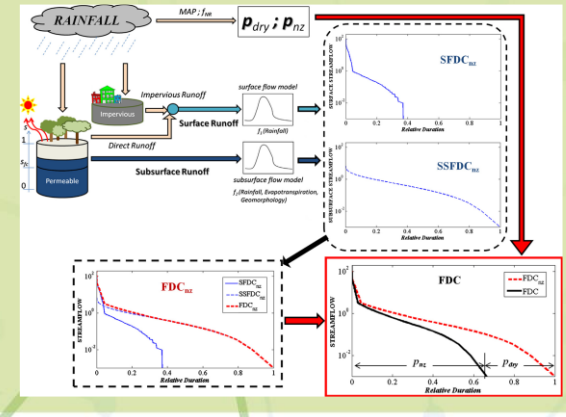
Gianluca Botter *gianluca.botter@dicea.unipd.it*

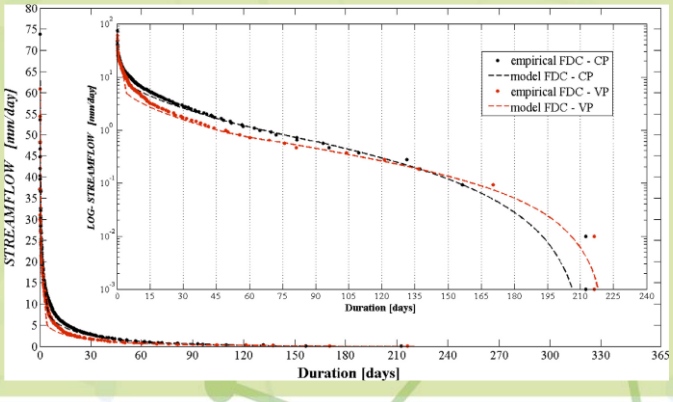
Paolo Salandin *paolo.salandin@dicea.unipd.it*

Il Modello Mod.A.Ba.

La curva di durata delle portate (FDC – Flow Duration Curve) fornisce un importante sintesi dei processi idrologici più rilevanti occorrenti a scala di bacino, e la sua conoscenza costituisce un elemento imprescindibile per la valutazione delle risorse idriche disponibili e la pianificazione di quelle derivabili. La ricostruzione delle FDC a partire da osservazioni storiche continue di portate o livelli idrometrici è spesso impedita in molti corsi d'acqua dalla mancanza di monitoraggio e di serie storiche disponibili. Negli ultimi anni sono stati sviluppati svariati approcci teorici per la sua ricostruzione anche in bacini non strumentati. Il deflusso viene spesso disaggregato in due componenti: una componente veloce superficiale ed una componente lenta sub-superficiale. La difficoltà nella ricostruzione matematica delle FDC è spesso esacerbata dalla presenza di una discontinuità periodica nel regime di deflussi (periodi in cui il corso d'acqua è completamente asciutto), che caratterizza molti bacini effimeri.

Il modello ModABa (MODel for Annual flow duration curves assessment in intermittent BAsins), è un modello ecoidrologico semi-analitico sviluppato nel 2014 (Pumo et al., 2014) in grado di ricostruire le curve di durata annuale, sia in bacini effimeri che in bacini perenni non strumentati, a partire dalla conoscenza di dati facilmente reperibili come piogge e temperature, e pochi semplici parametri del suolo (es., percentuale di frazione impermeabile del bacino, porosità, permeabilità, etc.) e della vegetazione (es., profondità radicale). Il modello è essenzialmente costituito da 3 moduli. Il primo modulo è finalizzato alla separazione dell'anno idrologico in una stagione con deflusso e una asciutta. Il secondo modulo è ulteriormente suddiviso in tre sottomoduli. Mediante i primi due vengono ricostruite, separatamente e per il periodo con deflussi (nz: no zero flow period), la curva delle durate relativa al deflusso lento sub-superficiale, $SSFDC_{nz}$ (modello analitico) e quella relativa al deflusso veloce superficiale $SFDC_{nz}$ (a partire dalla conoscenza della curve delle durate delle precipitazioni). Il terzo sottomodulo mette insieme le due curve $SSFDC_{nz}$ e $SFDC_{nz}$ al fine di ottenere la curva delle durate complessiva relativa al periodo con deflussi. Infine, l'ultimo modulo del ModABa, applica la teoria della probabilità totale al fine di ottenere la curva FDC relativa all'intero anno idrologico. Il modello costituisce anche un valido strumento per quantificare come il deflusso si ripartisce fra componente veloce superficiale e componente lenta sub-superficiale. Il modello è stato calibrato e validato su diversi bacini siciliani. Si riporta di seguito lo schema generale del modello e il confronto fra FDCs empiriche e teoriche relativamente ad un'applicazione al bacino dell'Eleuterio a Lupo per un periodo di calibrazione di 32 anni (CP) e un successivo periodo di validazione di 16 anni (VP).

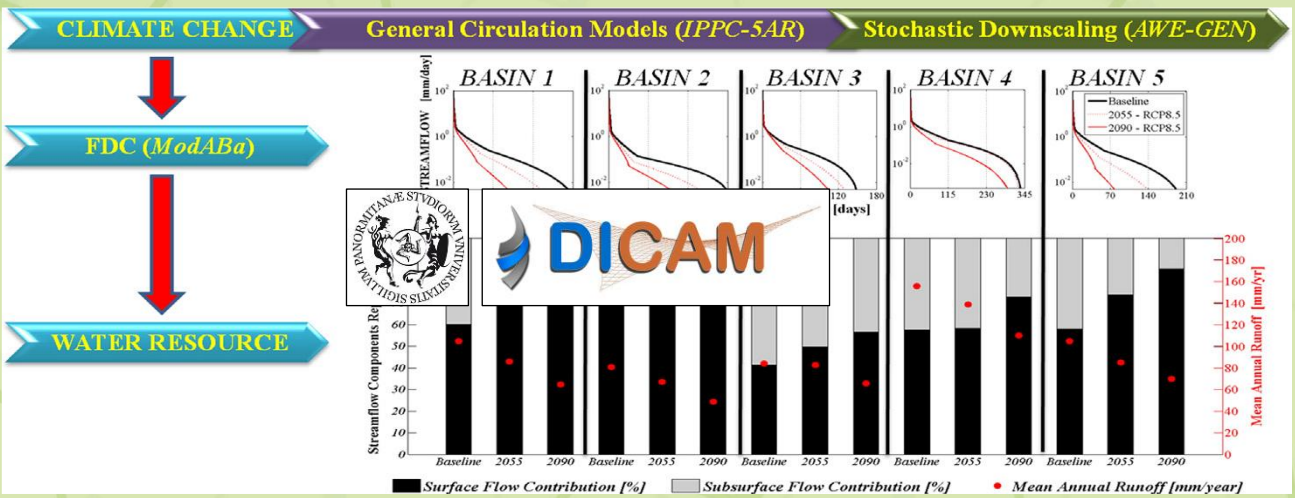




Esempio Applicativo

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEL REGIME IDROLOGICO DI BACINI EFFIMERI

Nel presente esempio (Pumo et al., 2016), il modello ModABa viene utilizzato al fine di prevedere gli effetti del cambiamento climatico, in termini di effetti sulla FDC, sul deflusso medio annuo e sulla ripartizione fra deflusso profondo e superficiale, in 5 bacini siciliani (Forgia a Lentina, Baiata a Senora, Fastaia a La Chinea, Nocella a Zucco e Senora a Finocchiara). Il modello, dopo essere stato opportunamente calibrato e validato su periodi con serie di deflusso disponibili, viene forzato con scenari climatici (piogge e temperature giornaliere) derivanti da un generatore climatico (AWE-GEN) e rappresentativi delle condizioni climatiche attuali e di due orizzonti temporali futuri, riferiti alle finestre temporali 2045-2065 e 2081-2100 e basati su un downscaling di un ensamble di previsioni da 32 GCMs (General Circulation Models) relativi alle traiettorie RCP4.5 (moderatamente ottimistica) e RCP 8.5 (pessimistica) dell'IPCC-5AR (5th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013).



La ricostruzione futura delle curve di durata nei 5 bacini, considerando le previsioni di cambiamento climatico nei prossimi 50 e 100 anni, ha permesso di quantificare la riduzione futura nel deflusso medio annuo (che riflette la prevista riduzione delle piogge), evidenziando anche le diverse risposte dei bacini in funzione delle diverse caratteristiche geomorfologiche, dimensioni dei bacini, patterns di vegetazione e suolo. Ad esempio, bacini caratterizzati da suoli più permeabili e/o con scarsa presenza di vegetazione arbustiva hanno mostrato una minore sensitività ai cambiamenti climatici futuri. Le alterazioni del regime idrologico più significative sono previste sia in termini di distribuzione stagionale del deflusso che di ripartizione fra deflusso superficiale e profondo. La stagione senza deflusso potrebbe essere più lunga in futuro (nello scenario più pessimistico e considerando le proiezioni a 100 anni, anche di quasi 3 mesi). Il regime idrologico di molti fiumi "effimeri", potrebbe cambiare di classificazione, risultando più simile al regime "episodico torrenziale". La ripartizione futura fra le due tipologie di deflusso simulate dal ModABa potrebbe vedere un aumento percentuale della componente superficiale, con una maggiore frequenza di portate estreme.

Bibliografia essenziale

Pumo D., Viola F., La Loggia G., Noto L.V. (2014) Annual flow duration curves assessment in ephemeral small basins. Journal of Hydrology, 519 (Part A): 258-270, doi:10.1016/j.jhydrol.2014.07.024

Pumo D., Caracciolo D., Viola F., Noto L.V. (2016) Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins. Science of the Total Environment, 542 (Part A): 76-92, doi:10.1016/j.scitoten.2015.10.109

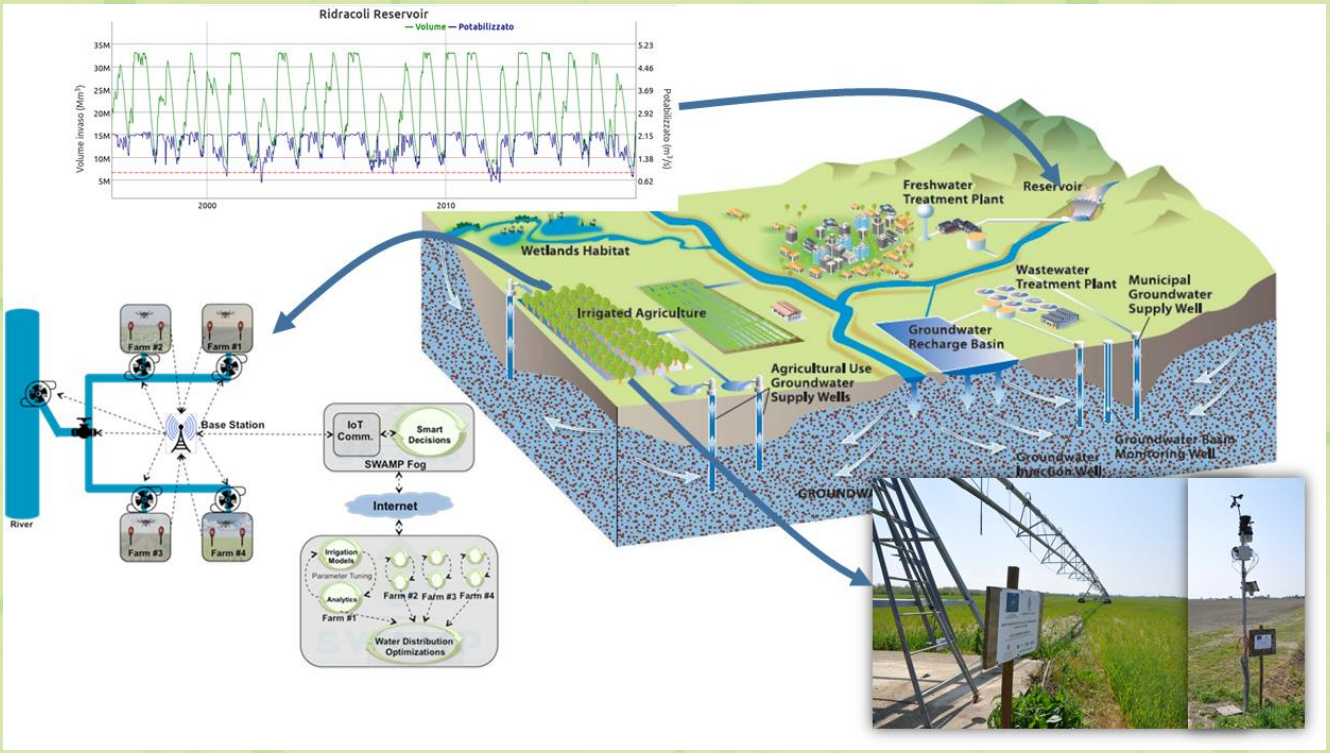
Gruppo di Ricerca

Goffredo La Loggia goffredo.laloggia@unipa.it
Leonardo V. Noto leonardo.noto@unipa.it
Dario Pumo dario.pumo@unipa.it
Antonio Francipane antonio.francipane@unipa.it

http://www.unipa.it

Risorse idriche
Ottimizzazione in ambito irriguo ed urbano

La gestione ottimale dell'approvvigionamento idrico dei sistemi urbani, industriali e agricoli riveste un'attenzione sempre maggiore, in particolar modo nelle regioni mediterranee, spesso colpite da condizioni di scarsità idrica. I sistemi di approvvigionamento e distribuzione attuali si trovano sempre più di frequente ad affrontare problemi legati alla bassa efficienza, all'obsolescenza, alla gestione impropria e all'aumento della domanda idrica.



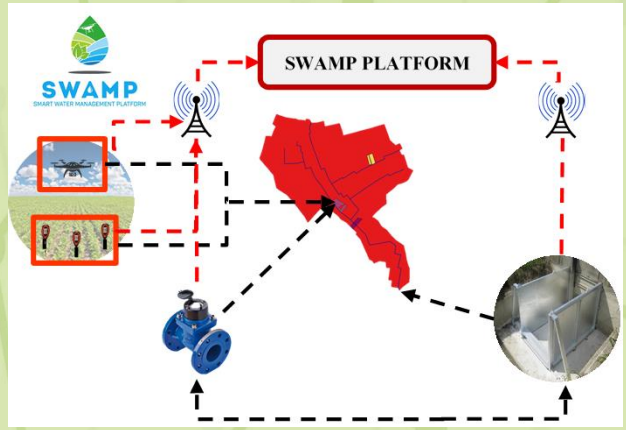
Da un lato, il settore agricolo è responsabile del 70% del consumo idrico globale (l'agricoltura rappresenta il maggiore, e spesso il più inefficiente, utilizzatore di acqua), dall'altro lato, l'elevato grado di urbanizzazione, la concentrazione della popolazione e delle attività industriali e commerciali influenzano severamente la disponibilità d'acqua, specialmente nella stagione estiva, quando la domanda è massima e la disponibilità è minima. Tali criticità appaiono ancor più stringenti alla luce del possibile incremento della domanda idrica dovuto agli attesi cambiamenti climatici e socio-economici.

Il gruppo di lavoro di Costruzioni Idrauliche del DICAM dell'Università di Bologna sviluppa ed impiega algoritmi, modelli e sistemi per l'ottimizzazione e il monitoraggio:

- degli invasi ad uso idroelettrico, idropotabile e irriguo;
- del fabbisogno irriguo (*precision farming*);
- delle reti di distribuzione ad uso irriguo in pressione e a gravità;
- delle reti acquedottistiche e dei sistemi fognari.

Esempio Applicativo

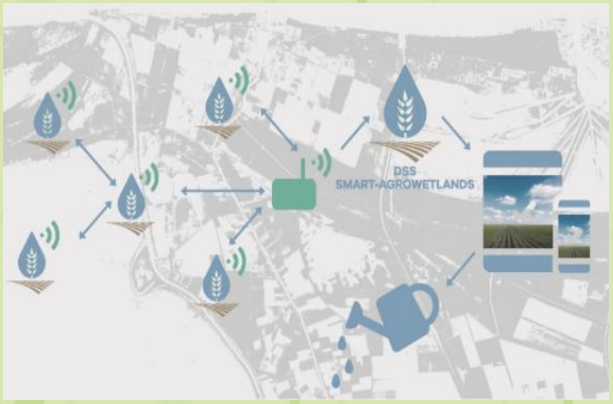
PROGETTO SWAMP (SMART WATER MANAGEMENT PLATFORM)



L'obiettivo del progetto è quello di creare una piattaforma in grado di acquisire dati e integrare informazioni provenienti da fonti diverse come sensori installati in campo, previsioni meteo, immagini da droni e lungo la rete di distribuzione. In base a regole di gestione ottimali, la piattaforma SWAMP fornisce risposte in tempo reale, in modo da adattare il fabbisogno idrico delle varie colture alle diverse condizioni al contorno. La regolazione della rete di distribuzione avviene attraverso comandi indirizzati ad attuatori automatici o al personale incaricato. (www.swamp-project.org)

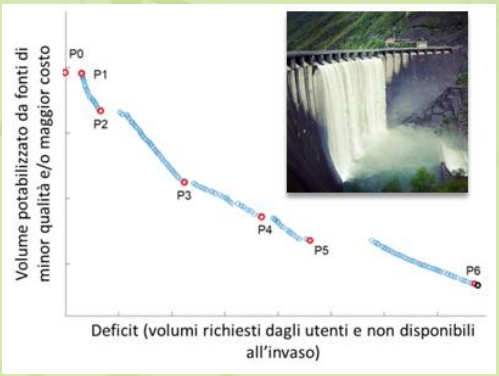
PROGETTO LIFE AGROWETLANDS II

Smart water and soil salinity management in agro-wetlands per una gestione intelligente dell'acqua nelle aree umide ad alta salinizzazione. L'obiettivo è lo sviluppo di un Sistema di Supporto alle Decisioni in grado di ottimizzare i consigli irrigui (precision farming) e contrastare la degradazione del suolo e degli ecosistemi naturali in aree agricole mediterranee a falda superficiale e con problemi di salinizzazione del suolo. Il progetto prevede il monitoraggio quali-quantitativo dei canali di bonifica e la loro modellazione idraulica con l'obiettivo di ottimizzarne la gestione favorendo quindi il risparmio idrico.



(www.lifeagrowetlands2.eu)

OTTIMIZZAZIONE DELLE REGOLE DI GESTIONE DELL'INVASO DI RIDRACOLI



Collaborazione con RomagnaAcqua –Società delle Fonti SpA. Analisi della disponibilità e della domanda idrica storica (anche tramite un modello di domanda in funzione delle condizioni climatiche e dei flussi turistici, Toth et al., 2018). Ottimizzazione multiobiettivo dei criteri di gestione del serbatoio, in funzione dei consumi critici attesi e dell'uso integrato delle altre fonti (captazione da tratti fluviali vallivi, campi pozzi), per massimizzare, a parità di affidabilità del servizio, la produzione da fonti di approvvigionamento superficiali di alta qualità e con prevalente funzionamento a gravità.

Bibliografia essenziale

Toth E., Bragalli C., Neri M. (2018), Assessing the significance of tourism and climate on residential water demand: Panel-data analysis and non-linear modelling of monthly water consumptions, Environmental Modelling and Software, 103, pp. 52-61.

Fouial A., Fernández García I., Bragalli C., Brath A., Lamaddalena N., Rodríguez Diaz J.A. (2017) Optimal operation of pressurised irrigation distribution systems operating by gravity, Agricultural Water Management, 181, pp.77-85.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Cristiana Bragalli cristiana.bragalli@unibo.it
Armando Brath armando.brath@unibo.it
Sara Simona Cipolla sara.cipolla@unibo.it
Alessio Domeneghetti alessio.domeneghetti@unibo.it
Mattia Neri mattia.neri5@unibo.it
Alessio Pugliese alessio.pugliese3@unibo.it
Elena Toth elena.toth@unibo.it

Risorse idriche

Stima del deflusso annuale

La valutazione del deflusso annuo medio e la sua variabilità interannuale in un bacino è il primo e fondamentale compito per diverse attività legate alla gestione delle risorse idriche e all'analisi della qualità dell'acqua. La scarsità di dati di deflusso osservato è un problema comune in tutto il mondo, quindi la stima del deflusso nei bacini non strumentati è ancora una questione aperta. In questo contesto, si propone un semplice strumento in grado di stimare la distribuzione di probabilità del deflusso superficiale annuale in bacini, anche non strumentati, in aree aride e semi-aride usando la parametrizzazione semplificata di Fu della curva di Budyko a scala regionale. Nello specifico, forniamo un'espressione in forma chiusa della distribuzione annuale del deflusso in funzione della media e della deviazione standard di alcune variabili climatiche di facile reperimento, quali le precipitazioni annuali e l'evapotraspirazione potenziale. È inoltre necessaria la conoscenza del parametro di Fu, che si può reperire in letteratura giacché è stato mappato su tutto il globo. La semplicità computazionale dello strumento proposto lo rende un valido strumento di supporto nel campo della valutazione delle risorse idriche per professionisti, agenzie regionali e autorità impegnate nella gestione delle acque.

Schema esplicativo del metodo e dei parametri utilizzati

Equazione di Fu

$$\frac{\overline{E}}{\overline{R}} = 1 + \frac{\overline{E_p}}{\overline{R}} - \left(1 + \left(\frac{\overline{E_p}}{\overline{R}}\right)^{\omega}\right)^{\frac{1}{\omega}}$$

Sviluppo in serie di Taylor, arrestato al primo termine

$$\frac{E}{R} = a\frac{E_p}{R} + b$$

$$a = 1 - \left(\frac{\overline{E_p}}{\overline{R}}\right)^{\omega-1}\left(1 + \left(\frac{\overline{E_p}}{\overline{R}}\right)^{\omega}\right)^{\frac{1-\omega}{\omega}}$$

$$b = 1 - \left(1 + \left(\frac{\overline{E_p}}{\overline{R}}\right)^{\omega}\right)^{\frac{1}{\omega}-1}$$

Soluzione analitica

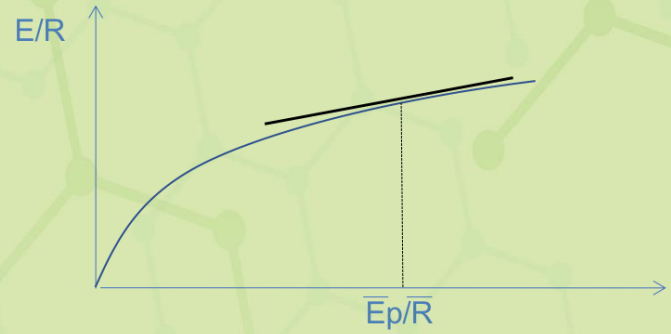
$$p(Q) = c\frac{e^{-\frac{(Q-\mu_X+\mu_Y)^2}{2\left(\sigma_X^2+\sigma_Y^2\right)}}}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\sigma_X^2+\sigma_Y^2}}$$

$$\mu_X = (1-b)\overline{R}$$

$$\mu_Y = a\overline{E_p}$$

$$\sigma_X = (1-b)\ \sigma_R$$

$$\sigma_Y = a\ \sigma_{E_p}$$



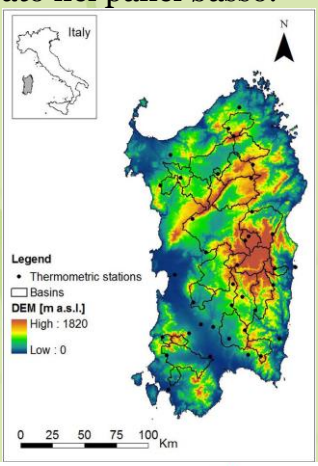
Servono solo cinque parametri per caratterizzare la distribuzione del deflusso annuale. Le statistiche di primo e secondo ordine della pioggia e dell'evapotraspirazione annuale $\overline{R}, \sigma_R, \overline{E_p}, \sigma_{E_p}$ e il parametro ω della curva di Fu.

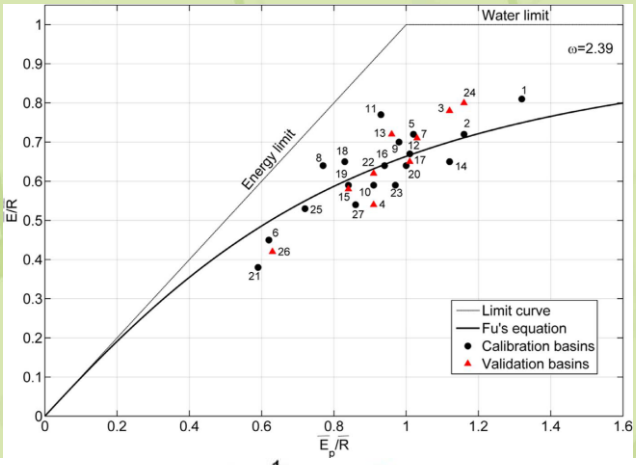
Esempio Applicativo

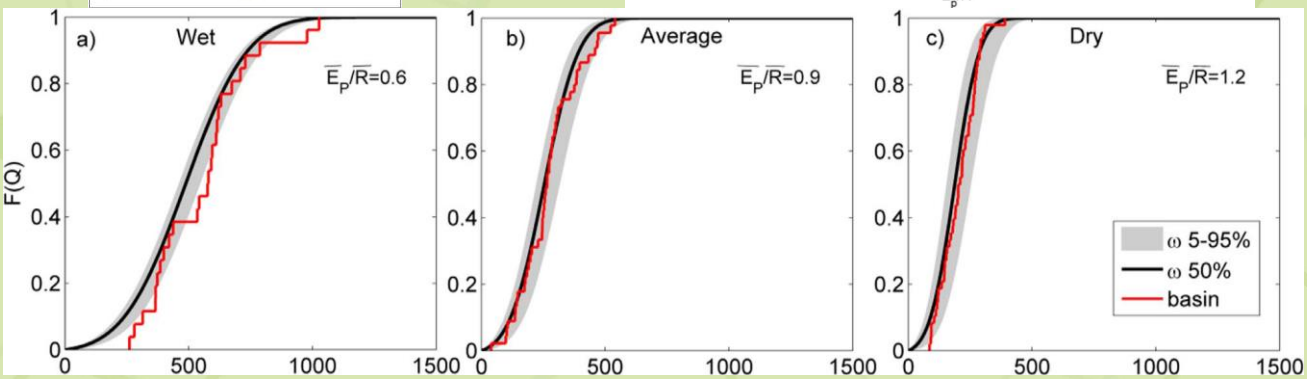
STIMA DEL DEFLUSSO ANNUALE IN SARDEGNA

Il metodo proposto è stato applicato alla regione Sardegna (Italia), che come noto è un'isola di circa 24.000 km² situata nel Mar Mediterraneo, caratterizzata da una topografia piuttosto complessa, come mostrato nella figura in alto a sinistra. Il clima della Sardegna mostra un tipico comportamento mediterraneo con forte stagionalità; le piogge hanno una significativa variabilità interannuale e spesso si verificano periodi pluriennali asciutti, che portano a periodi di siccità prolungati. Le precipitazioni medie annuali sono comprese tra 500 mm nelle zone a bassa quota e 1160 mm sulle montagne più alte.

Per l'applicazione sono stati considerati 27 bacini con osservazioni idro-meteo di durata compresa tra 16 e 68 anni nel periodo 1924-1992; sono stati selezionati considerando solo bacini senza dighe o traverse. In queste 27 stazioni sono disponibili i dati di deflusso giornalieri relativamente a dei bacini con aree comprese tra 20,6 e 1329,6 km², i cui confini sono indicati nella figura in alto a sinistra. Il database di partenza è stato usato in parte per calibrare il metodo ed in parte per validarlo, come rappresentato in figura in alto a destra. Questa procedura è stata ripetuta per tutte le combinazioni possibili al fine di stimare le performance del metodo in bacini non strumentati. Il metodo si è mostrato molto robusto nella stima delle distribuzioni di probabilità e capace di fornire una risposta soddisfacente al variare delle condizioni idrologiche dei bacini, come illustrato nel panel basso.







Bibliografia essenziale

Viola F., Caracciolo D., Forestieri A., Pumo D., Noto L.V., Annual runoff assessment in arid and semi-arid Mediterranean watersheds under the Budyko's framework, Hydrological Processes, 2017, DOI: 10.1002/hyp.11145

Caracciolo, D., Deidda, R., Viola, F., Analytical estimation of annual runoff distribution in ungauged seasonally dry basins based on a first order Taylor expansion of the Fu's equation, Advances in Water Resources, 2017, 109, pp. 320-332, 2017

Gruppo di Ricerca

Roberto Deidda — rdeidda.unica.it

Francesco Viola — viola@unica.it

Enrica Perra — enrica_perra@hotmail.it

Dario Ruggiu — dario.rgg@hotmail.it

www.unica.it

ACQUE SOTTERRANEE

DISPERSIONI DAGLI INVASI

FLUSSO E TRASPORTO

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

Acque sotterranee

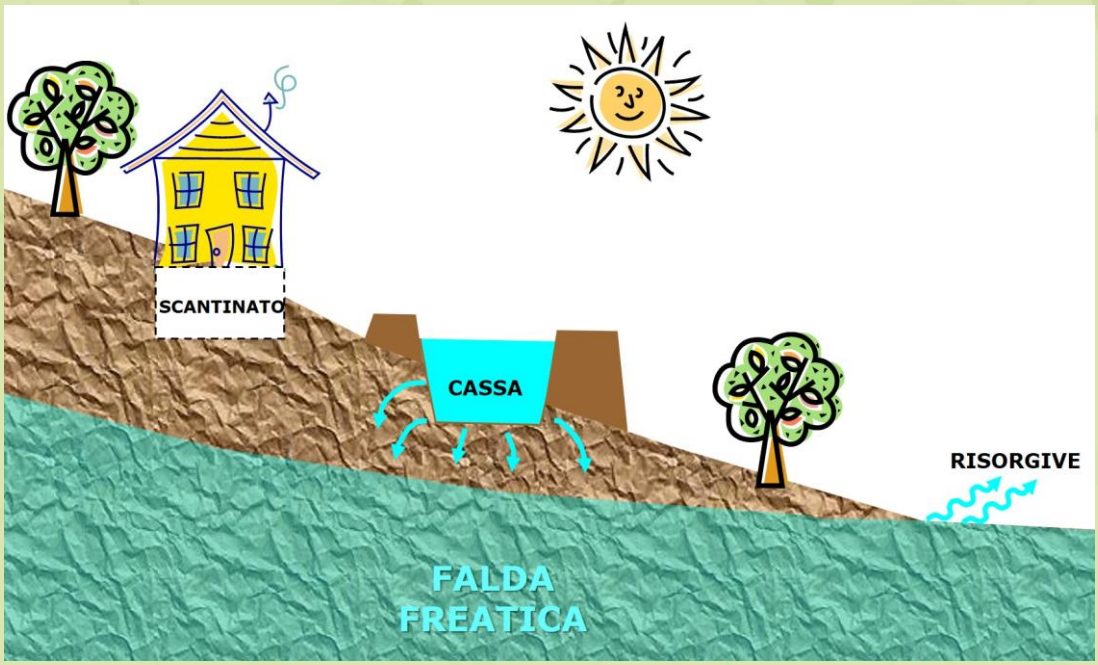
Dispersioni dagli invasi

Alla luce degli eventi alluvionali registrati in Veneto a fine 2010, la Regione Veneto ha deciso di promuovere e finanziare “azioni ed interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico al fine della riduzione definitiva degli effetti dei fenomeni alluvionali ed in coerenza con gli altri progetti di regimazione delle acque, predisposti per la tutela e la salvaguardia del territorio”.

Gli interventi previsti per mitigare la condizione di rischio idraulico nei diversi bacini sono fondamentalmente: 1) interventi di manutenzione straordinaria sui corpi arginali quali rinforzi, risagomature e rialzi, e 2) riduzione dei colmi di piena per mezzo dell’inserimento di volumi di laminazione (casse di espansione) opportunamente posizionati in prossimità degli alvei.

Il volume di laminazione totale, somma dei contributi delle 15 casse di espansione (nuove o allargamento di esistenti) previsto dal piano degli interventi è pari a 73 ML mc. Il posizionamento di alcune casse nella alta e media pianura richiede una particolare attenzione verso le possibili dispersioni dalla cassa alla falda sottostante, in particolare in presenza di livelli freatimetrici alti e di interrati e semi interrati.

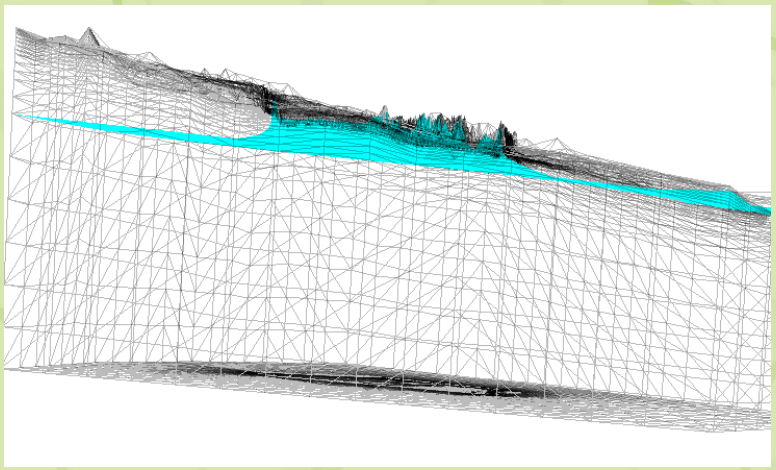
L’implementazione di modelli numerici permette la previsione della possibile evoluzione dei livelli piezometrici nelle aree sensibili in relazione all’estensione/costruzione e all’utilizzo dell’invaso ad uso di piena. È pertanto possibile ricavare una stima quantitativa di eventuali effetti indesiderati, in particolare legati a eccessivi livelli freatici, dovuti al riempimento della cassa di espansione a seguito di eventi di piena del corso d’acqua afferente (sorgente), con particolare attenzione a impatti su abitazioni, a loro scantinati e/o eventuali pozzi (ad uso irriguo o di monitoraggio) presenti nell’area oggetto dello studio.

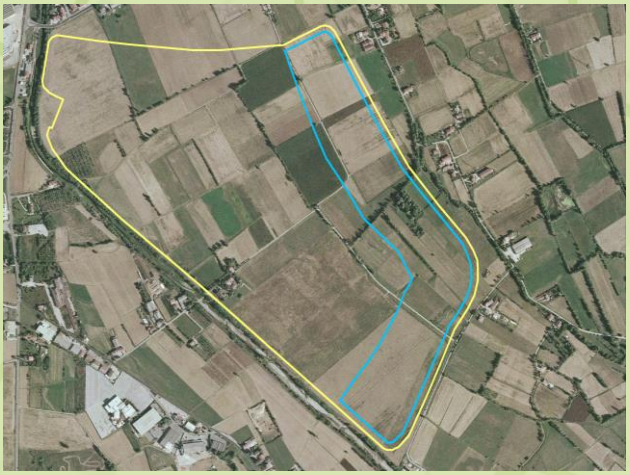


Esempio Applicativo

IMPATTI SUGLI ASSETTI PIEZOMETRICI NEI SISTEMI ACQUIFERI INTERESSATI DAI BACINI DI CALDOGNO (VICENZA)

La cassa di espansione di Caldogno è una delle opere previste dalla Regione Veneto, finalizzate alla messa in sicurezza della città di Vicenza e permette di derivare parte della portata transitante nell'adiacente torrente Timonchio e, conseguentemente, di diminuire la portata residua in alveo. La falda freatica sottostante la cassa di espansione, pur oscillando di alcuni metri, non è particolarmente profonda (1-10 metri dal piano campagna). Questa peculiarità influenza notevolmente l'impatto del riempimento della cassa sugli assetti piezometrici sottostanti e circostanti. Il sottosuolo è costituito da un primo strato di terreno argilloso impermeabile non continuo su tutta l'area, di spessore fino a 3 metri, e da strati sottostanti di materiale incoerente grossolano. Lo strato argilloso superficiale sembra assottigliarsi, fino a scomparire, procedendo verso la zona di monte. In quest'area, nel passato, sono state svolte attività estrattive (cave di argilla) che hanno portato alla diminuzione dello spessore dello strato impermeabile e alla formazione di estese aree depresse. Il volume dell'invaso è di 3.8 ML m^3 su una superficie di 100 ha. Il modello matematico implementato ha permesso di simulare l'invaso della cassa e la conseguente infiltrazione nei terreni sottostanti. Dalle simulazioni condotte si evince che la presenza di suoli con permeabilità dell'ordine di 10^{-4} [m/s] – valori giudicati attendibili sulla base delle evidenze di campo raccolte dai progettisti – comporta un non trascurabile trasferimento di volumi d'acqua dalla cassa. Le aree identificate come sensibili sono in particolare quelle a ridosso degli argini Sud ed Est. Per annullare gli impatti generati dalla saturazione superficiale dei terreni dovuta al riempimento della cassa, si dimostra sufficiente la predisposizione di una fascia tampone interna alla cassa e adiacente agli argini Sud ed Est. Tale fascia, di contenimento delle infiltrazioni, è prevista di circa 30 ha (per una larghezza di circa 200 m), di spessore pari a 50 – 70 cm, opportunamente compattata per garantire permeabilità dell'ordine di 10^{-6} [m/s].





Nella figura di sinistra: superficie freatica dopo 24 ore dall'inizio del riempimento. Terreni sotto alla cassa saturi. Nella figura di destra: fascia di contenimento delle infiltrazioni, inserita nel progetto definitivo.

Bibliografia essenziale

Rinaldo, A., Putti, M., Passadore, G., Modello matematico per la stima degli impatti sugli assetti piezometrici nei sistemi acquiferi interessati dalla realizzazione della cassa di espansione di Caldogno (Vicenza). Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini", novembre 2011

Rinaldo, A., Passadore, G., Modello matematico degli impatti sugli assetti piezometrici nei sistemi acquiferi interessati dal bacino di Montebello (Vicenza), Centro Interdipartimentale di Ricerca "Centro di Idrologia Dino Tonini", novembre 2015

Università degli Studi di Padova

ICEA Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Civil, Architectural and Environmental Engineering

https://www.dicea.unipd.it/

Gruppo di Ricerca

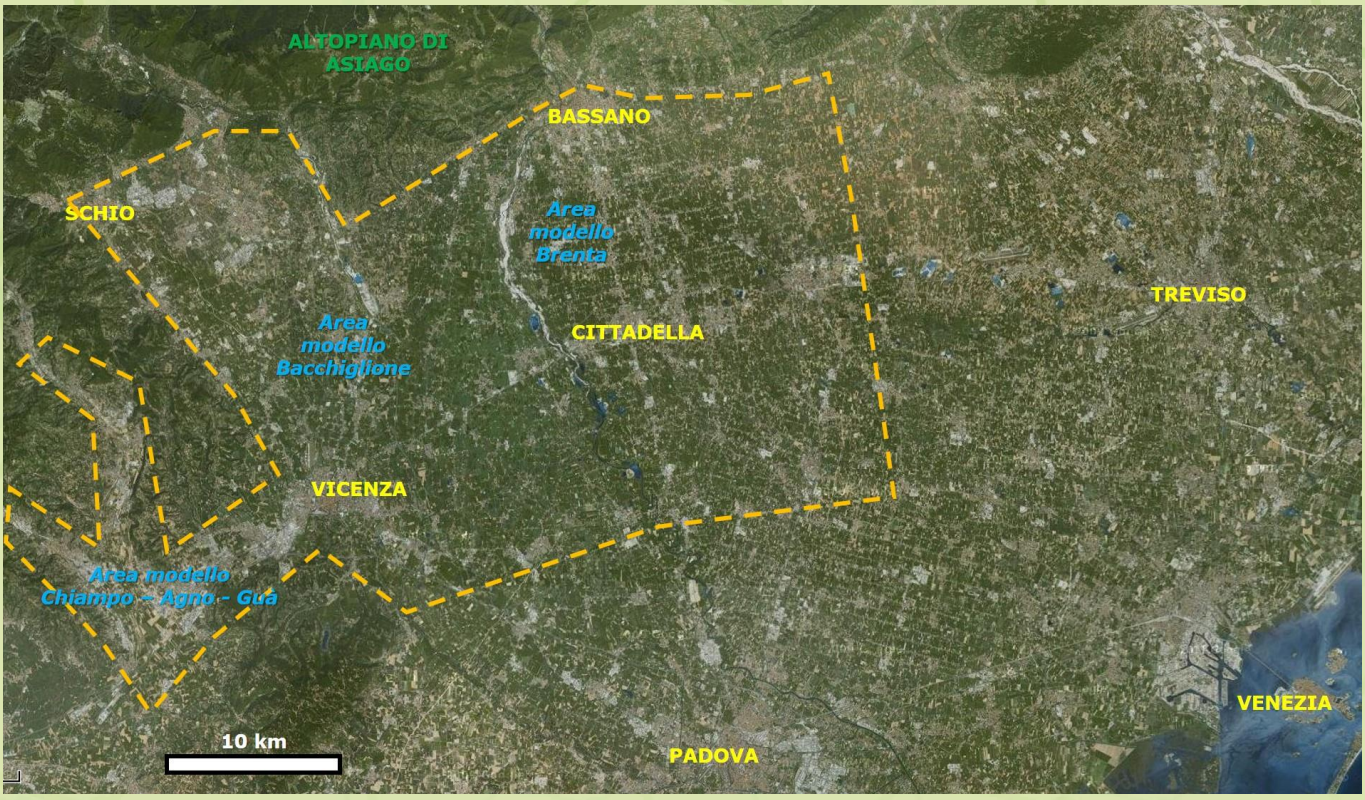
Andrea Rinaldo andrea.rinaldo@unipd.it

Giulia Passadore giulia.passadore@dicea.unipd.it

Acque sotterranee

Flusso e Trasporto

Il “Centro di Idrologia Dino Tonini” dell’Università di Padova conduce dal 2003 studi e ricerche idrogeologiche, finalizzati alla messa a punto di modelli matematici di flusso e trasporto per la tutela e la gestione delle risorse idriche sotterranee dell’alta e media pianura Veneta. La rilevanza del problema è notevole: la pianura alluvionale veneta rappresenta un serbatoio di acqua fra i più importanti d’Italia, dal quale vengono effettuati gli attingimenti idropotabili a favore delle province di Vicenza, Padova e Verona. D’altra parte, gli acquiferi in oggetto sono interessati da alcuni fenomeni di contaminazione più o meno recenti (tra tutti, si ricorda il caso delle sostanze perfluoroalchiliche - PFAS nel bacino del Chiampo - Agno - Guà) che hanno dimostrato e dimostrano la grande vulnerabilità delle acque sotterranee, studiate e monitorate fin dagli anni ‘70. È dunque evidente che lo sviluppo di modelli matematici, calibrati su evidenze di campo, è di fondamentale importanza dal punto di vista scientifico e pratico. I modelli matematici sviluppati rappresentano lo stato più avanzato delle conoscenze nei sistemi acquiferi dei territori dei bacini del Brenta, del Bacchiglione e del Chiampo – Agno – Guà e costituiscono un importante strumento a disposizione degli Enti competenti, di supporto alla gestione della risorsa idrica sotterranea a scala regionale.



In figura, l’area interessata dalla modellazione matematica tridimensionale. Da sinistra: area degli acquiferi del sistema Chiampo – Agno – Guà, area degli acquiferi del Bacchiglione e area degli acquiferi del Brenta. Gli acquiferi modellati ricadono nell’area di alta e media pianura Veneta.

Esempio Applicativo

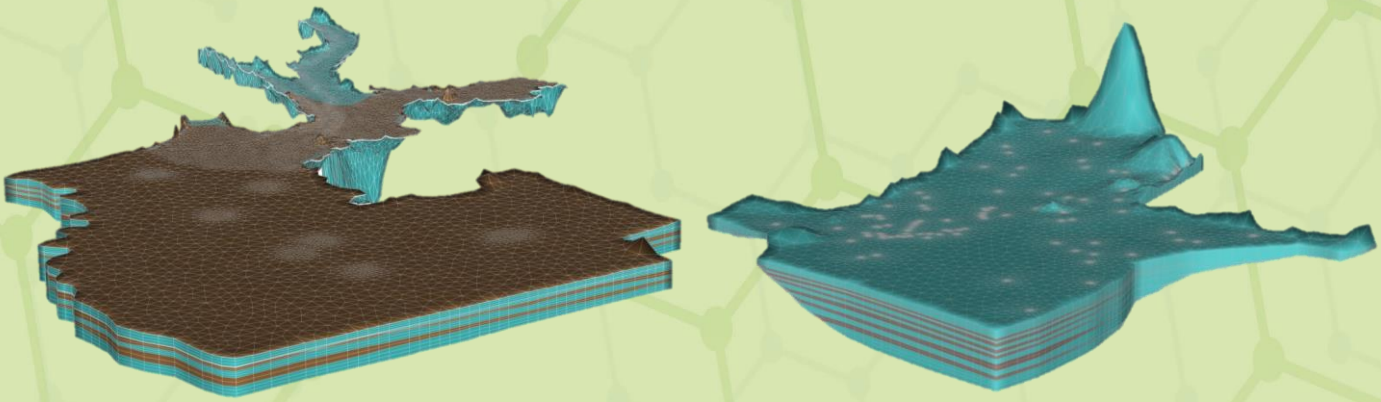
MODELLI MATEMATICI PER LA TUTELA E LA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE. BACINI DEL BACCHIGLIONE, DEL BRENTA, E DEL SISTEMA CHIAMPO-AGNO-GUA'

I modelli di flusso permettono di affrontare e gestire le problematiche quantitative attuali e di suggerire risposte in merito alla sostenibilità, nel medio-lungo periodo, degli odierni livelli di sfruttamento degli acquiferi veneti. È pertanto possibile stimare gli impatti sugli assetti piezometrici causati da: nuovi attingimenti, chiusura di pozzi – pubblici o privati, diminuzione dell'apporto meteorico, passaggio da sistemi di irrigazione a scorrimento a sistemi pluvio-irrigui, realizzazione di impianti di ricarica forzata delle falde, dispersione in falda da parte delle casse di espansione.

I modelli di trasporto, strettamente connessi al campo di moto e alle proprietà eterogenee delle permeabilità dei terreni attraversati, forniscono l'evoluzione spazio – temporale del plume di inquinante ipotizzando diverse concentrazioni e diverse sorgenti, puntuali e/o diffuse, dello sversamento. Pertanto, è possibile ricostruire le modalità e le tempistiche dell'evoluzione dell'episodio di inquinamento e stimare l'efficacia degli interventi di bonifica.

L'ampiezza dei domini modellati e il dettaglio della risoluzione locale sono tali da vincolare la rappresentatività degli scenari alla scala regionale: la validità delle stime perderebbe di significato qualora il dettaglio dell'analisi fosse spinto oltre il livello di discretizzazione predefinito.

Le attività propedeutiche all'implementazione dei modelli matematici sono: 1) la ricostruzione dell'assetto geostrutturale e la caratterizzazione degli acquiferi; 2) la stima dei termini del bilancio idrogeologico; 3) la raccolta, organizzazione ed analisi dei monitoraggi quali-quantitativi degli acquiferi oggetto di studio. Pertanto, gli strumenti modellistici implementati organizzano tutti i dati e le informazioni georeferenziate di tipo stratigrafico, meteorologico e idrogeologico disponibili. Ogni nuovo elemento conoscitivo reso disponibile nel tempo potrà essere inserito e contribuire all'aggiornamento dei modelli e del database informativo.



In figura, assetto geostrutturale degli acquiferi del Chiampo - Agno – Guà (a sinistra) e del bacino del Bacchiglione (a destra). In azzurro, gli acquiferi e in marrone le lenti a bassa permeabilità.

Bibliografia essenziale

Rinaldo, A., Passadore, G., Modelli matematici per la tutela e la gestione delle risorse idriche sotterranee del Consiglio di Bacino Bacchiglione, Prima Relazione, Centro di Idrologia "Dino Tonini" - Università degli Studi di Padova, novembre 2017

Rinaldo, A., Altissimo, L., Putti, M., Passadore, G., Monego, M., Sottani, A., Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale A.A.T.O. Brenta. Relazione finale, Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini" - Università degli Studi di Padova, maggio 2010

Università degli Studi di Padova

ICEA Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Civil, Architectural and Environmental Engineering

https://www.dicea.unipd.it

Gruppo di Ricerca

Andrea Rinaldo andrea.rinaldo@unipd.it

Giulia Passadore giulia.passadore@dicea.unipd.it

IDROLOGIA AMBIENTALE

ANALISI HABITAT FLUVIALE

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

Analisi habitat fluviale

L'habitat fluviale ed, in particolare, la numerosità e la distribuzione spazio-temporale a scala di bacino dei macro-invertebrati, quali indicatori chiave dello stato di qualità di un corso d'acqua, sono principalmente controllati dal regime dei deflussi. Sulla base dello studio di *Ceola et al. (2014)*, si presenta una procedura innovativa per la valutazione spazialmente esplicita della numerosità di alcune specie di macro-invertebrati fluviali. Tale procedura, basata su un approccio probabilistico, è in grado di analizzare lo status dell'habitat fluviale in funzione delle condizioni idrauliche in prossimità del letto del corso d'acqua.

A partire dalla distribuzione stocastica dei deflussi $p_Q(Q)$ in corrispondenza di un determinato sito, definita dalla distribuzione gamma (*Botter et al., 2007*), e ipotizzando condizioni di moto uniforme, è possibile ricavare la distribuzione di probabilità dello sforzo tangenziale al fondo $p_\tau(\tau)$ (dove $\tau=c_\tau Q^{e_\tau}$). In modo analogo, assumendo l'esistenza di una legge di potenza tra la presenza di macro-invertebrati ψ e lo sforzo tangenziale al fondo τ (dove $\psi=c_\psi \tau^{e_\psi}$), è quindi possibile definire la distribuzione stocastica della numerosità (o adattabilità) dei macro-invertebrati $p_\psi(\psi)$, dove ψ è definito tra 0 e 1 (i.e. rispettivamente assenza e numerosità massima):

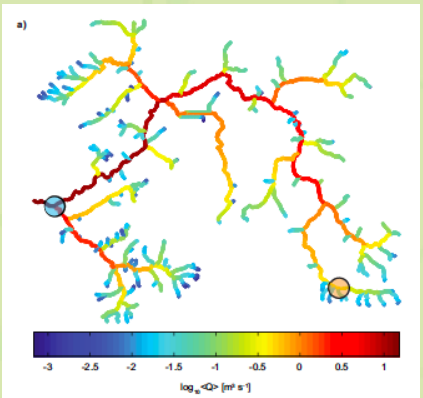
$$p_Q(Q)=\frac{(\alpha k A)^{-\frac{1}{k}}}{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right)}\left(\frac{Q}{\alpha k A}\right)^{\frac{1}{k}-1} e^{-\frac{Q}{\alpha k A}},$$

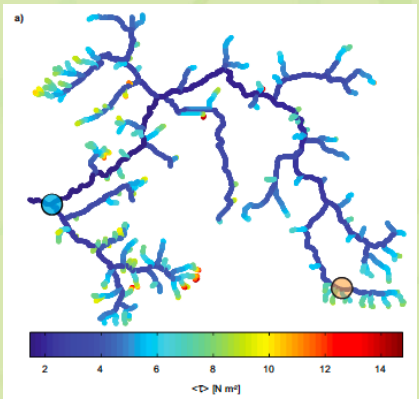
$$p_\tau(\tau)=\frac{\theta_\tau}{e_\tau \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)}(\theta_\tau \tau)^{\frac{1}{k e_\tau}-1} e^{-(\theta_\tau \tau)^{\frac{1}{e_\tau}}},$$

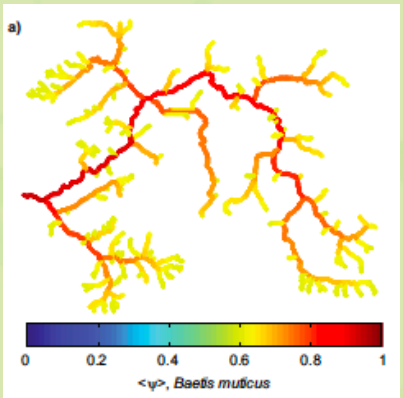
$$p_\psi(\psi)=\frac{\theta_\psi}{e_\psi \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)}(\theta_\psi \psi)^{\frac{1}{k e_\psi}-1} e^{-(\theta_\psi \psi)^{\frac{1}{e_\psi}}},$$

Dove: α rappresenta l'altezza media di pioggia, descritta da un processo di Poisson con distribuzione esponenziale, k è l'inverso del tempo medio di residenza del bacino, λ identifica la frequenza degli eventi di runoff, descritti anch'essi da un processo di Poisson, A è l'area del bacino idrografico, $\Gamma()$ è la funzione gamma completa, i parametri Θ_τ e Θ_ψ sono definiti dalle seguenti relazioni: $\Theta_\tau=(\alpha Ak)^{-e_\tau}/c_\tau$, e $\Theta_\psi=(\alpha Ak)^{-e_\psi}/c_\psi$.

L'identificazione di distribuzioni di probabilità $p_Q(Q)$, $p_\tau(\tau)$ e $p_\psi(\psi)$ spazialmente esplicite, ossia lungo un intero reticolo idrografico, è facilmente ricavabile mediante l'utilizzo delle note leggi di scala definite da *Leopold et al.* (1964), in cui una variabile idraulica (tirante, velocità, larghezza del pelo libero) è espressa in funzione della portata. In tale sede, l'applicabilità delle relazioni di *Leopold et al.* (1964) è stata estesa anche alle variabili τ e ψ.



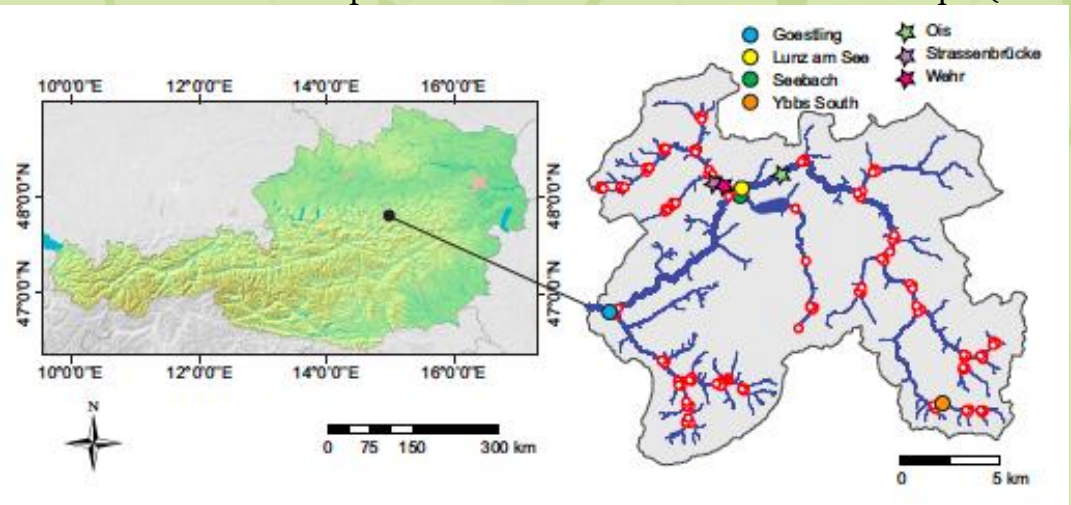




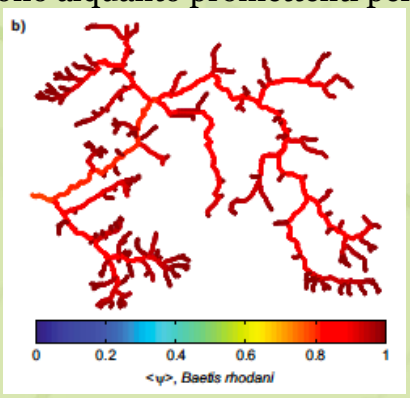
Esempio Applicativo

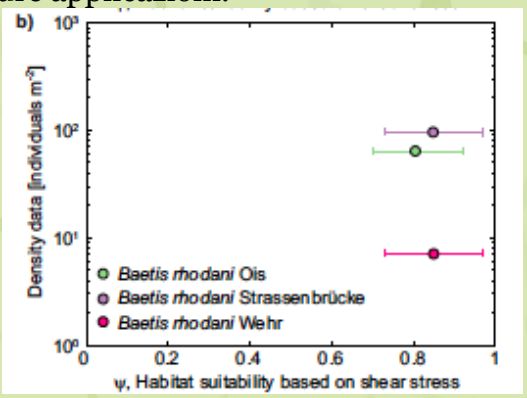
ANALISI STOCASTICA DELLA PRESENZA DI MACRO-INVERTEBRATI BASATA SU VARIABILI DI NATURA IDROLOGICA. APPLICAZIONE AL FIUME YBBS (AUSTRIA)

Il modello analitico precedentemente descritto è stato applicato ad un caso studio reale. Come illustrato nella figura sottostante, il bacino idrografico preso in esame è quello del fiume Ybbs, situato in Austria (47.81°N, 14.94°E), per il quale sono disponibili le serie temporali di precipitazione e portata (pallini colorati), le caratteristiche idrauliche e geometriche del reticolo idrografico (pallini bianchi con bordo rosso), nonché dati sulla numerosità di alcune specie di macro-invertebrati fluviali in corrispondenza di diverse sezioni del corso d'acqua (stelle colorate).



L'analisi dei dati di natura idrologica e idraulica ha permesso di identificare le distribuzioni sito-specifiche di portata e sforzo tangenziale al fondo. Applicando l'approccio spazialmente esplicito, è stato quindi possibile ricavare la distribuzione spaziale dei valori medi delle grandezze portata, sforzo tangenziale al fondo e numerosità di macro-invertebrati. Dal confronto con le numerosità campionate in corrispondenza di alcune sezioni del fiume Ybbs, le stime probabilistiche mostrano un buon adattamento ai dati, evidenziando quindi una buona applicabilità del metodo proposto ad altri corsi d'acqua e altre specie di macro-invertebrati. Nonostante tale approccio sia basato esclusivamente su informazioni di natura idrologico-idraulica, i risultati ottenuti nel presente caso studio sono alquanto promettenti per future applicazioni.





Bibliografia essenziale

Ceola, S., E. Bertuzzo, G. Singer, T. J. Battin, A. Montanari, and A. Rinaldo (2014), Hydrologic controls on basin scale distribution of benthic invertebrates, Water Resour. Res., 50, doi:10.1002/2013WR015112.

Botter, G., A. Porporato, I. Rodriguez-Iturbe, and A. Rinaldo (2007), Basin-scale soil moisture dynamics and the probabilistic characterization of carrier hydrologic flows: Slow, leaching-prone components of the hydrologic response, Water Resour. Res., 43, W02417, doi: 10.1029/2006WR005043.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Serena Ceola — serena.ceola@unibo.it
Enrico Bertuzzo — enrico.bertuzzo@unive.it
Andrea Rinaldo — andrea.rinaldo@epfl.ch
Alberto Montanari — alberto.montanari@unibo.it

IDROLOGIA URBANA

MOBIDIC – U

NATURE BASED SOLUTIONS

TETTI VERDI

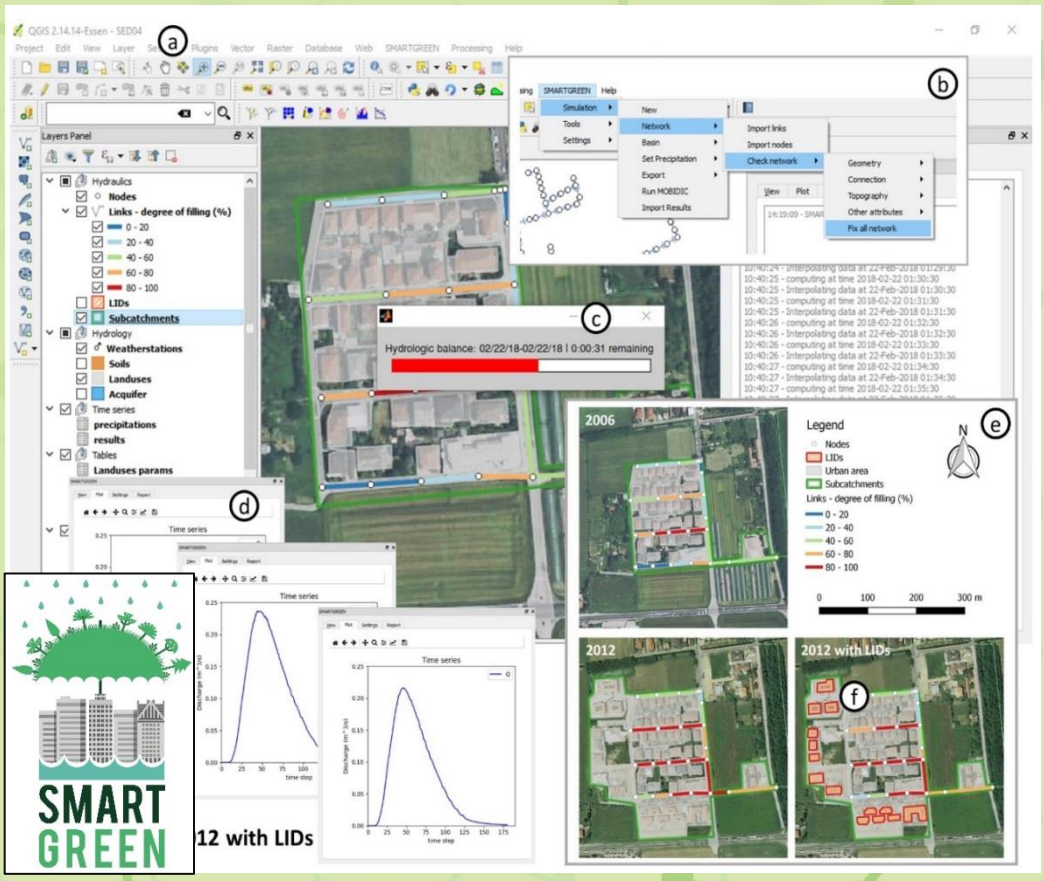
TETTI VERDI AD UNISA

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

MOBIDIC-U

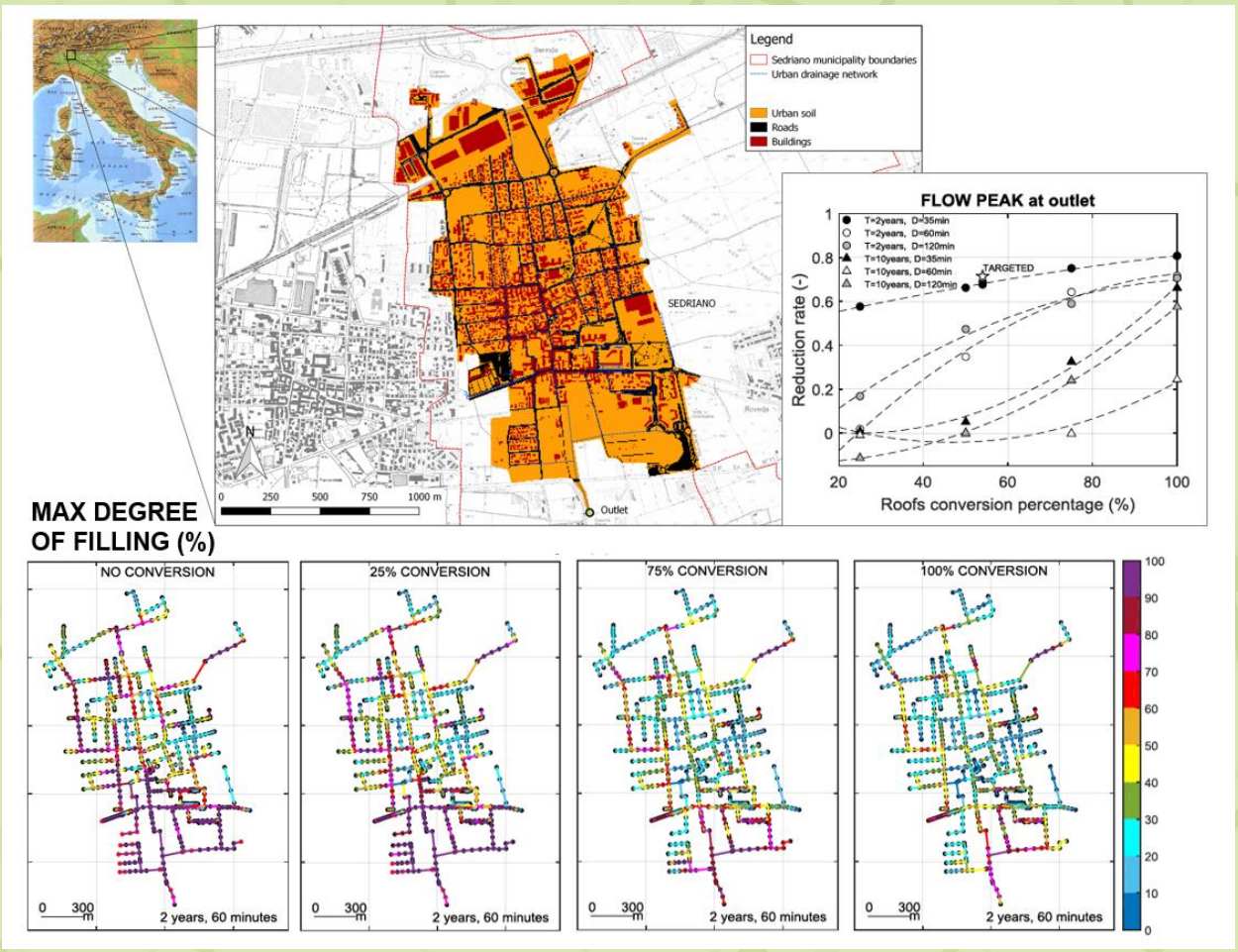
MOBIDIC-U è una specializzazione del modello idrologico MOBIDIC (*Ercolani & Castelli, 2017*) per simulazioni in ambiente urbano (Modello di Bilancio Idrologico Distribuito e Continuo – aree Urbane) sviluppata nel contesto del progetto SMART-GREEN (UNIMI- DISAA e UNIFI-DICEA in collaborazione con il gestore del servizio idrico integrato CAP Holding e il supporto della Regione Lombardia). MOBIDIC-U mutua da MOBIDIC il carattere spazialmente distribuito e lo schema di bilancio idrico per il calcolo dei deflussi (*Castillo et al., 2015*). Integra tali caratteristiche con un modulo per la simulazione del moto nella rete fognaria, anche in presenza di topologia complessa, e con una propagazione del deflusso ad-hoc per l'ambiente urbano. Inoltre, MOBIDIC-U è in grado di riprodurre il comportamento delle principali tipologie di SuDS (serbatoi, tetti verdi, superfici permeabili ecc.), le cui caratteristiche progettuali possono essere specificate dall'utente. Il modello è completamente integrato in ambiente GIS grazie allo sviluppo di un plugin QGIS dedicato (*SMART-GREEN plugin*, *Chiaradia et al., 2018*) che fornisce una serie di strumenti cartografici e procedure semiautomatiche per preparare, verificare ed eventualmente correggere i dati di input necessari al modello. Inoltre, il plugin permette di configurare ed avviare le simulazioni direttamente da QGIS, ed offre strumenti di visualizzazione e analisi dei risultati. Attualmente, all'interno del plugin, è già presente un database completo di tutte le informazioni di input per il territorio di competenza di CAP Holding, rendendo immediata l'applicazione del modello nell'area metropolitana di Milano.



Esempio Applicativo

VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEI TETTI VERDI SULLA GESTIONE DEI DEFLUSSI URBANI NEL COMUNE DI SEDRIANO

Nell'applicazione qui presentata, il modello MOBIDIC-U è stato utilizzato per valutare gli effetti di una serie di scenari di implementazione di tetti verdi nel comune di Sedriano (MI). La preparazione dei dati in input al modello, sia pluviometrici che statici (rete fognaria e bacino urbano connesso), è stata gestita tramite il plugin QGIS dedicato (*SMARTGREEN plugin*).



A seguito di una prima fase di calibrazione basata su osservazioni di portata alla sezione di chiusura, è stata valutata la risposta del sistema ad eventi di progetto con diverso tempo di ritorno (Tr) e durata nella configurazione attuale. Sono state individuate porzioni di rete in cui il grado di riempimento supera l'80% nella maggior parte delle condotte anche per eventi a frequenza elevata (Tr di 2 anni). La possibilità di mitigare tali criticità con la realizzazione diffusa di tetti verdi nel territorio comunale è stata valutata trasformando omogeneamente sul bacino percentuali crescenti di tetti da impermeabili a verdi. I risultati indicano diminuzioni significative del numero di condotte con eccessivo riempimento, e un miglior bilanciamento della rete, a partire dal 50% di conversione per eventi con Tr di 2 anni, e del 75% per i 10 anni.

Bibliografia essenziale

Castillo, A., Castelli, F., Entekhabi, D. (2015). Gravitational and capillary soil moisture dynamics for distributed hydrologic models. HESS, Vol. 19, n. 4, pp. 1857-1869.

Chiaradia, E.A., Ercolani, G., Bischetti, G.B., Gandolfi, C., Castelli, F., Masseroni, D. (2018). A Customized GIS-based Model for Stormwater Mitigation by LID Controls. 13th International conference of Hydroinformatic. Palermo 1-6 Luglio 2018.

Ercolani, G., Castelli, F. (2017). Variational assimilation of streamflow data in distributed flood forecasting. Water Resour. Res., Vol. 53, n. 1, pp. 158-

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI - PRODUZIONE, TERRITORIO, AGROENERGIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA

http://sites.unimi.it/smartgreen

Gruppo di Ricerca

Daniele Masseroni — *daniele.masseroni@unimi.it*
Enrico Chiaradia — *enrico.chiaradia@unimi.it*
Giulia Ercolani — *giulia.ercolani@unifi.it*
Claudio Gandolfi — *claudio.gandolfi@unimi.it*
G. B. Bischetti — *bischetti@unimi.it*
Fabio Castelli — *fabio.castelli@unifi.it*

Idrologia urbana

Nature Based Solutions

Le Nature Based Solutions (NBS), spesso chiamate anche infrastrutture verdi, a differenza delle tradizionali infrastrutture "grigie" preservano il naturale funzionamento degli ecosistemi garantendo al contempo una migliore gestione delle risorse idriche. Le infrastrutture verdi possono aiutare a ridurre le pressioni antropiche sull'uso del suolo favorendo la biodiversità, limitando l'inquinamento, l'erosione del suolo e il fabbisogno idrico.

Le tecnologie verdi mostrano un grande potenziale anche nelle aree urbane. Contribuiscono a ridurre i deflussi superficiali, a garantire il ripristino del naturale ciclo idrologico favorendo l'evapotraspirazione e l'infiltrazione e riducendo, in particolare durante il periodo estivo, le temperature superficiali.

Tetto verde sperimentale presso la Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna (fotografia di Alessandro Gandolfi)

Le pareti vegetate e i giardini pensili sono forse gli esempi più riconoscibili, altri includono misure per riciclare e raccogliere l'acqua piovana, per ricaricare le falde acquifere e per proteggere i bacini idrografici che riforniscono le aree urbane. I tetti verdi, le pavimentazioni permeabili e tutte le altre tecnologie che consentono l'infiltrazione delle acque meteoriche vengono sempre più studiate in quanto consentono di mitigare il rischio di allagamenti delle aree urbane, riducendo il volume di acque meteoriche convogliate nei sistemi fognari e ripristinando il bilancio idrologico pre-urbanizzazione.

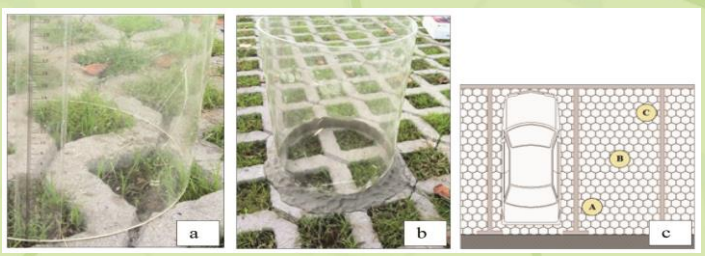
L'attività di ricerca si focalizza in particolare sull'analisi, il monitoraggio e la modellazione numerica di tutte le principali tecnologie verdi utilizzate in ambito urbano (tetti verdi, pavimentazioni permeabili, sistemi per il recupero delle acque piovane, ecc.) attraverso:

- la costruzione di prototipi e dimostratori;
- la realizzazione di attività di monitoraggio;
- attività di modellazione numerica;
- integrazione di modelli per la simulazione delle NBS nei modelli numerici delle reti fognarie.

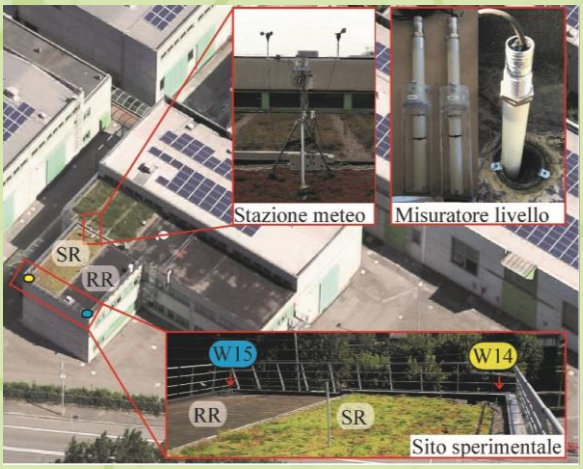
Esempio Applicativo

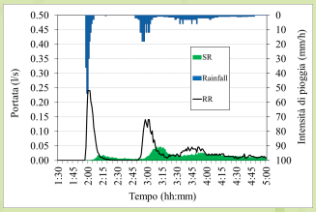
NATURE BASED SOLUTION PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE IN AMBITO URBANO

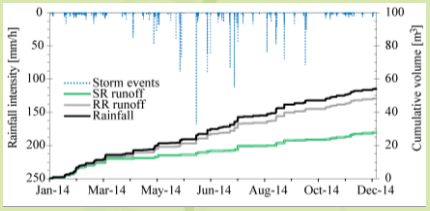
Attraverso l'elaborazione di un'opportuna procedura sperimentale speditiva e non distruttiva è stato possibile valutare la capacità di infiltrazione di pavimentazioni permeabili esistenti. È stata inoltre valutata l'influenza dei seguenti parametri: tipologia, età, grado di compattazione.



Dal 2013 è in corso il monitoraggio di un tetto verde (SR) in scala reale di circa 115 m² dotato di misuratori di livello a ultrasuoni in corrispondenza dei pluviali per la stima del deflusso, di una stazione meteo per la registrazione dei principali parametri meteoclimatici e di misuratori di umidità nel substrato.







L'analisi dei dati di monitoraggio consente di ricostruire la risposta idrologica del SR e di paragonarla a quella di un tetto tradizionale adiacente (RR). I dati raccolti sono stati utilizzati per calibrare e validare un modello numerico capace di simularne il comportamento idrologico in continuo. L'integrazione di tale modello con i tradizionali modelli per la simulazione numerica dei sistemi fognari consente di valutare l'influenza di eventuali politiche di incentivazioni dei tetti verdi sulla gestione del reticolo idraulico.

Il presente modello, nell'ambito del progetto **GST4Water** (www.gst4water.it) è stato integrato in un software per il dimensionamento ottimizzato dei serbatoi negli impianti per il recupero e riuso delle acque meteoriche e grigie a scala di edificio. L'obiettivo è quello di valutare i benefici derivanti dall'accoppiamento di queste tecnologie sia in termini di riduzione dei deflussi superficiali sia di riduzione dei consumi idrici. La modellazione delle NBS in ambito urbano si inserisce in un'attività più consolidata di modellazione quali-quantitativa dei sistemi fognari.

Sono state realizzate numerose convenzioni e attività di ricerca sulle tematiche descritte:

- *Modellazione idrologica delle coperture verdi*, Progetto finanziato da Harpo SPA (2017);
- Progetto *MANGROWE -MAppiNg Green Roof Opportunities for Water and Energy efficiency,* Progetto finanziato dalla Provincia di Bolzano in collaborazione con la Società Gecosistema s.r.l. (2015-2016);
- *Elaborazione del piano di indirizzo per la gestione delle acque di prima pioggia della Provincia di Rimini,* Progetto finanziato dalla Provincia di Rimini (2011-2012)

Bibliografia essenziale

Cipolla SS, Maglionico M, Stojkov I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. Ecol Eng 2016;95:876–87. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.07.009.

Cipolla SS, Maglionico M, Stojkov I. Experimental Infiltration Tests on Existing Permeable Pavement Surfaces. Clean - Soil, Air, Water 2016;44:89–95. doi:10.1002/clen.201400550.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Sara Simona Cipolla sara.cipolla@unibo.it
Margherita Altobelli margherita.altobell3@unibo.it
Marco Maglionico marco.maglionico@unibo.it

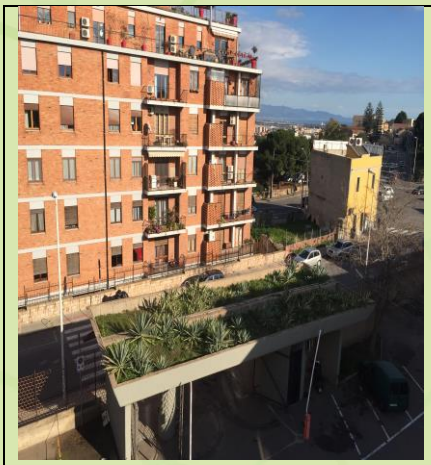
Idrologia urbana

Tetti verdi

Il processo in corso di urbanizzazione globale contribuisce a un aumento del deflusso da superfici impermeabili, minacciando anche la qualità dell'acqua. I tetti verdi hanno dimostrato di essere innovativi come misure di gestione del deflusso urbano per ripristinare parzialmente lo stato naturale, attraverso l'intercettazione, l'infiltrazione e i flussi di evapotraspirazione. La quantità di acqua trattenuta all'interno dei tetti verdi dipende non solo dalla loro profondità, ma anche dal clima, che guida le dinamiche di umidità del suolo. In questo contesto, il nostro gruppo opera nella valutazione delle prestazioni dei tetti verdi in termini di ritenzione e detenzione sia mediante modellazione numerica che attraverso misure di pieno campo.

Da un punto di vista modellistico il gruppo ha lavorato mediante l'accoppiamento di un generatore di clima stocastico e di un semplice modello idrologico concettuale, valutando le prestazioni dei tetti verdi in diversi regimi climatici rappresentativi. I risultati hanno quantificato le capacità dei tetti verdi nella ritenzione delle precipitazioni. Il ruolo della profondità del substrato è stato riconosciuto come cruciale nel determinare le prestazioni di ritenuta dei tetti verdi, che in generale aumentano da installazioni estensive a quelle intensive. Con riferimento al clima, si è evidenziato come le precipitazioni annuali, l'evapotraspirazione potenziale e i loro cicli di stagionalità, abbiano un ruolo dominante nel determinare le prestazioni di ritenuta dei tetti verdi.

In un contesto territoriale molto peculiare, quale quello urbano Mediterraneo, ove sono molto sentite le problematiche del risparmio idrico e della protezione idraulica del territorio dalle piene, una soluzione di indubbio interesse è costituita dai tetti verdi piantumati con specie resistenti allo stress, come le CAM. Questo ci ha spinti a investigare il comportamento in pieno campo di un siffatto tetto verde, situato a Cagliari, di cui di seguito si riportano: vista aerea (a), uno dei due scarichi (b) e la vista delle due installazioni piantumate con agavi (c).



a)

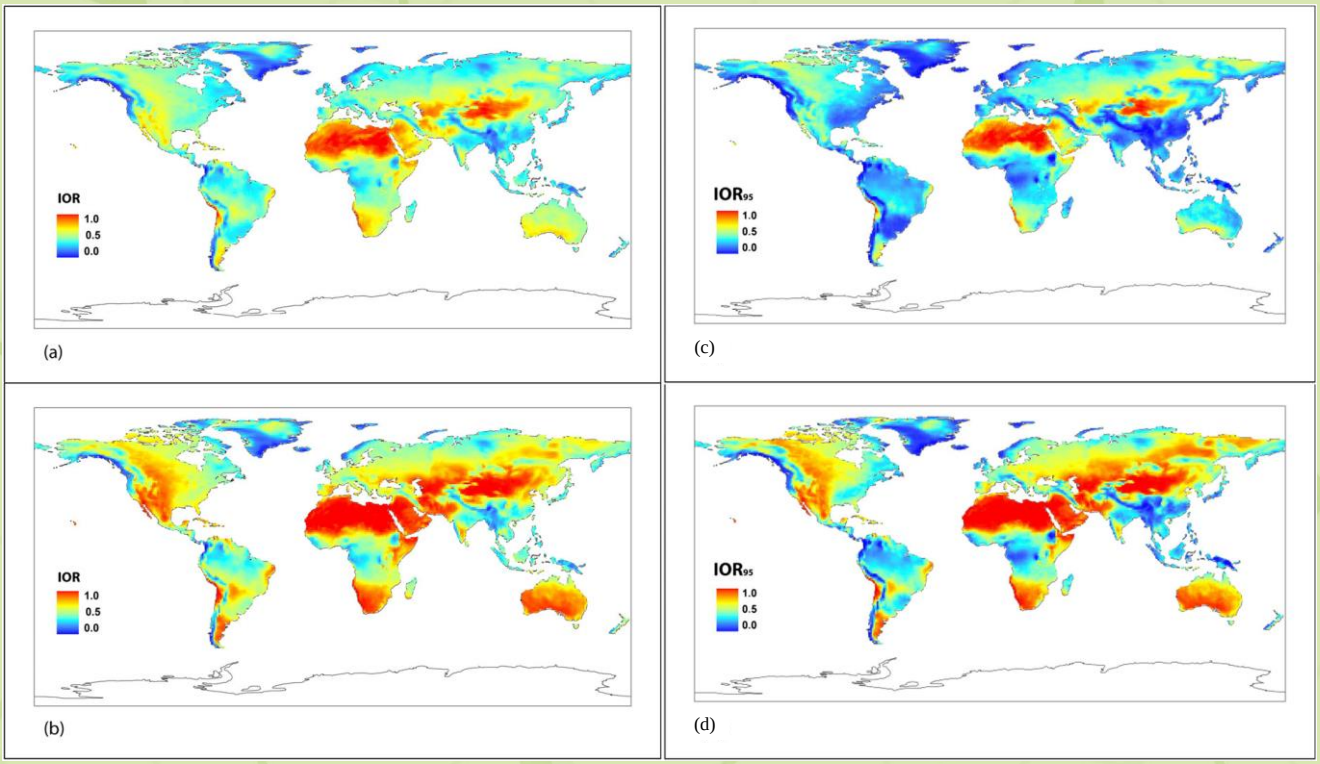
b)

c)

Esempio Applicativo

PRESTAZIONI DEI TETTI VERDI A SCALA GLOBALE

Lo scopo di questo lavoro è quello di valutare la convenienza e la fattibilità di installare tetti verdi in qualsiasi area del mondo, fornendo un'indicazione approssimativa delle regioni geografiche in cui l'installazione del tetto verde è possibile con buone prestazioni idrologiche e sostenibile in termini di stress idrico vegetale.
Per farlo, abbiamo esplorato *in silico* le prestazioni idrologiche dei tetti verdi in tutto il mondo, utilizzando forzanti climatologiche estratte dal Database ERA-Interim e un semplice modello idrologico concettuale in maniera tale da stimare il comportamento del tetto verde in termini di evapotraspirazione e deflusso.
Abbiamo definito due indici di performances, uno che definisce la frazione di acqua ritenuta a scala annuale (IOR) e l'altro la capacità di ritenere gli estremi locali di precipitazione (IOR_{95}). Entrambi variano tra zero e uno e di seguito sono riportate le mappe per installazioni estensive (basse profondità radicali, (a), (c)) ed intensive (alte profondità radicali, (b), (d)).



In seguito è stato calcolato lo stress idrico su base annuale di una vegetazione standard. Tale informazione è stata sovrapposta a quella delle prestazioni e ha consentito di ricavare delle mappe che localizzano le aree dove l'installazione dei tetti verdi è sostenibile.

Bibliografia essenziale

Viola F., Hellies M., Deidda R., Retention performance of green roofs in representative climates worldwide, Journal of Hydrology, 2017, 553, 763-772

Hellies M., Deidda R., Viola F., Retention performances of green roofs worldwide at different time scales, Land Degradation & Development, 2018, 29(6), 1940-1952

Gruppo di Ricerca

Roberto Deidda — *rdeidda.unica.it*
Francesco Viola — *viola@unica.it*
Enrica Perra — *enrica_perra@hotmail.it*
Dario Ruggiu — *dario.rgg@hotmail.it*

www.unica.it

Tetti Verdi ad UNISA

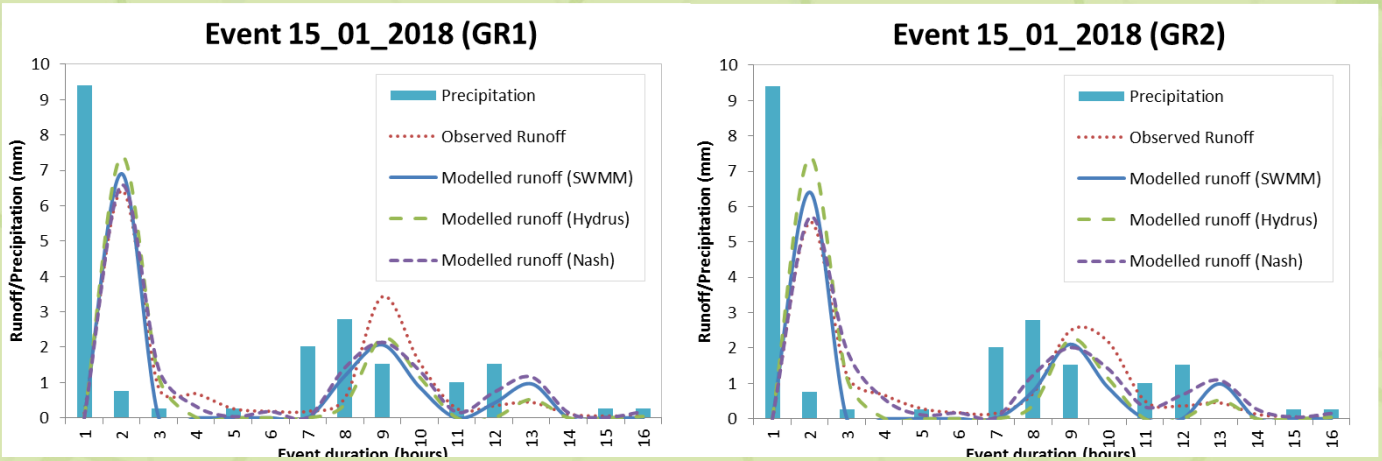
Nel gennaio 2017, presso il campus dell'Università di Salerno, sono stati installati due tetti verdi sperimentali per il monitoraggio dei processi idrologici rilevanti al funzionamento di questa particolare tecnologia che rientra nel tema della gestione sostenibile del drenaggio urbano. Ciascun tetto ha una dimensione di 2.5 m x 1 m e sono stati costruiti su banchi di acciaio inossidabile. I tetti sono stati realizzati attraverso la sovrapposizione di tre diversi strati. A contatto con l'atmosfera c'è lo strato vegetativo costituito da piante succulente adatte al clima Mediterraneo (Mesembryanthemum). Al di sotto dello strato vegetativo, si trova lo strato di supporto dello spessore di 10 cm realizzato in torba. Più in basso ancora, a contatto con i banchi di supporto, lo strato di drenaggio. I due tetti differiscono per le modalità costruttive di quest'ultimo. In un caso (GR1) lo strato di drenaggio è costituito da uno spessore di 5 cm di argilla espansa (con una capacità di stoccaggio di 32 l/mq) e nell'altro (GR2) è invece realizzato mediante moduli prefabbricati a vaschette (pannelli MODI) riempiti con argilla espansa (con una capacità di stoccaggio di 14 l/mq). I banchi sono dotati di canali di drenaggio che raccolgono il deflusso prodotto durante gli eventi meteorici fino a convogliarlo verso la raccolta in serbatoi, il cui peso viene monitorato con un intervallo di 5 minuti. Il sito è inoltre dotato di una stazione meteorologica per la misura della precipitazione, temperatura ed umidità dell'aria, radiazione solare.

Esempio Applicativo

ANALISI AFFLUSSI-DEFLUSSI ALLA SCALA DI EVENTO

Sono stati selezionati tre eventi per i quali si ritengono affidabili i dati del monitoraggio e per essi sono stati applicati tre modelli idrologici, appartenenti a diverse tipologie, per la previsione del deflusso. In particolare, è stato applicato il modello concettuale SWMM (US Environmental Protection Agency, USEPA) che integra nel suo codice la simulazione di metodiche LID (Low Impact Development and Design for urban areas). Tra i modelli fisicamente basati, è stato applicato il modello HYDRUS 1D che risolve numericamente le equazioni di Richard per la simulazione dei flussi nei mezzi parzialmente saturi. SWMM e HYDRUS 1D sono stati confrontati con un modello basato sull'uso dell'idrogramma unitario istantaneo, in particolare quello a cascata di Nash. La calibrazione alla scala di evento è stata eseguita ricercando l'ottimizzazione del parametro NSE (Nash and Sutcliffe Efficiency Index) relativamente a dati orari registrati di pioggia e deflusso. Riguardo SWMM, i parametri calibrati sono l'altezza della berma della cella di bioritenzione e la percentuale di saturazione iniziale del suolo. Nel caso di HYDRUS 1D, l'unico parametro calibrato è rappresentato dal contenuto d'acqua del suolo antecedente l'evento. Tutti i gli altri parametri sono stati desunti da letteratura sulla base delle proprietà dei materiali utilizzati per la realizzazione. Nel caso del modello di Nash, il numero di serbatoi considerato è stato fissato pari a due (sulla base di una analisi della forma dell'idrogramma) ed il coefficiente di afflusso è stato fissato a priori in virtù dei risultati di una analisi empirica sulla base della quale è possibile mettere in relazione quest'ultimo con le caratteristiche dell'evento pluviometrico (*Mobilia et al.*, in review 2018). La calibrazione è stata quindi riferita alla sola costante di invaso.

I risultati di queste analisi preliminari mostrano come tutti i modelli considerati ed, in particolare quello di Nash, siano in grado di simulare, con NSE maggiori di 0.8, il deflusso proveniente dalle due installazioni sperimentali, con le migliori prestazioni ottenute nel caso GR1 ovvero di tetto verde con strato di drenaggio in argilla espansa. Non si sono evidenziate dipendenze delle performance dei modelli dalle caratteristiche delle precipitazioni.



Bibliografia essenziale

Mobilia, M., Longobardi, A. (2017). Smart Stormwater Management in Urban Areas by Roofs Greening. Proc. International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 17). 455-463.

Mobilia, M., Longobardi, A., Sartor, J. F. (2017). Including a-priori assessment of actual evapotranspiration for green roof daily scale hydrological modelling. Water, 9(2), 72.

www.unisa.it

Gruppo di Ricerca

Antonia Longobardi alongobardi@unisa.it
Mirka Mobilia mmobilia@unisa.it
Roberta D'Ambrosio robdambrosio@unisa.it

FRANE, COLATE E IDROLOGIA DI VERSANTE

LA METODOLOGIA MC-SLIDES

MODELLAZIONE DEBRIS FLOW

IL MODELLO FLAIR

IL MODELLO SUSHI

IL MODELLO TRIBS-EROSION

IL MODELLO TRIBS-LANSLIDE

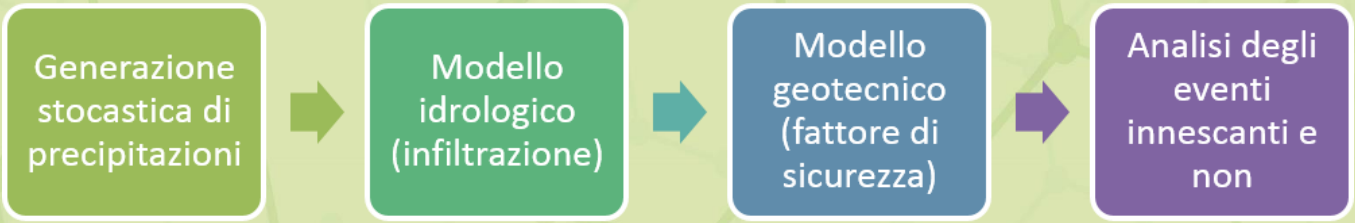
LA SUSCETTIBILITÀ DA FRANA

La metodologia *MC-Slides*

La metodologia *MC-Slides* permette di studiare le condizioni di innesco di frane superficiali indotte dalle precipitazioni attraverso un approccio numerico basato su simulazione Montecarlo. Nel dettaglio il metodo è di ausilio nelle seguenti analisi:

- Determinazione delle soglie pluviometriche di innesco e analisi di incertezza (*Peres & Cancelliere*, 2014)
- Stime e mappatura della pericolosità di frana, in termini di tempo di ritorno (*Peres & Cancelliere*, 2016)
- Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici futuri sulla frequenza di innesco delle frane (*Peres & Cancelliere*, 2018)

Le applicazioni di base della metodologia *MC-Slides* richiedono una caratterizzazione idrologico-geotecnica del suolo e la disponibilità di una serie di almeno 5 anni di precipitazione registrata da un pluviografo automatico ad alta risoluzione temporale (1 ora). La metodologia *MC-Slides* è infatti basata sull'accoppiamento di un modello stocastico delle precipitazioni e di un modello idrologico-geotecnico (che può essere specificato in modo più o meno complesso):



Ad esempio, per la generazione stocastica delle serie di pioggia possono essere utilizzati modelli semplici basati su una schematizzazione degli eventi di pioggia come pulsi rettangolari ad intensità costante, oppure modelli più complessi che si basano sulla sovrapposizione di pulsi rettangolari simultanei. Il modello idrologico-geotecnico può anch'esso essere più o meno sofisticato; tipicamente in *MC-Slides* si fa riferimento ad un processo di infiltrazione monodimensionale verticale durante gli eventi di pioggia, un drenaggio sub-orizzontale durante gli intervalli asciutti, e lo schema di pendio indefinito per la valutazione del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del suolo. Il modello va così a formare un "laboratorio numerico" che permette di generare serie di precipitazione e frane virtuali che presentano caratteristiche statisticamente ideali, la cui successiva elaborazione permette di studiare i tre aspetti elencati all'inizio di questa scheda.

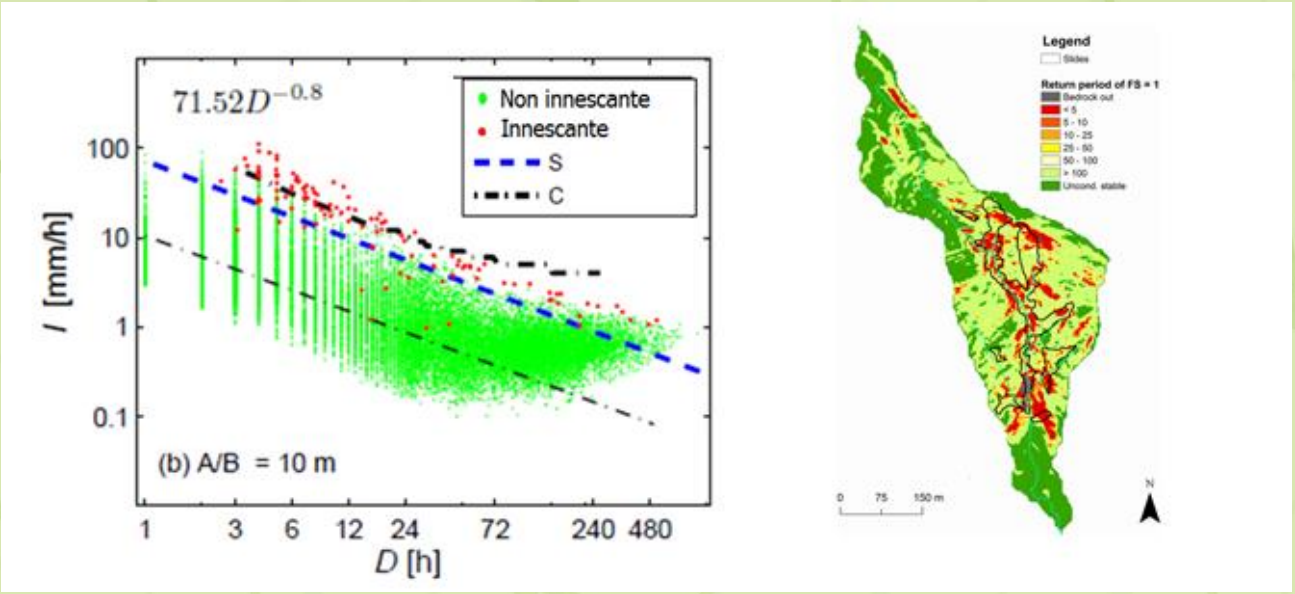
Esempio Applicativo

DERIVAZIONE DI SOGLIE PLUVIOMETRICHE PER IL PREANNUNCIO DELLE FRANE E MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ NEI MONTI PELORITANI

La metodologia *MC-Slides* è stata applicata all'area dei Monti Peloritani in Sicilia, al fine di determinare le soglie pluviometriche di innesco dei movimenti franosi nell'area e per pervenire ad una mappatura della pericolosità di innesco in alcuni bacini dell'area.

Ad esempio, con riferimento ad un pendio tipo è stata ricavata una soglia pluviometrica ottimale, ovvero corrispondente al valore massimo di un indice di prestazione basato sul numero di allarmi corretti, falsi allarmi, mancati allarmi, e corretti non allarmi (v. Figura). Si noti che uno dei vantaggi del metodo è quello di permettere l'analisi congiunta di eventi sia innescanti che non, a differenza dei numerosi studi che utilizzano solo i primi, i quali portano ad una sottostima inaccettabile della soglia e quindi, potenzialmente, un numero eccessivo di falsi allarmi.

Per quanto riguarda invece la mappatura della pericolosità, *MC-Slides* consente di valutare il tempo di ritorno come la media della distanza temporale tra due eventi franosi successivi, ricavata a partire da una analisi statistica dei risultati delle simulazioni Montecarlo. Attraverso l'uso combinato di scenari di cambiamento climatico e quindi delle relative proiezioni realizzate tramite modelli climatici regionali, si possono altresì valutare i possibili impatti dei cambiamenti climatici sulla pericolosità di innesco delle frane.



La metodologia trova quindi possibili applicazioni all'interno di sistemi di preannuncio delle frane, e può essere di ausilio nella pianificazione territoriale, in quanto consente di individuare le aree a maggiore rischio di frana.

Bibliografia essenziale

Peres, D., J., Cancelliere, A. (2014) Modelli per la derivazione di soglie pluviometriche per il preannuncio delle frane, in: Aspetti idrologici e idraulici per il controllo dei movimenti franosi (a cura di: Capparelli, G., e Greco, R.), ISBN 88-89317-08-6

Peres, D.J., Cancelliere, A. (2016) Estimating return period of landslide triggering by Monte Carlo simulation, Journal of Hydrology, 541 (A), 256-271, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.036

Peres, D.J., Cancelliere, A. Analisi degli impatti dei cambiamenti climatici sull'innesco di frane superficiali, L'Acqua, numero 2/2018. p. 71-82

Gruppo di Ricerca

Antonino Cancelliere antonino.cancelliere@unict.it

David J. Peres djperes@dica.unict.it

DICAR

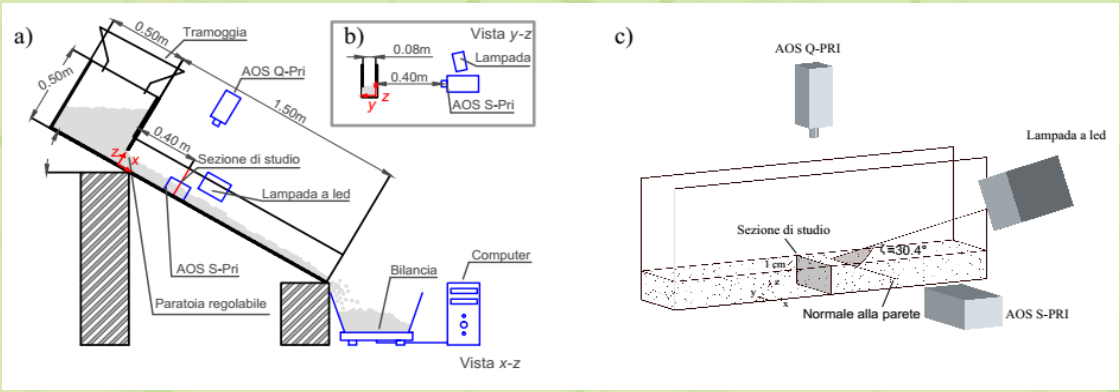
UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

http://www.dicar.unict.it

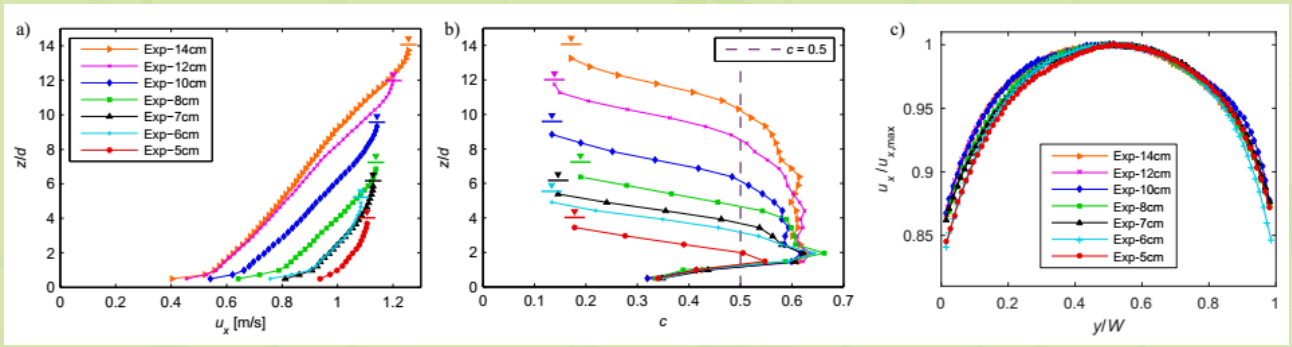
Modellazione debris flow

Lo sviluppo di modelli previsionali affidabili per la mappatura e mitigazione del rischio associato a flussi granulari iper-concentrati, quali le valanghe di roccia e i debris flow, richiede misure sperimentali di laboratorio e alla scala di campo per la corretta determinazione delle resistenze al moto e per la calibrazione e validazione dei modelli (*Papa et al., 2014*). Il presente lavoro mostra l'applicazione di alcune tecniche per la misura della resistenza al moto alla scala di laboratorio, il rilievo di dati campo relativi ad eventi pregressi e la calibrazione e la validazione del modello previsionale FLATMODEL (*Medina et al., 2007*) basato sull'integrazione numerica delle equazioni del moto.

All'interno del Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima dell'Università di Salerno è stata messa a punto una attrezzatura che consente di misurare le grandezze che intervengono nella definizione della dinamica dei flussi granulari, ovvero la velocità e la concentrazione solida. La particle image velocimetry (PIV) viene utilizzata per determinare i profili di velocità e una tecnica innovativa di tipo ottico è stata sviluppata (*Sarno et al., 2016*) per la misura dei profili di concentrazione solida.



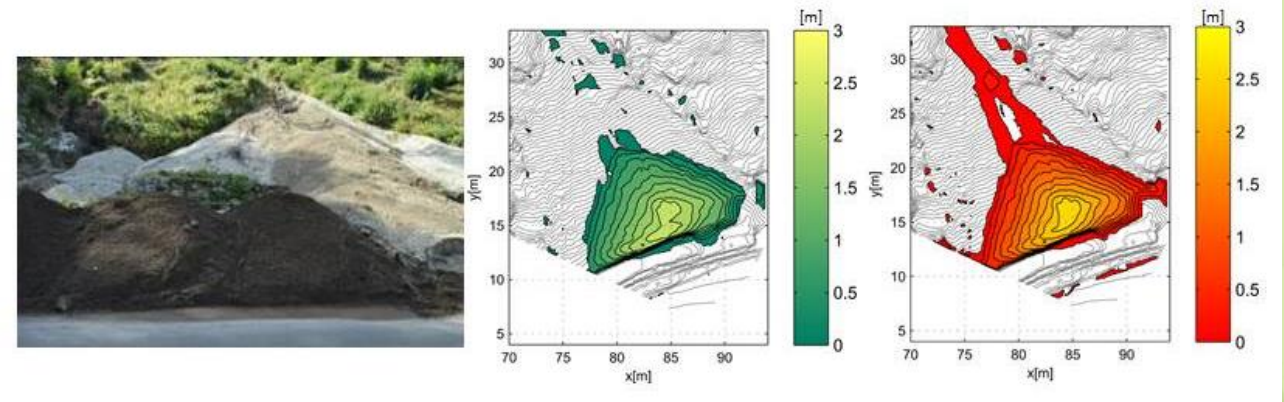
Nel caso di miscugli granulari secchi (*Sarno et al., 2017*) è stata riscontrata la presenza di uno strato inferiore con concentrazioni elevate, in cui gli sforzi si trasmettono per attrito, e uno strato superiore con concentrazioni minori e comportamento collisionale.



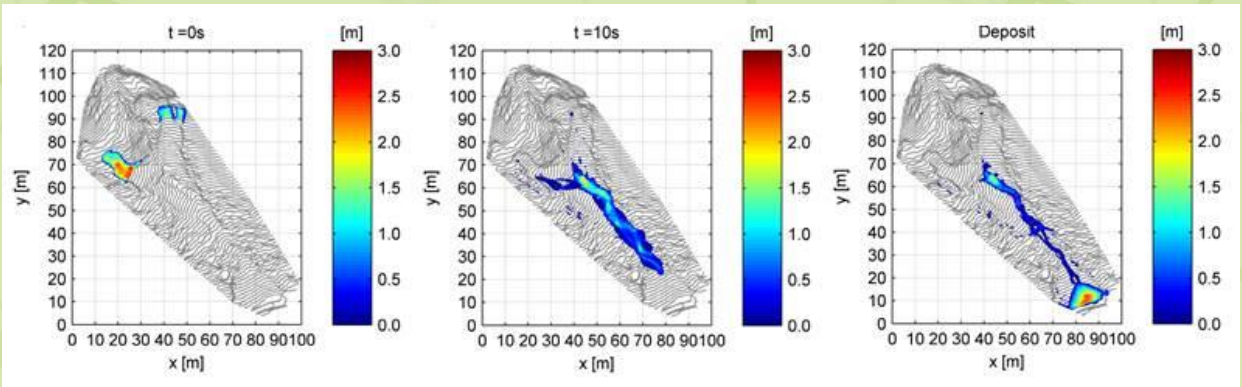
Esempio Applicativo

MONITORAGGIO E MODELLAZIONE DI UNA COLATA DETRITICA IN COSTIERA AMALFITANA

Il caso studio è un impluvio naturale a elevata pendenza nel quale si verificano, con forte ricorrenza, fenomeni di correnti detritiche di pomici che mettono a rischio un tratto della Strada Provinciale SP1 ubicato in Costiera Amalfitana (nel Comune di Tramonti). L'utilizzo integrato di laser scanner terrestre (TLS) e di tecniche fotogrammetriche ha consentito di acquisire la topografia dell'impluvio e del conoide sia pre-evento che post-evento, ottenendo così il DTM e la stima del volume di materiale mobilitato. L'osservazione delle tracce lasciate dalla corrente ha consentito di stimarne il tirante in alcuni punti; l'angolo di attrito del materiale è stato misurato con prove di laboratorio eseguite su un campione prelevato in situ. I dati così ottenuti sono stati utilizzati per calibrare e validare un modello di propagazione bidimensionale FLATMODEL, basato sulle equazioni delle shallow-water. Le resistenze al fondo sono state stimate utilizzando il modello di Voellmy, che si compone di un termine attritivo e di un termine collisionale.



Tramite back-analysis sulla forma del deposito misurata è stato valutato il valore ottimale del coefficiente del termine collisionale nella legge di resistenza. La buona corrispondenza tra simulazione e dati sperimentali conferma l'appropriatezza del modello proposto come strumento per descrivere la propagazione e le distanze di run-out di fenomeni con analoghe caratteristiche.



Bibliografia essenziale

Papa et al., Monitoraggio e modellazione di fenomeni di colate detritiche di pomici con tecniche di remote sensing. Un caso studio in Costiera Amalfitana. In Aspetti Idrologici e Idraulici per il Controllo dei Movimenti Franosi - IDRA2014, 129–41.

Sarno et al., An optical method for measuring the near-wall volume fraction in granular dispersions, Granular Matter, 18(4), 80, 2016.

Sarno et al., Experimental investigation on the effects of the fixed boundaries in channelized dry granular flows, Rock Mechaincs and Rock Engineering, pp. 1-23, 2017.

Gruppo di Ricerca

Maria N. Papa — *mnpapa@unisa.it*
Luca Sarno — *lsarno@unisa.it*
Luigi Carleo — *lcarleo@unisa.it*
Paolo Villani — *p.villani@unisa.it*

https://docenti.unisa.it

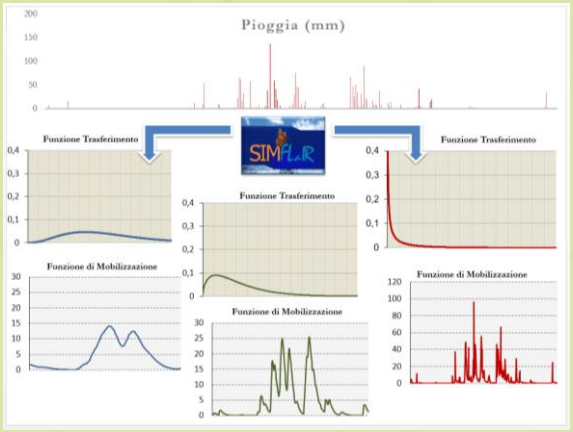
Il modello FLaIR

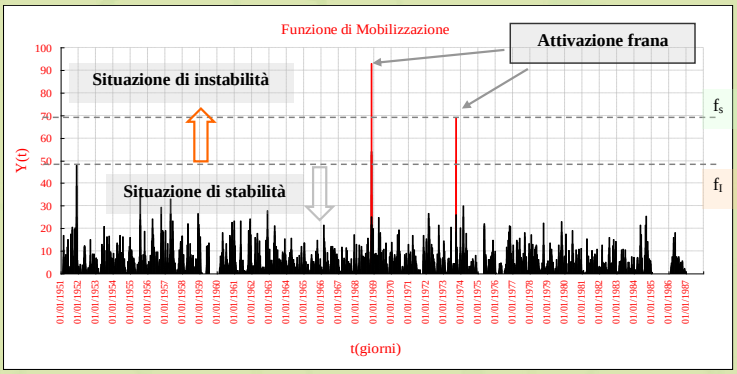
Il modello FLaIR (Forecasting of Landslides Induced by Rainfall) (*Versace et al.*, 2000) descrive le relazioni tra le piogge e le frane da esse innescate sulla base di una funzione di mobilizzazione $Y(t)$, legata alle piogge antecedenti attraverso l'integrale di convoluzione tra l'intensità di infiltrazione $I(.)$ ed una funzione di trasferimento $\psi(t)$:

$$Y(t) = \int_0^t \psi(t-\tau) P(\tau) d\tau \qquad (1)$$

Tra le strutture analitiche più utilizzate per $\psi(t)$ si ricordano la forma esponenziale, gamma, beta e la miscela di due esponenziali. Variando fra le varie espressioni, è possibile modellare situazioni caratterizzate da meccanismi di innesco della mobilizzazione anche molto diversi tra loro. Il criterio da adoperare per la taratura del modello è il 'ranking', che permette di definire la funzione di trasferimento ed i relativi parametri tali da rendere massimi i valori della funzione di mobilizzazione in corrispondenza delle date di mobilizzazioni storiche. Quante più numerose sono le date di movimento reperite, tanto più valida sarà la taratura del modello. Definita la funzione di mobilizzazione, è possibile identificare un valore Y_{cr} rappresentativo delle condizioni critiche di innesco ed associare, mediante uno schema a soglia, la probabilità $P[E_t]$ di accadimento della mobilizzazione al tempo t, al valore raggiunto dalla funzione di $Y(t)$. Recentemente, sono state sviluppate molte applicazioni del modello che hanno consentito di verificarne le capacità predittive e l'applicabilità in contesti anche molto diversi fra loro.

Tra i risultati più rilevanti, si porta in evidenza che: (1) il modello FLaIR può costituire una generalizzazione dei modelli I-D proposti in letteratura perché è in grado di riprodurre tutte le possibili soglie individuate dai suddetti modelli (*Capparelli & Versace*, 2011); (2) sono state messe a punto di "tecniche di regionalizzazione" del modello che consentono di applicare il modello anche in aree per le quali non si dispone di dati storici; (3) è stato testato l'inserimento del modello in complessi e articolati sistemi di early warning, finalizzati al preannuncio dei movimenti franosi nelle aree a rischio (*Capparelli & Tiranti*, 2010).

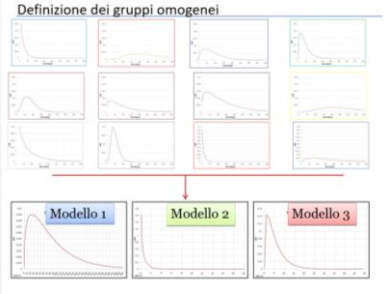


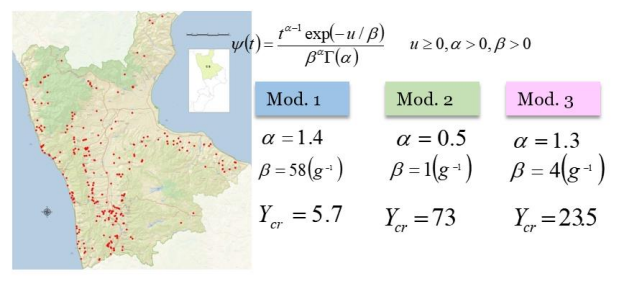


Esempi Applicativi

1. REGIONALIZZAZIONE DEL MODELLO FLAIR: APPLICAZIONE AL CASO DELLA CALABRIA.

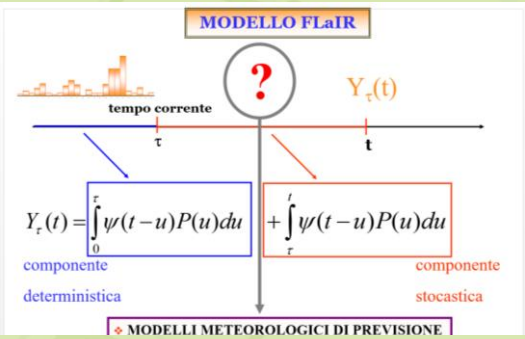
Le operazione di regionalizzazione di soglie pluviometriche devono essere valutate attentamente tenendo conto della variazione spaziale dei vari fattori che influenzano l'innesco dei fenomeni considerati. Nel caso specifico qui riportato, le tecniche regionalizzazione sono state applicate a vaste aree della Calabria, nell'ambito di una convenzione con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale consentendo di definire funzioni di trasferimento, parametri e soglie pluviometriche di innesco rappresentative di tali aree. Questo risultato ha consentito di applicare il modello e di valorizzarne le sue potenzialità, anche in contesti differenti, caratterizzati da carenza di informazione sulle mobilizzazioni del passato.

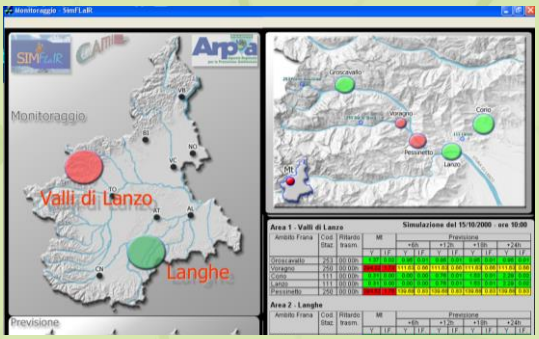




2. ESEMPIO DI UTILIZZO DEL MODELLO NEI SISTEMI DI PREANNUNCIO

MoniFLaIR è stato realizzato nell'ambito della Convenzione con la Regione Piemonte per la "Realizzazione di un "Modulo di Preannuncio Frane sul Territorio Piemontese". In una fase preliminare sono stati selezionati ed analizzati con il modello idrologico FLaIR, movimenti franosi verificatisi nel territorio piemontese, ottenendo informazioni circa gli inneschi e le funzioni di mobilizzazioni rappresentative. Successivamente è stato implementato il software MoniFlaIR che, interrogando una banca dati aggiornata con i dati trasmessi dai telepluviometri localizzati in prossimità delle frane analizzate, carica le piogge e calcola la funzione di mobilizzazione per ciascuna frana confrontandone i valori raggiunti con un sistema di soglie. Attraverso l'uso dei dati di pioggia previste su base meteorologiche per le 6, 12, 18, 24 ore future, il software implementato valuta i corrispondenti futuri valori della funzione di mobilizzazione ed i possibili livelli soglia.





Bibliografia essenziale

Capparelli G., Versace P., (2011) FLaIR and SUSHI: two mathematical models for early warning of landslides induced by rainfall. Landslides, Vol. 8, n. 1, pp. 67-79.

Capparelli G., Tiranti D., (2010) Application of the MoniFLaIR early warning system for rainfall-induced landslides in Piedmont region (Italy)". Landslides, Vol. 7, n. 4, pp. 401-410.

Versace, P., Sirangelo, B., Iiritano, G., (2000). Soglie pluviometriche di innesco dei movimenti franosi. L'acqua, n. 3,113-130.

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

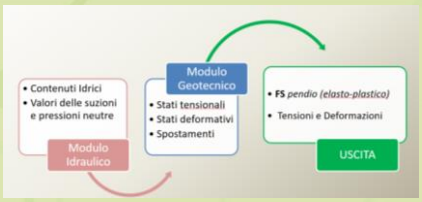
http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

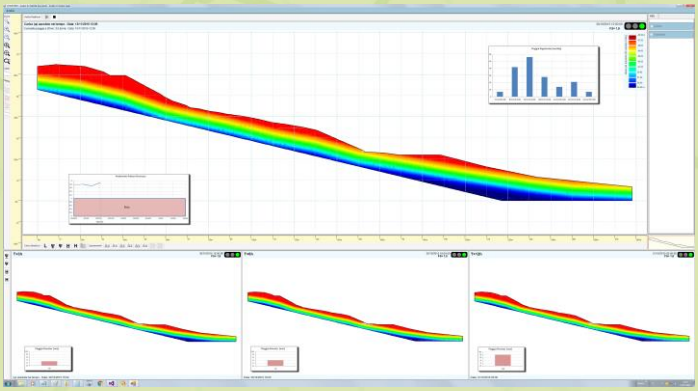
Gruppo di Ricerca

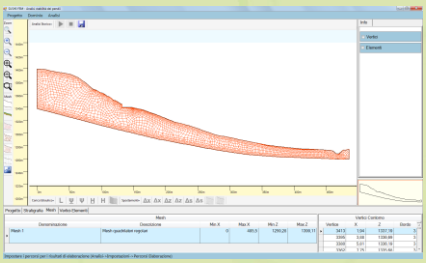
Pasquale Versace linoversace@libero.it
Giovanna Capparelli giovanna.capparelli@unical.it
Davide L. De Luca davide.deluca@unical.it

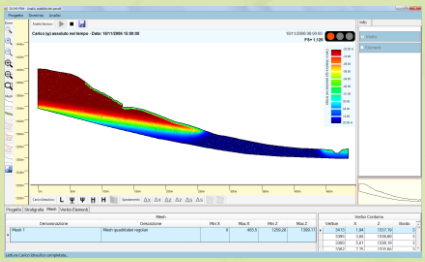
Il modello SUSHI

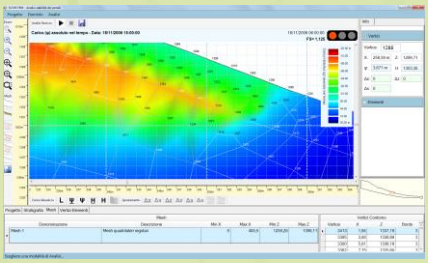
Il modello SUSHI (Saturated Unsaturated Simulation for Hillslope Instability), è un modello completo di versante di tipo puntuale, in grado di simulare l'insieme dei fenomeni fisici che avvengono nel pendio (es. processi di infiltrazione delle piogge, variazioni degli stati di sollecitazione, ecc.) e di fornire le relazioni intercorrenti tra precipitazioni meteoriche, pressioni neutre e condizioni di stabilità del pendio. Seguendo un framework molto diffuso, si compone di un modulo idrologico-idraulico, per identificare i contenuti idrici e le pressioni neutre nel sottosuolo e di un modulo geotecnico finalizzato alla valutazione del grado di stabilità del versante, sulla base delle caratteristiche meccaniche e dei contenuti idrici dei suoli. Nel caso specifico, il modulo idraulico è in grado di identificare l'avanzamento del fronte umido per effetto di una forzante pluviometrica, in terreni anche molto complessi per stratigrafia e caratteristiche idrauliche, simulando i fenomeni che avvengono in condizioni transitorie sia nella zona non satura sia in quella satura. In particolare, modella il processo di infiltrazione delle piogge, il processo di circolazione delle acque negli strati saturi e non saturi, la ricarica e lo svuotamento delle falde sotterranee. Il modulo geotecnico si basa su due approcci, livello I e livello II, caratterizzati da un diverso grado di complessità. Con il primo approccio, vengono definite le condizioni di stabilità del pendio attraverso l'introduzione di un coefficiente di sicurezza FS, che è localmente definito dal rapporto tra la resistenza al taglio del mezzo e la tensione tangenziale agente. L'approccio di livello II consente di risolvere il problema meccanico analizzando lo stato tensio-deformativo e definendo la matrice degli spostamenti. L'applicazione di questo modello è rivolta a casi particolarmente complessi e per i quali si dispone di una completa caratterizzazione del sito in frana, in termini di geometria di indagine e dei parametri fisici, idraulici e geotecnici dei suoli coinvolti.







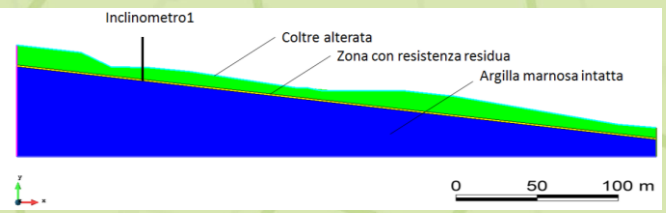


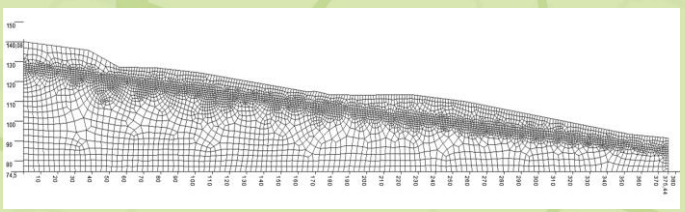


Esempio Applicativo

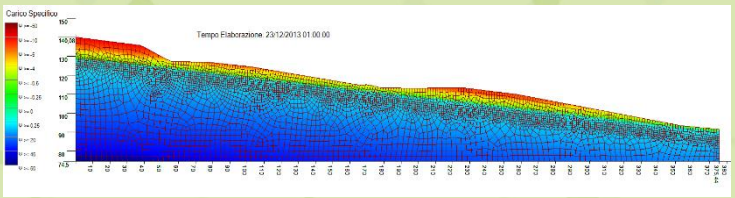
APPLICAZIONE ALLA FRANA DI TORRE ORSAIA (SA)

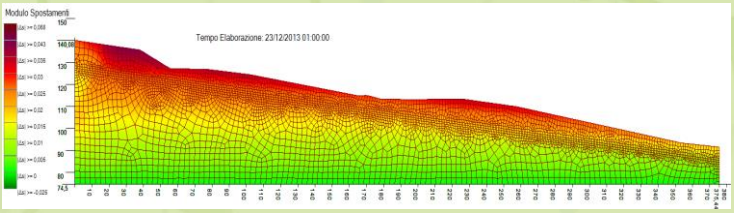
Il modello è stato applicato al caso di Torre Orsaia, un piccolo comune situato nella parte sud della provincia di Salerno, prossimo al confine con la Basilicata. A seguito dei risultati prodotti dalla campagna di indagini, è stato riprodotto il modello relativo alla sezione più rappresentativa del sito, con una adeguata discretizzazione del dominio di indagine.

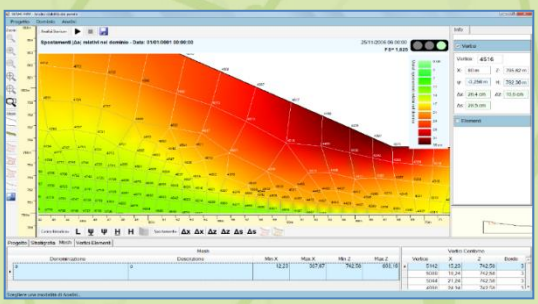


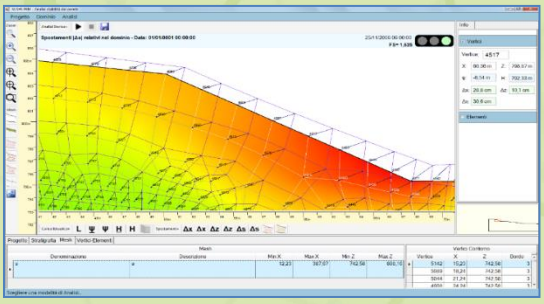


La sezione analizzata ha uno sviluppo di circa 370 metri, caratterizzata da un dislivello complessivo di 50 metri ed uno spessore della coltre alterata di circa 8 metri. L'inclinazione media è di 7°; tuttavia, in alcuni tratti, l'acclività raggiunge i 20° nella zona di monte del pendio. Le analisi effettuate hanno come forzante in input la variazione del livello di falda. Per tal motivo, relativamente al caso esaminato, il modulo idraulico che costituisce una delle due parti del modello, è stato sfruttato non tanto per monitorare l'andamento e la distribuzione del flusso idrico sotterraneo a seguito di un evento pluviometrico noto, ma per riprodurre le variazioni di falda nel dominio discretizzato, secondo quanto riportato dalle letture piezometriche disponibili.
I livelli misurati e riprodotti nel dominio analizzato, sono riportati nelle figure seguenti con relative date di misurazione. Inoltre, è stato analizzato il caso più gravoso rappresentato dalla situazione in cui la falda raggiunge il piano campagna.









Bibliografia essenziale

Capparelli G., Versace P., (2014) Analysis of landslide triggering conditions in the Sarno area using a physically based model Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 3225–3237.
Capparelli G., Versace P., (2011) FLaIR and SUSHI: two mathematical models for early warning of landslides induced by rainfall. Landslides, Vol. 8, n. 1, pp. 67-79.

Gruppo di Ricerca

Giovanna Capparelli giovanna.capparelli@unical.it
Pasquale Versace linoversace@libero.it

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

Il modello tRIBS-Erosion

Il *tRIBS-Erosion* (*Francipane et al.*, 2012) è la componente morfologica del modello idrologico tRIBS (*TIN-based Real-Time Integrated Basin Simulator - Ivanov et al.*, 2004) che consente di modellare i fenomeni erosivi tipici dei versanti e della rete idrografica di un bacino. Tra i primi, il modello considera l'erosione da distacco dovuta all'impatto delle gocce di pioggia sul suolo e l'erosione legata all'azione di trascinamento esercitata dalle correnti superficiali. Tra i secondi, il modello considera i fenomeni di erosione/deposito. La variazione di elevazione nel tempo dovuta a tali processi, $\partial z/\partial t$, viene calcolata come la minore tra le capacità di erosione e di trasporto dei sedimenti in una data cella secondo la seguente formula:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -Min[D_c, \nabla q_s]$$

dove *Min* è l'operatore minimo, D_c [L/T] è la capacità di distacco/trascinamento, q_s [L³/T] è il carico di sedimenti della corrente e ∇q_s è l'operatore divergenza, ovvero la somma del flusso di sedimenti in entrata in una cella meno la capacità di trasporto dei sedimenti nella stessa cella.

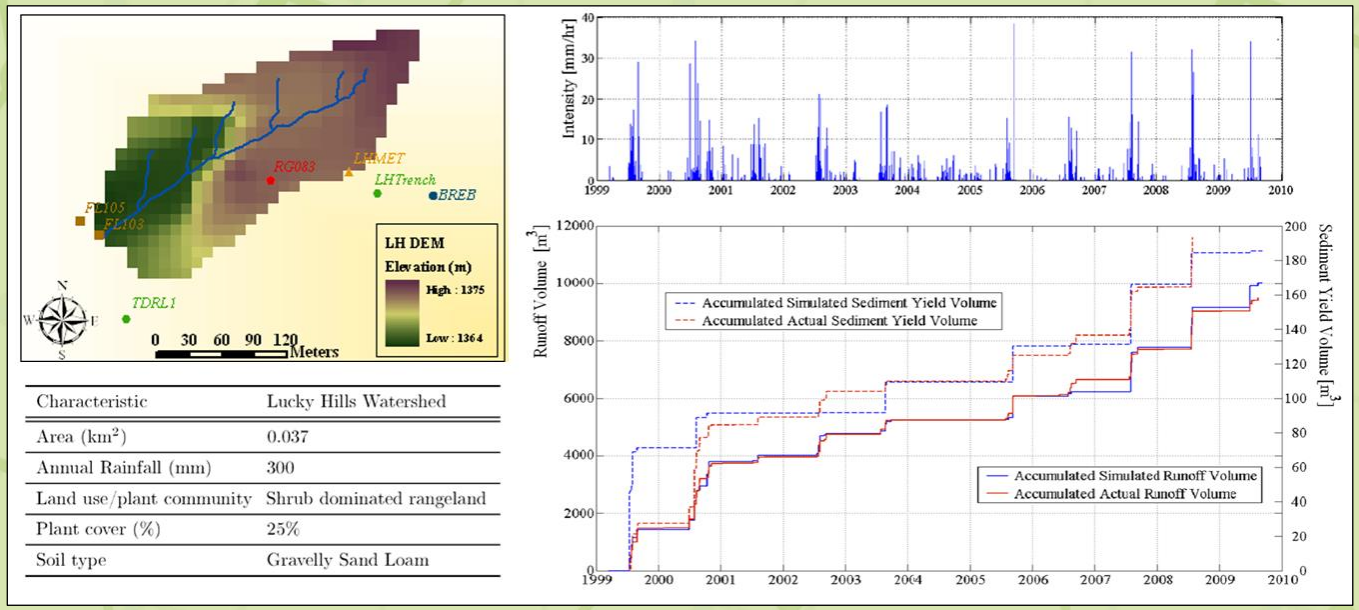
Il termine D_c combina le capacità di distacco per impatto della goccia di pioggia sul terreno (*rainsplash*) e per azione di trascinamento esercitata dalle correnti superficiali. Il primo è modellato con l'approccio concettuale proposto da Wicks e Bathurst (1996), in cui l'azione della pioggia è divisa tra gli effetti dell'impatto diretto della goccia di pioggia e quello della goccia che precipita dalla chioma fogliare. L'azione di distacco e trascinamento delle correnti superficiali è stimato utilizzando una formulazione basata sulla definizione di una soglia critica di taglio; in questo caso, l'approccio modellistico è lo stesso tanto per i flussi che scorrono sui versanti che per quelli incanalati.

La topografia del bacino è basata sull'utilizzo del TIN. La struttura computazionale si presenta sotto forma di poligoni di Voronoi, che permettono di utilizzare un minor numero di elementi computazionali, senza per questo avere una significativa perdita di informazioni, e ottenere, quindi, una struttura computazionale molto flessibile. All'interno di questo *framework* spaziale, i sedimenti si muovono da una cella di Voronoi all'altra, seguendo la direzione di massima pendenza. I sedimenti distaccati/trascinati da una o più celle vengono convogliati in una cella a valle e sono utilizzati per calcolare la divergenza del flusso di sedimenti ∇q_s. Quando il modello è applicato in continuo ad un bacino idrografico, il modello aggiorna alla scala giornaliera (i.e., alla mezzanotte di ogni giorno) le quote di ogni cella sulla base dei sedimenti che si sono depositati in essa o, viceversa, sono stati erosi da essa. Contestualmente, il modello aggiorna tutta una serie di informazioni necessarie alla corretta esecuzione della modellazione come le pendenze, le esposizioni, le *flow direction* e le *flow accumulation*, le aree contribuenti, aggiornando così l'ordinamento idrologico delle varie celle sulla base delle nuove condizioni topografiche.

Esempio Applicativo

CALIBRAZIONE IN CONTINUO DEL MODELLO TRIBS.
APPLICAZIONE AL BACINO DEL LUCKY HILLS IN ARIZONA (USA)

Il Lucky Hills (Arizona, USA) è un piccolo sottobacino del bacino sperimentale Walnut Gulch Experimental Watershed (Arizona, USA). Esso ha un'area di circa 0,037 km² ed è caratterizzato da un clima di tipo sub-arido (precipitazione media annua è di circa 300 mm) ed una vegetazione dominata da sterpaglie e arbusti. Il suolo è prevalentemente costituito da sabbie limose costituite dal 60% di sabbia, il 25 % di limo e il 25% di argilla. Come si può notare dall'immagine in alto a sinistra della figura, il bacino è molto ben strumentato con sensori per la misura delle precipitazioni (RG083), delle portate liquide e solide (FL103 e FL105), di altre variabili meteo-climatiche (*flux tower*, BREB) e delle principali grandezze idrauliche del suolo (LHMET e LHTrench).



Characteristic	Lucky Hills Watershed
Area (km²)	0.037
Annual Rainfall (mm)	300
Land use/plant community	Shrub dominated rangeland
Plant cover (%)	25%
Soil type	Gravelly Sand Loam

La calibrazione del modello, sia dal punto di vista idrologico che sedimentologico, è stata eseguita per un periodo piuttosto lungo (dal 1999 al 2010) presso la sezione di chiusura del bacino (FL103). I dati utilizzati per le simulazioni sono stati recuperati a partire dagli strumenti prima elencati. Come si può notare dal grafico in basso a destra della figura, le cumulate delle portate liquide (curve a tratto continuo) e delle portate solide (curve tratteggiate) alla sezione di chiusura seguono la stessa evoluzione temporale nell'arco dei dieci anni studiati, soprattutto per la calibrazione idrologica. La calibrazione della parte erosiva, invece, risente di una iniziale fase di *warm up* del modello che non gli consente di seguire perfettamente la prima parte della curva osservata. Dopo tale periodo, però, anche la componente morfologica inizia a seguire la stessa evoluzione temporale del sedimento nel bacino.

Bibliografia essenziale

Francipane A., Ivanov V.Y., Noto L.V., Istanbulluoglu E., Arnone E., Bras R.L., 2012. "tRIBS-Erosion: A parsimonious physically-based model for studying hydro-geomorphic response". Catena, 92, 216-231, doi:10.1016/j.catena.2011.10.005.

Ivanov V.Y., Vivoni E. R., Bras R.L., Entekhabi D., 2004. "Catchment hydrologic response with a fully distributed triangulated irregular network model". Water Resour. Res., 40, W11102, doi:10.1029/2004WR003218.

Gruppo di Ricerca

Leonardo V. Noto — leonardo.noto@unipa.it
Antonio Francipane — antonio.francipane@unipa.it
Dario Pumo — dario.pumo@unipa.it

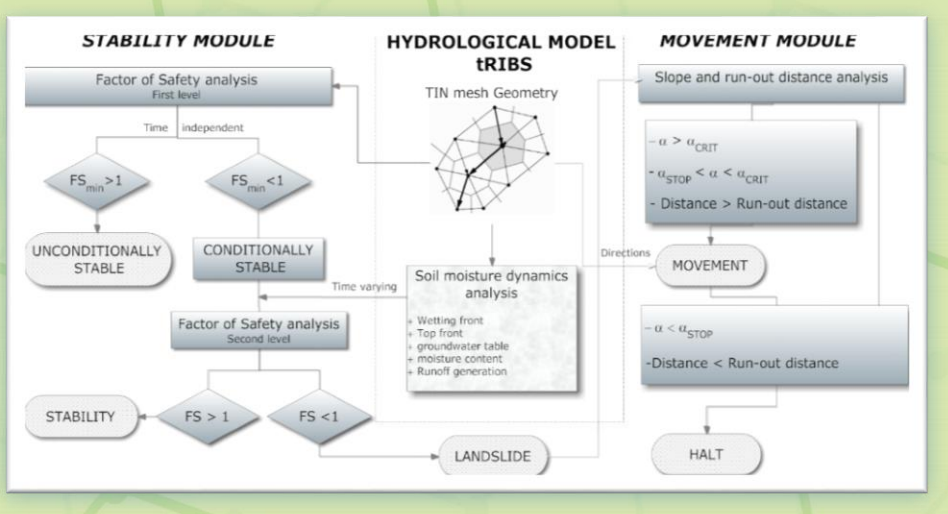
DICAM

http://www.unipa.it

Frane, colate e idrologia di versante

Modelli tRIBS-Landslide

La famiglia dei modelli ***tRIBS-Landslide*** include quei modelli che si basano sulla integrazione del modello idrologico tRIBS (**TIN R**eal-Time **I**ntegrated **B**asin **S**imulator) e del modello eco-idrologico **tRIBS-VEGGIE** (tRIBS-**VEG**etation **G**enerator for **I**nteractive **E**volution) con una componente di analisi di stabilità del versante, generalmente il modello del pendio indefinito. Questo approccio, ormai ben consolidato in letteratura, viene promosso da Montgomery e Dietrich nel 1994.

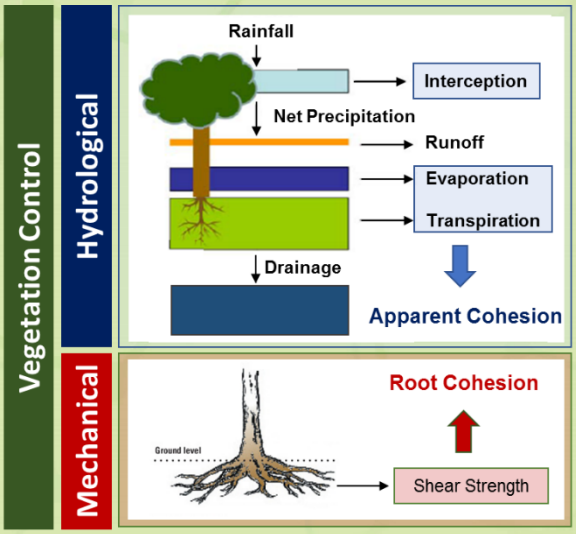


La figura a sinistra mostra la struttura del modello sviluppato da *Arnone et al. (2011)* che, rispetto all'approccio pioneristico di cui sopra, permette di:

a) valutare le condizioni non stazionarie dell'insaturo;

b) ridurre gli oneri di calcolo grazie alla mesh triangolare.

L'impiego di **tRIBS-VEGGIE** consente di valutare gli effetti 'stabilizzanti' della vegetazione dal punto di vista del 'controllo idrologico' (*Lepore et al., 2013*), legato cioè al controllo sulle dinamiche di umidità del suolo. Tuttavia, l'apparato radicale esercita anche una resistenza di tipo meccanica. Il lavoro di *Arnone et al. (2016a)* combina insieme questi due aspetti sviluppando un'ulteriore versione del modello il cui schema è mostrato nella figura in basso a sinistra. Il modello in *Arnone et al. (2016b),* infine, tiene conto dell'incertezza parametrica.



Fattore di Sicurezza (FS): indice di stabilità del versante, rapporto tra forze de-stabilizzanti e stabilizzanti

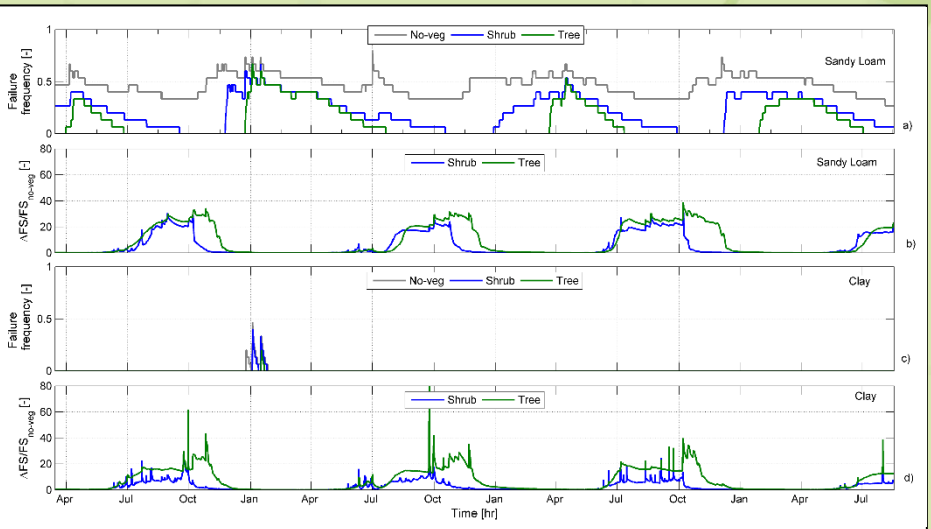
$$FS_s(z,t) = FS_s = \underbrace{\frac{c_s}{\gamma_t(\theta) z_n \sin\omega}}_{\text{Cohesion term}} + \underbrace{\frac{\gamma_w \psi_b}{\gamma_t(\theta) z_n} \cdot \left[\frac{\theta(z,t) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right]^{1-\frac{1}{\lambda}} \cdot \frac{\tan\phi}{\sin\omega}}_{\text{Moisture/Suction term}} + \underbrace{\frac{\tan\phi}{\tan\omega}}_{\text{Friction term}}$$

L'utilizzo dei modelli tRIBS-Landslide risulta molto utile nell'analisi delle dinamiche dei processi!

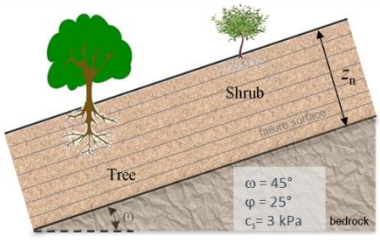
Esempio Applicativo

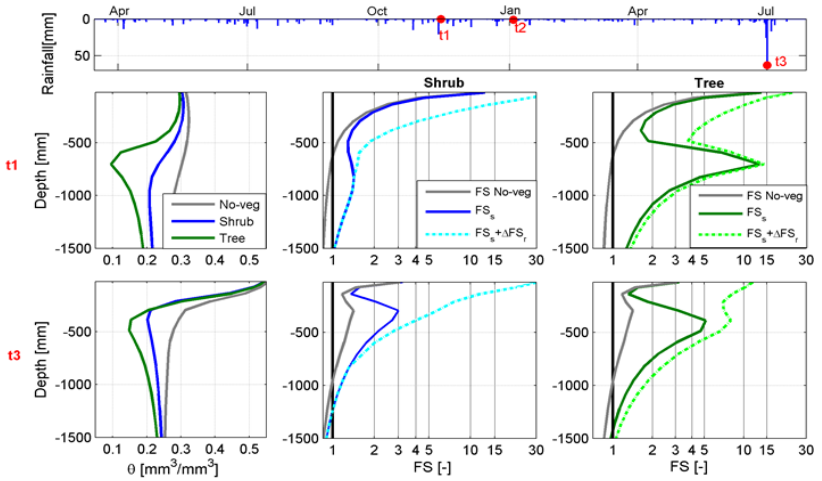
EFFETTO IDROLOGICO E MECCANICO DELLA VEGETAZIONE A SCALA DI VERSANTE

Gli effetti idrologici e meccanici della vegetazione sono stati isolati ed analizzati applicando il modello **tRIBS-VEGGIE-Landslide** (*Arnone et al., 2016a*) ad un versante parametrizzato ad hoc. Si è considerato un suolo *sandy loaam* ed uno *clay*, entrambi ricoperti una volta da *tree* ed una volta da *shrub*. I dati per la caratterizzazione della vegetazione provengono da misure di indagini in situ in due aree della Toscana. La componente 'radicale' del modello è stata quindi calibrata in funzione del *LAI* e delle misure di *Root Area Ratio*. La forzante meteorica è tipica di un clima Mediterraneo caratterizzato da stagionalità.



Sandy Loam / Clay





- Forte componente stagionale della frequenza di inneschi
- La vegetazione incide sulle condizioni iniziali di umidità di eventuali inneschi
- *Tree* riduce maggiormente la frequenza di scivolamenti, specie in *sandy loam*
- L'influenza della coesione radicale dipende dalla profondità radicale

Bibliografia essenziale

Arnone E., D. Caracciolo, L.V. Noto, F. Preti, R.L. Bras, 2016a. Modeling the hydrological and mechanical effect of roots on shallow landslides. Water Resources Research, 52, 11, 8590-8612

Arnone E., L.V. Noto, C. Lepore, R.L. Bras, 2011: Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale. Geomorphology, 133 (3-4), 121-131

Gruppo di Ricerca

Leonardo V. Noto — *leonardo.noto@unipa.it*

Elisa Arnone — *elisa.arnone@unipa.it*

Rafael Bras — *provost@gatech.edu*

www.unipa.it

La Suscettibilità da Frana

Nel corso degli anni sono stati sviluppati vari metodi per valutare la suscettibilità da frana, ovvero la propensione di una determinata area all'innesco di movimenti di massa in relazione alle caratteristiche intrinseche dei terreni di copertura e del substrato, alle caratteristiche morfometriche e morfologiche, all'attività antropica ed alla esposizione nei confronti degli agenti climatici. Tutti i metodi si basano su poche assunzioni fondamentali secondo cui la franosità è controllata da leggi meccaniche che possono essere determinate in modo empirico, statistico o deterministico.

Tra i metodi maggiormente utilizzati in tale ambito ci sono i modelli lineari generalizzati, a cui appartiene anche la **regressione logistica**, e i metodi *data-driven*, a cui appartengono le **reti neurali artificiali (ANN)**.

Il metodo della regressione logistica è un approccio di tipo multivariato che permette di correlare l'occorrenza (o non-occorrenza) di un evento franoso con variabili di tipo continuo o categoriche. Tra gli approcci di analisi multivariata, il metodo della regressione logistica è quello che più si addice al caso in cui la variabile dipendente sia una variabile dicotomica messa in correlazione con variabili che possono essere sia di tipo continuo (pendenza, distanza da elementi caratteristici del bacino, etc.) sia di tipo discreto o categorico (uso suolo, litologia, geologia, etc.). La probabilità condizionata che la frana occorra, in questo caso, è data da:

$$P[Y = 1|X_i] = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0+\beta_1 x_1+\cdots+\beta_p x_p)}} = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

dove $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p$ sono i coefficienti delle variabili $x_1, x_2, \ldots, x_p$, ovvero i pesi di ciascun fattore predisponente. I coefficienti delle variabili rappresentano le incognite del modello e vengono stimati attraverso il metodo della massima verosimiglianza.

Le ANN sono modelli matematici basati sull'interconnessione tra elementi, definiti neuroni artificiali, che cercano di imitare le proprietà dei neuroni reali. Il concetto che sta alla base del loro utilizzo è la possibilità di apprendere da fenomeni noti, in quanto già avvenuti in passato, per prevedere quelli futuri. In una prima fase, detta di *training*, la rete stima dei pesi che stabiliscono le connessioni tra i neuroni artificiali (detti nodi della rete); durante la successiva fase di simulazione, la rete risponde ai dati di input, sulla base delle esperienze acquisite nella fase precedente, restituendo dei valori in output. Tra le tipologie di reti neurali artificiali esistenti, una tra le più usate per la stima della suscettibilità da frana è la *feed-forward MultiLayer Perceptron* (MLP), in cui i neuroni, connessi mediante interconnessioni pesate, sono suddivisi in tre differenti strati o layer: uno strato di input, con un numero di neuroni pari al numero di variabili in input, uno strato di output, con un numero di neuroni pari al numero di variabili di output, ed infine uno o più strati nascosti. In una MLP generica, il vettore di input viene propagato in avanti attraverso la rete dove gli strati nascosti effettuano una combinazione lineare dei segnali in ingresso che vengono di nuovo convertiti attraverso una funzione generalmente non lineare (funzione di attivazione). L'output dello strato nascosto diventa l'input per gli strati successivi.

Esempio Applicativo

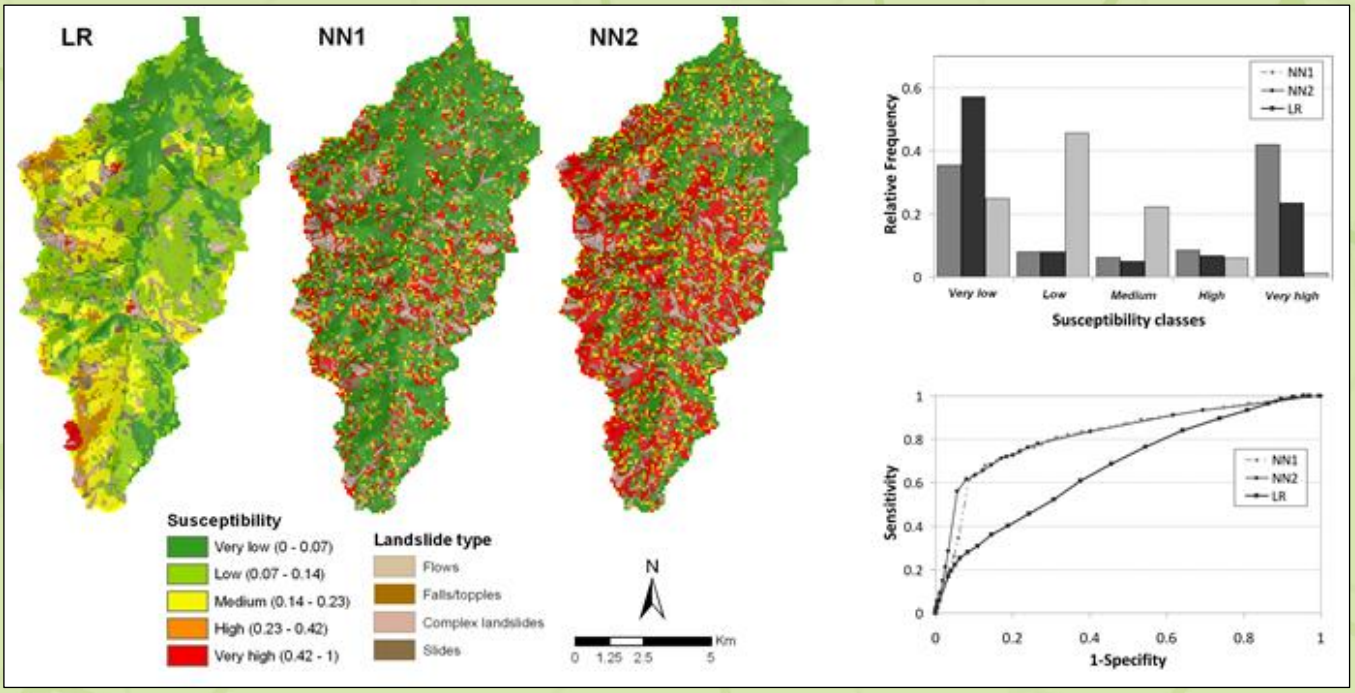
CONFRONTRO TRA REGRESSIONE LOGISTICA E ANN APPLICAZIONE AL BACINO DEL TIMETO (SICILIA, ITALIA)

Il bacino del Timeto, sito in provincia di Messina, è caratterizzato dalla presenza di una delle più vaste aree in frana di tutta la Sicilia. Il bacino ha un'area di 95 km², con una topografia molto variabile ed elevazioni che vanno da 0 a 1350 m s.l.m.

Per l'applicazione della regressione logistica sono state considerate 13 configurazioni possibili, tante quanti i fattori predisponenti presi in considerazione per l'analisi. La miglior configurazione possibile è stata ottenuta considerando 11 dei 13 fattori disponibili, che sono pedologia, litologia, uso del suolo, distanza dal reticolo idrografico, curvatura, pendenza, parametro n della CPP, esposizione, distanza dalle faglie, distanza dalle strade e precipitazione media annua, ed ha portato ad un valore di AUC (*Area Under the Curve*) per la ROC (*Receiver Operating Characteristic*) pari a 0,645 (*Arnone et al.*, 2012).

Per quanto riguarda l'applicazione della ANN è stata adottata una struttura *layer in ingresso – layer nascosto – layer in uscita* con 73 x 140 x 1 neuroni (*Arnone et al.*, 2012, 2014). L'algoritmo di training adottato è stato quello del *Gradient Discendent with Momentum* (GDM) che fa parte della categoria degli algoritmi di *back propagation*. La funzione di trasferimento scelta è quella sigmoide che ritorna un valore variabile tra 0 e 1. Per il *training* della ANN sono stati scelti due subset ottenuti in maniera random dal dataset originario considerando un rapporto celle in frana/non in frana pari a 1:2 (subset NN1) e pari a 1:3 (subset NN2).

I risultati, sia in termini di mappa della suscettibilità che in termini di analisi di frequenza e ROC, sono mostrati nella seguente figura.



Bibliografia essenziale

Arnone, E., Noto, L., Francipane, A., 2012. "Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a small Sicilian catchment". 10th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2012, Hamburg, Germany.

Arnone E., Francipane A., Noto L.V., Scarbaci A., La Loggia G., 2014, "Strategies Investigation in Using Artificial Neural Network for Landslide Susceptibility Mapping. Application to a Sicilian Catchment". Journal of Hydroinformatics (2014), doi: 10.2166/hydro.2013.191.

Gruppo di Ricerca

Leonardo V. Noto — leonardo.noto@unipa.it

Antonio Francipane — antonio.francipane@unipa.it

Dario Pumo — dario.pumo@unipa.it

http://www.unipa.it/dipartimenti/dicam

ANALISI E GESTIONE DEL RISCHIO

ANALISI DI EVENTI FLASH FLOOD

DEM BASED FLOOD HAZARD

MODELLI DI DANNO ALLUVIONALE

PERICOLOSITÀ ALLUVIONALE

RISCHIO IDRAULICO DA SORMONTO ARGINALE

SOGLIE PLUVIOMETRICHE

STIMA DEI DANNI DA ALLUVIONE

VULNERABILITÀ: MODELLO EVIL

VULNERABILITÀ SOCIALE

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

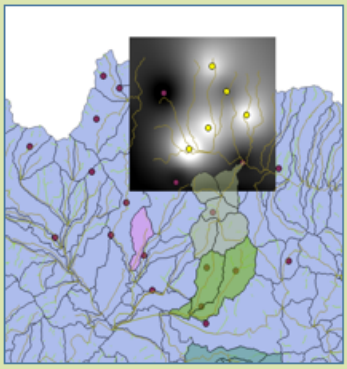
RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

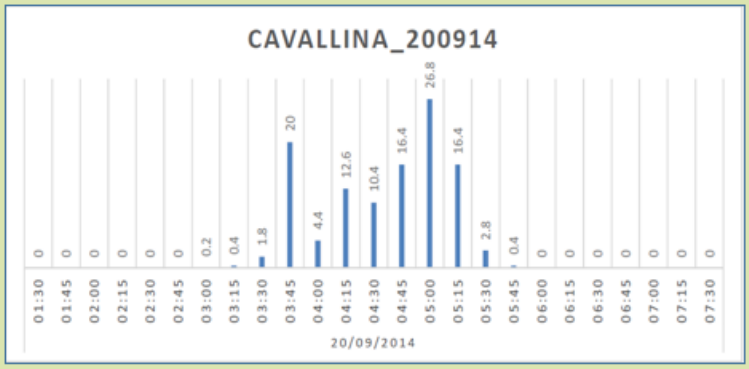
Analisi e gestione del rischio

Analisi di Eventi Flash Flood

Le *flash flood* sono alluvioni che avvengono in tempi brevi e che sono generate da eventi meteorologici estremamente concentrati in termini di intensità di pioggia, per quanto riguarda la scala temporale, e da una altrettanto elevata concentrazione alla scala spaziale. In virtù della loro natura localizzata possono interessare in maniera critica per lo più bacini idrografici di piccola dimensione generalmente con area inferiore ai 100 km².

Negli ultimi anni in Toscana si sono verificati numerosi eventi di tipo *flash flood* e per questo motivo è estremamente importante capire se sia giusto affiancare alla progettazione tradizionale, condotta con eventi di progetto, anche un'analisi della risposta dei bacini idrografici ad eventi intensi di breve durata. Sono state fatte, quindi, diverse modellazioni idrologiche su bacini di piccole dimensioni partendo dalla caratterizzazione di alcuni eventi reali di tipo *flash flood*. Gli idrogrammi risultanti dalla modellazione idrologica degli eventi di tipo *flash flood* sono stati confrontati con quelli di progetto con tempo di ritorno di 200 anni. La ricerca del set di eventi reali, brevi ed intensi, è stata fatta con un'analisi dei massimi di pioggia con durata tre ore. Ogni evento è stato caratterizzato spazialmente e per ogni evento è stata determinata una tabella che riporta i coefficienti di riduzione areale (*ARF - Areal Reduction Factor*): all'aumentare dell'area del bacino che si desidera modellare con gli eventi reali diminuisce, infatti, l'altezza di pioggia media che l'evento ha sull'intera superficie e diminuisce, di conseguenza, anche il coefficiente di riduzione areale. I coefficienti sono stati utilizzati per scalare gli ietogrammi registrati dalle stazioni pluviometriche che all'interno di ogni evento hanno registrato l'altezza di pioggia massima. I coefficienti sono stati determinati sulla base di un raster delle piogge, ottenuto con il metodo dell'*IDW–Inverse Distance Weighting*, come interpolazione spaziale di tutte le stazioni che hanno registrato il medesimo evento nello stesso intervallo di tempo.





EVENTO CAVALLINA		
A [km²]	H_m [mm]	ARF
10	98,4	0,874
15	95,0	0,844
20	92,9	0,825
25	91,5	0,812
30	90,0	0,799
35	88,8	0,788
40	87,5	0,777
45	86,3	0,767
50	85,1	0,756
55	84,2	0,748
60	83,4	0,741
65	82,3	0,731
70	81,6	0,725
75	81,0	0,719
80	80,7	0,717
85	80,3	0,713
90	80,1	0,711
95	80,0	0,711
100	79,9	0,709

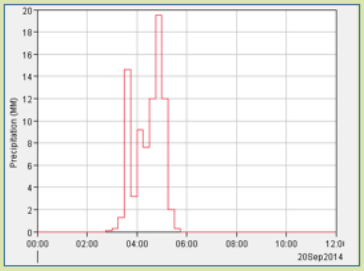
A sinistra: Stazioni coinvolte nell'evento EV1: CAVALLINA_200914 e raster delle piogge con metodo dell'IDW
Nel centro: Ietogramma reale delle piogge, registrato dalla stazione di Cavallina che ha avuto il massimo.
A destra: Tabella con i Coefficienti di Ragguaglio (ARF) con i quali scalare lo ietogramma di Cavallina.

Dopo aver caratterizzato tutti gli ietogrammi degli eventi reali secondo l'analisi spaziale, questi sono stati testati su più bacini di piccole dimensioni e i risultati hanno dimostrato come la progettazione tradizionale condotta con l'evento di progetto di 200 anni possa non essere del tutto cautelativa per i bacini con un'area generalmente inferiore ai 30 km².

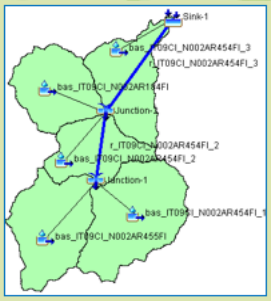
Esempio Applicativo

CASO STUDIO:
SET DI EVENTI REALI ACCADUTI NEL BACINO DEL FIUME ARNO MODELLATI SUL BACINO DEL TORRENTE CARZA (FIUME SIEVE)

La modellazione idrologica è stata fatta con il software HEC-HMS e lo ietogramma di ogni evento è stato scalato con il coefficiente di riduzione areale corrispondente all'estensione dell'intero bacino. Lo ietogramma così scalato è stato poi assegnato ad ogni sottobacino in un modello concentrato. Gli eventi reali sono stati confrontati con il valore della portata di piena di progetto con tempo di ritorno duecento anni, stimata utilizzando per le piogge le Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica dell'Analisi di Frequenza Regionale delle precipitazioni estreme della Regione Toscana.



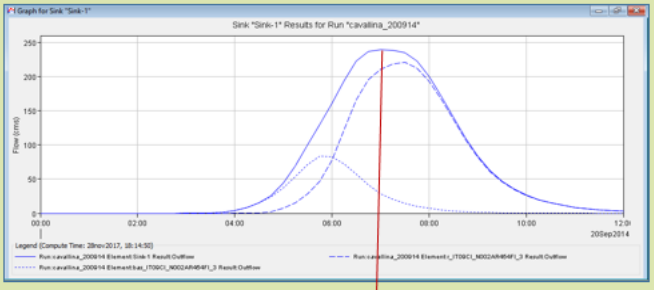
Ietogramma dell'evento EV1: CAVALLINA_200914 scalato con il Coefficiente di Ragguaglio per il bacino del Torrente Carza



Basin Model del torrente Carza su HEC-HMS

$h_{200} = a * t^n$

$Q_{200} < Q_{ev}$?

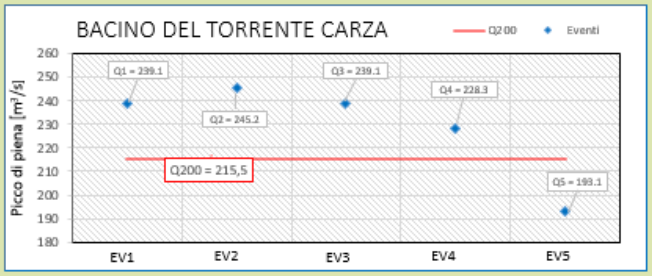


Idrogramma di EV1 alla chiusura del torrente Carza

In tutte le modellazioni idrologiche è stato utilizzato come metodo per l'analisi delle perdite quello del *SCS-Curve Number* e come modello di propagazione dell'onda di piena il metodo *SCS-Unit Hydrograph*. Il confronto tra gli eventi di tipo *flash flood* e l'evento di progetto con T_R=200 anni viene mostrato sotto, riportando i picchi di piena degli eventi reali di breve durata che si sono verificati sul bacino del Fiume Arno in blu, a confronto con la portata di picco di progetto con T_R=200 anni in rosso. Accanto al grafico con i risultati di questo caso studio, è inoltre possibile vedere il set di eventi di pioggia di breve durata denominati 'Eventi Arno', con i nomi delle stazioni che hanno registrato i massimi, le date e le altezze di pioggia degli eventi di durata tre ore.

Stazione	Data	H_{ev} [mm]	Codice
Cavallina (FI)	20/09/2014	112,6	EV1
Certaldo (FI)	18/09/2010	108,8	EV2
Radda in Chianti (SI)	31/08/2012	100,2	EV4
Poggibonsi (SI)	05/06/2011	96,2	EV3
Vinci (FI)	05/10/2010	90,8	EV5

In alto: Set di eventi estremi di breve durata nel bacino dell'Arno
A destra: Confronto tra gli eventi reali del set 'Eventi Arno' e quello di progetto con TR=200 anni del Bacino del Torrente Carza



I risultati hanno mostrato come i torrenti di piccole dimensioni siano notevolmente vulnerabili ad eventi estremi di breve durata e molto intensi. In generale dunque, nella fase di progettazione in bacini idrografici di piccole dimensioni, sembra rilevante utilizzare anche un'analisi della risposta idrologica ad eventi di tipo *flash flood*.

Bibliografia essenziale

Lompi M., E. Caporali, B. Mazzanti, M. Isola, Analysis of flash flood events through the reconstruction of real events hyetographs and hydrologic modeling, 5th IAHR Europe Congress: New challenges in hydraulic research and engineering, Trento, 2018.

European Parliament and Council of the European Union, Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks, 2007.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Marco Lompi — *marco.lompi@gmail.com*
Enrica Caporali — *enrica.caporali@unifi.it*
Bernardo Mazzanti — *bernardo.mazzanti@regione.toscana.it*

METODI SPEDITIVI A BASE GEOMORFOLOGICA PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA SU VASTA SCALA

Comprendere in dettaglio quali siano le aree aventi elevata propensione all'allagamento su grandi scale spaziali rimane una sfida, che non riguarda soltanto la pochezza e la disuniformità spaziale delle informazioni disponibili (ad es. mappature di eventi storici, studi pregressi che abbiano utilizzato modellistica bidimensionale di dettaglio, ecc.), ma anche una conoscenza tuttora piuttosto limitata delle complesse interazioni tra il sistema naturale e gli interventi antropici, oltre che gli eccessivi oneri computazionali ed economici associati allo sviluppo di una modellistica numerica di dettaglio ad hoc.

In detto ambito, il gruppo di ricerca del DICAM – Costruzioni Idrauliche (Univ. Di Bologna), in collaborazione con Gecosistema s.r.l. e DiCEM (Univ. Basilicata), è attivo nello sviluppo e sperimentazione di tecniche basate su modelli digitali delle quote del terreno (DEM) per la mappatura speditiva delle aree aventi elevata propensione all'allagamento. Tali tecniche si basano su modelli lineari binari di classificazione dei diversi *pixel* ricadenti all'interno dell'area di interesse e vantano oggigiorno numerose applicazioni in contesti morfo-climatici estremamente differenziati ed ambiti applicativi relativi sia agli allagamenti fluviali (v. Figura 1), che a quelli urbani da nubifragio (v. Figura 2).

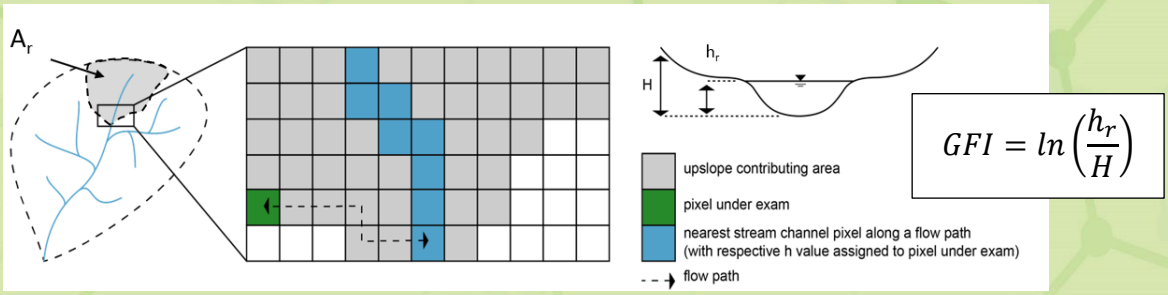


Figura 1. *Geomorphic Flood Index* (GFI) per la mappatura di aree ad elevata propensione all'allagamento da esondazione fluviale in funzione delle grandezze $h_r = a \cdot {A_r}^b$, ed H; nell'immagine è indicata la distanza idraulica tra il punto di interesse da classificare (verde) ed il punto del corso d'acqua idraulicamente più vicino (azzurro) (v. *Samela et al.*, 2017, *Tavares da Costa et al.*, 2018).

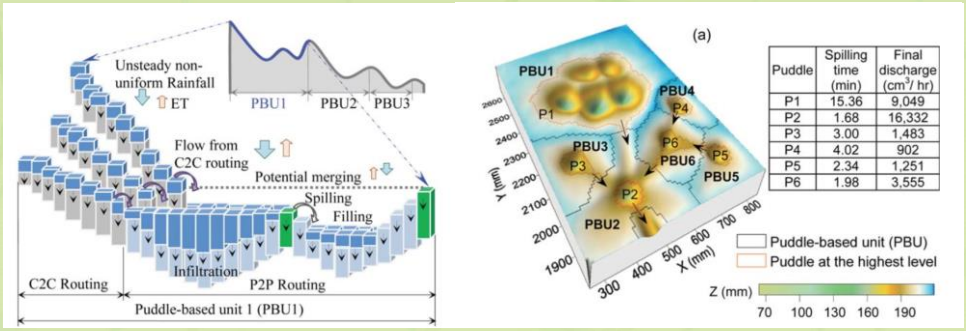
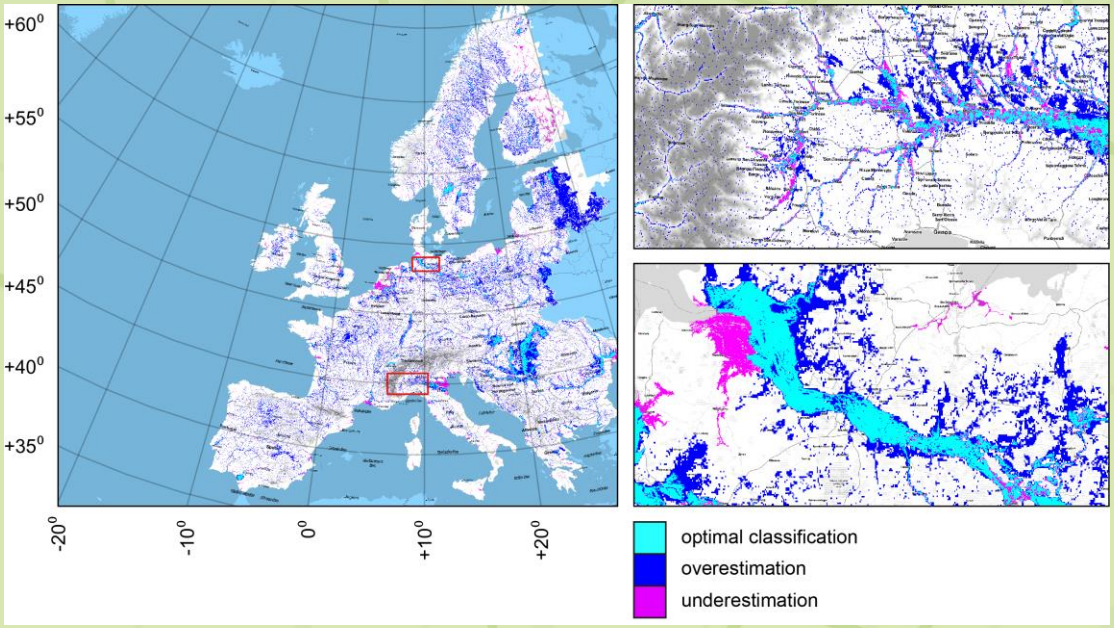


Figura 2. Concettualizzazione dell'algoritmo *Fill&Spill* per l'analisi di un DEM ad elevata risoluzione finalizzata all'identificazione delle aree urbane a maggior pericolosità di allagamento in occasione dei eventi meteorici intensi e nubifragi (adattato da *Chu et al, WRR*, 2013).

Esempio Applicativo

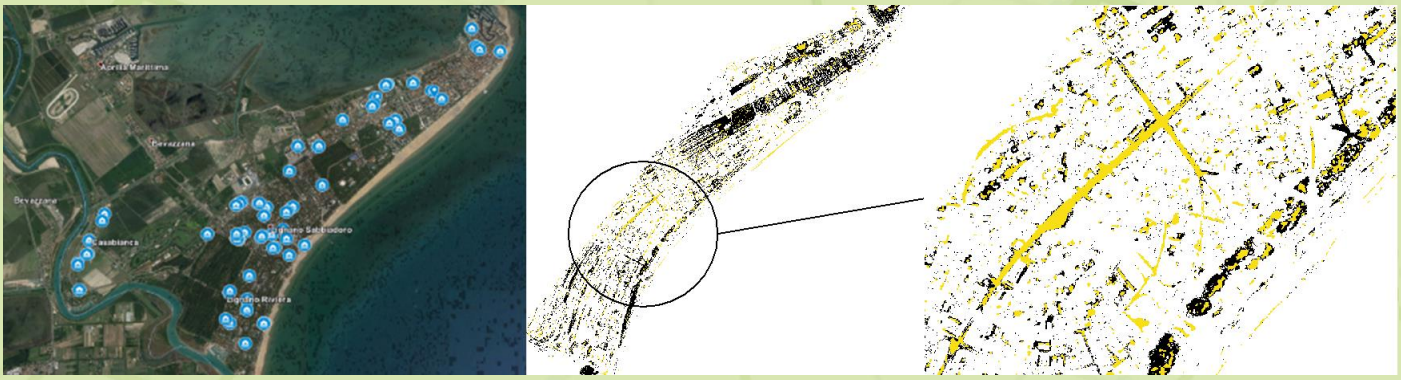
INONDAZIONI FLUVIALI: GEOMORPHIC FLOOD INDEX

Esempio di applicazione a scala europea del *Geomorphic Flood Index* (GFI, v. ad es. *Samela et al.*, 2017). L'applicazione è basata su un modello delle quote del terreno a risoluzione orizzontale di circa 25 m ed usa come mappe di pericolosità di riferimento per la calibrazione dei valore soglia del GFI le mappe di pericolosità predisposte dal *Joint Research Centre* (JRC). L'applicazione è consultabile in maniera interattiva attraverso la web-app "SMARTFlood" sviluppata da Gecosistema (v. http://gecosistema.com/smartflood)



ALLAGAMENTI DA NUBIFRAGI: FILL&SPILL ALGORITHM

Esempio di applicazione dell'algoritmo *Fill&Spill* alla riproduzione delle aree allagate in occasione dei nubifragi del 10-12 settembre 2017 a Lignano Sabbiadoro (Udine). Nell'immagine sono riportate le richieste di intervento alla sala operativa dei Vigili del Fuoco ed un confronto tra l'output di un modello di allagamento di dettaglio (giallo) e la mappatura semplificata con *Fill&Spill*.



Bibliografia essenziale

Samela, C., Troy, T.J., Manfreda, S.: Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments, Advances in Water Resources, 102, 13–28, 2017

Tavares da Costa, R., Manfreda, S., Mazzoli, P., Castellarin, A., Samela, C., Bagli, S.: Pan-european geomorphic flood-prone areas, Atti del XXXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Ancona, 12-14 settembre 2018

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
http://www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Ricardo Tavares da Costa — ricardo.tavarescosta@gecosistema.it
Caterina Samela — caterina.samela@unibas.it
Salvatore Manfreda — salvatore.manfreda@unibas.it
Stefano Bagli — stefano.bagli@gecosistema.it
Attilio Castellarin — attilio.castellarin@unibo.it

I modelli di danno da alluvione si propongono di rappresentare l'ammontare del danneggiamento di determinati elementi esposti ad un evento alluvionale in funzione delle forzanti idrauliche caratteristiche dell'evento stesso, considerando di norma il tirante come unica variabile di riferimento (v. ad es. *Carisi et al. 2018*, v. Figura 1). Vengono usualmente predisposti in base alla disponibilità di dati raccolti per eventi alluvionali storici, oppure definite in relazione a prove sperimentali o a giudizi di esperti.

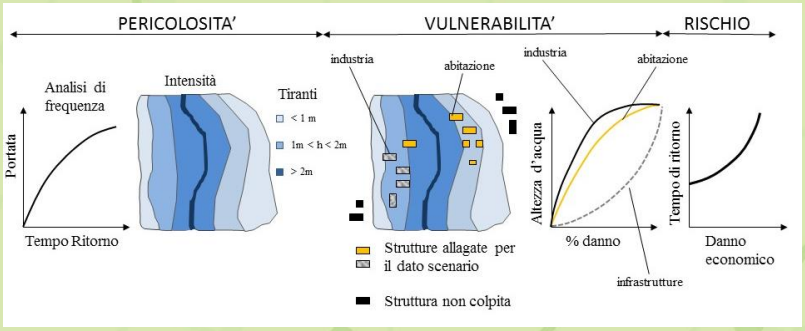
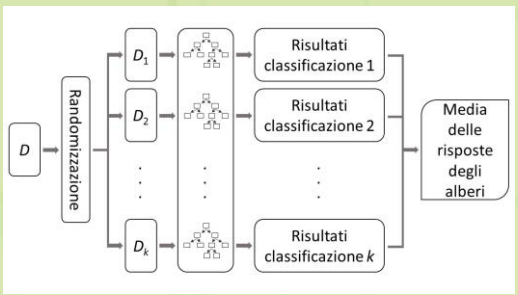
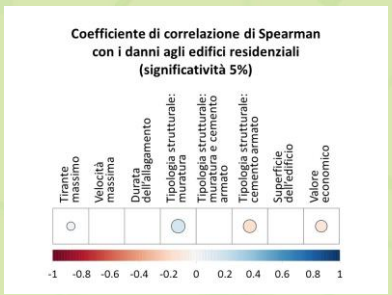


Figura 1. Mappatura del rischio idraulico ottenuta come combinazione tra la pericolosità di allagamento (indici di intensità) e la vulnerabilità dell'area di interesse (esposizione e suscettibilità)

La letteratura scientifica indentifica diverse criticità principali legate alla definizione di detti modelli, tra cui: (a) limitata disponibilità di dataset di danno a livello nazionale ed internazionale; (b) scarsità di studi sull'esportabilità dei modelli in contesti diversi da quello di calibrazione; (c) utilizzo frequente di curve di danno disponibili in letteratura e stimate in territori non sempre propriamente simili a quelli di applicazione; (d) utilizzo di un limitato numero di variabili (tipicamente una sola) tra quelle che tipicamente influenzano il processo di danno (v. ad es. *Carisi et al., 2018*; *Merz et al., 2013*).

In tale contesto, il gruppo di Costruzioni Idrauliche del DICAM dell'Università di Bologna svolge attività di ricerca, anche in collaborazione con Politecnico di Milano, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) e Euro-Mediterranean Centre on Climate Change (CMCC), utilizzando i dataset italiani più consistenti in questo ambito, volte alla predisposizione di linee guida e procedure idonee ad una efficace ricognizione dell'evento dannoso e delle sue conseguenze, con il fine ultimo di predisporre modelli di previsione del rischio idraulico a sostegno delle politiche di mitigazione e gestione dello stesso (v. Figura 2).





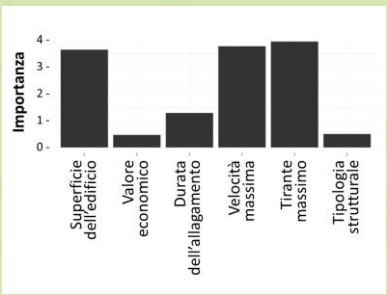


Figura 2. Sviluppo di modelli multivariati per la stima dei danni attesi e valutazione delle loro potenzialità attraverso tecniche di tipo *data-driven* e *machine-learning*, nell'esempio viene considerata la tecnica denominata *Random Forest*, RF, (v. Carisi et al., 2018; Merz et al., 2013), basata su un insieme di alberi di regressione costruiti suddividendo ricorsivamente il set di dati iniziale in modo da massimizzare l'accuratezza predittiva; detta tecnica permette anche la valutazione dell'importanza delle singole variabili descrittive e forzanti idrauliche nel processo di danno.

Esempio Applicativo

SVILUPPO DI MODELLI UNI- E MULTIVARIATI A PARTIRE DAL DATABASE DEI DANNI RACCOLTO IN SEGUITO ALL'ALLUVIONE DEL SECCHIA DEL 2014

Caso di studio

Rottura dell'argine destro del fiume Secchia in località San Matteo (MO) nel gennaio 2014.

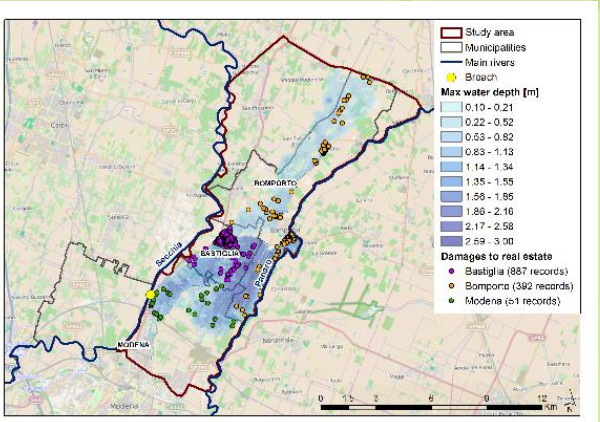
Dati disponibili

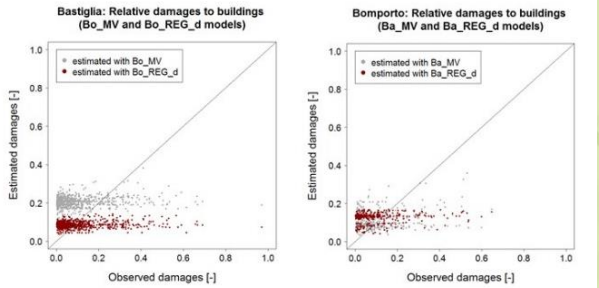
1330 record geolocalizzati di edifici residenziali con informazioni relative a:

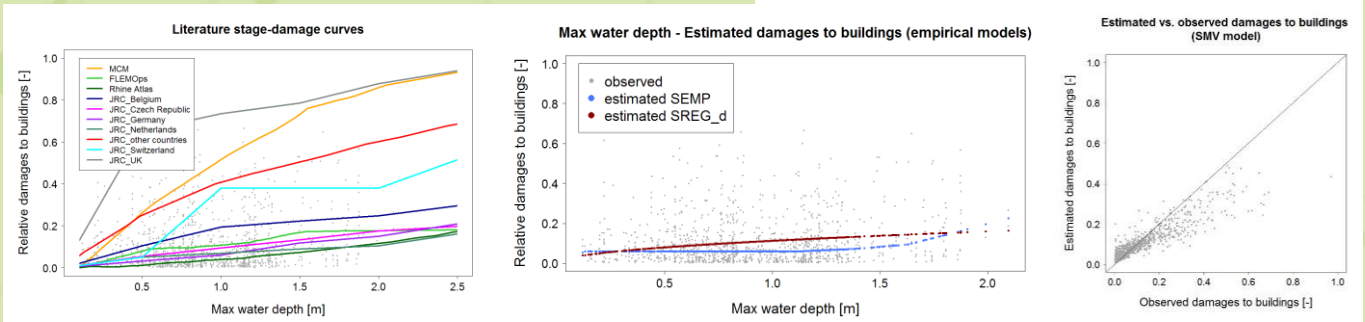
- Sollecitazioni idrauliche (tirante, velocità e durata dell'allagamento, desunte dai risultati di una modellazione idrodinamica con il modello numerico Telemac-2D, calibrato sulle evidenze osservate);
- Danni strutturali subiti e richiesti come risarcimento;
- Valore economico a seconda della zona OMI di riferimento;
- Area in pianta dell'edificio;
- Tipologia strutturale.

Analisi effettuate

- Sviluppo e calibrazione di modelli di danno sui dati a disposizione (es: Secchia Square Root Regression, SREG, modello univariato ottenuto effettuando una regressione sui dati di danno osservati in funzione della radice quadrata dei massimi tiranti simulati; Secchia Multi-Variable, SMV, modello multivariato sviluppato secondo l'approccio RF);
- Confronto delle performance dei modelli sviluppati con quelle dei modelli di danno tipicamente utilizzati in letteratura (es: MCM, FLEMOps, Rhine Atlas, JRC);
- Studio sull'esportabilità dei modelli tra contesti simili da un punto di vista economico-sociale-territoriale.







Bibliografia essenziale

Carisi, F., Schröter, K., Domeneghetti, A., Kreibich, H., Castellarin, A.: Development and assessment of uni- and multivariable flood loss models for Emilia-Romagna (Italy), Natural Hazards and Earth System Science, 18, 1-23, 2018.

Merz, B., Kreibich, H., Lall, U.: Multi-variate flood damage assessment: A tree-based data-mining approach, Natural Hazards and Earth System Science, 13, 53–64, 2013.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Francesca Carisi — *francesca.carisi@unibo.it*
Alessio Domeneghetti — *alessio.domeneghetti@unibo.it*
Attilio Castellarin — *attilio.castellarin@unibo.it*
Armando Brath — *armando.brath@unibo.it*

Analisi e gestione del rischio

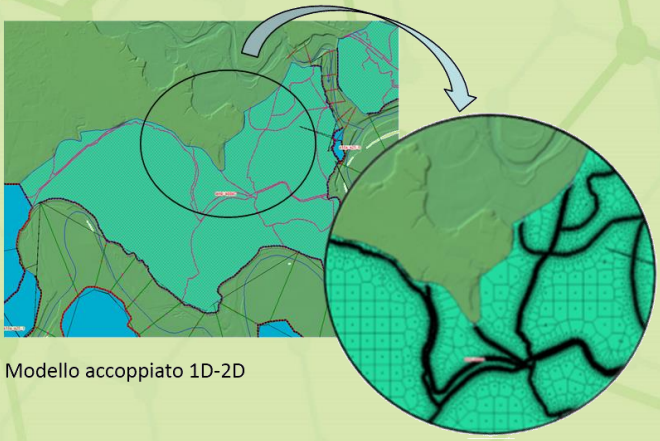
Pericolosità alluvionale

Negli ultimi decenni, le politiche di gestione delle problematiche legate agli eventi alluvionali si sono progressivamente evolute, passando da un approccio tradizionale, focalizzato esclusivamente alla riduzione della probabilità di accadimento degli allagamenti ("flood protection strategy"), ad un approccio basato sulla riduzione del rischio idraulico ("risk-based approach"). Tale approccio richiede evidentemente un'accurata valutazione della pericolosità idraulica che può essere ottenuta ricorrendo a modelli numerico idraulici a diversa complessità ed accuratezza (ad es., modelli 1D, quasi-2D, 2D e 2D-raster based), scelti in relazione alle finalità, alla scala spaziale di interesse e ai dati disponibili. Lo sviluppo tecnico-informatico in ambito modellistico e la crescente disponibilità di dati topografici di maggior dettaglio (es. LiDAR), o aventi copertura globale (v. ad es. modelli digitali del terreno da satellite; SRTM), alimentano il mondo della ricerca nel metter a punto metodologie sempre più accurate ed affidabili per la valutazione della pericolosità alluvionale.

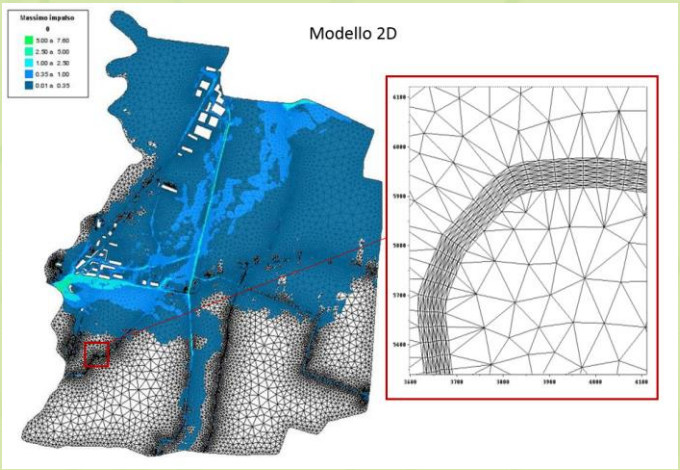
Il gruppo di lavoro di Costruzioni Idrauliche del DICAM dell'Università di Bologna sviluppa ed impiega modelli numerici a differente grado di complessità con le seguenti principali finalità:

- valutazione degli indicatori idraulici di pericolosità in aree a diversa conformazione topografica (aree rurali o urbane) e per diverse scale spaziali (analisi locali o regionali);
- identificazione degli interventi e delle strategie di mitigazione del pericolo alluvionale in relazione alle diverse gestioni delle aree allagabili (ad es. golene difese; *Castellarin et al., 2011*);
- mappatura probabilistica del pericolo alluvionale (*Domeneghetti et al., 2013*);
- valutazione di scenari di crollo arginale in relazione alle sollecitazioni idrauliche mediante il ricorso a curve di fragilità;
- definizione di strategie di gestione degli eventi estremi (rischio residuo)
- valutazione degli effetti antropici (come ad es., sviluppo aree urbane, subsidenza antropica) sulla pericolosità idraulica.

Tutte le analisi condotte dal gruppo di lavoro sono svolte in collaborazione con partner italiani e stranieri nell'ambito di diverse collaborazioni e progetti di ricerca.



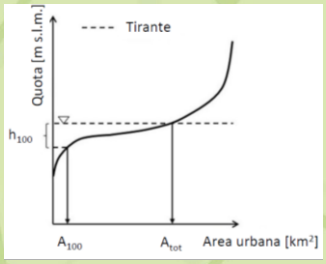
Modello accoppiato 1D-2D

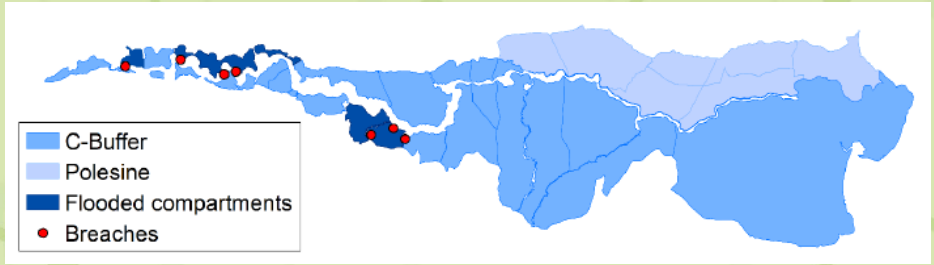


Esempio Applicativo

MODELLAZIONE QUASI-2D E METODI SPEDITIVI PER LA VALUTAZIONE DI STRATEGIE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE LUNGO IL FIUME PO

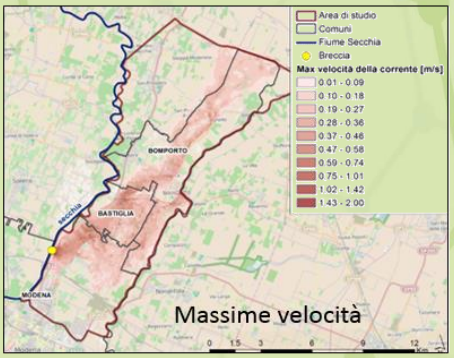
Lo studio si propone di identificare la configurazione ottimale delle arginature per minimizzare i danni attesi nelle aree allagabili in caso di eventi estremi (tempi di ritorno pari a 500 anni), accoppiando un modello idraulico quasi-2D con strumenti empirici denominati "curve ipsometriche di vulnerabilità" (*Domeneghetti et al., 2015*).

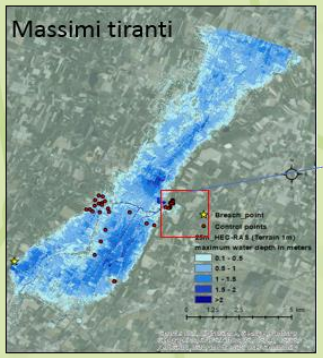




RICOSTRUZIONE MEDIANTE MODELLISTICA 2D DELLA ROTTA ARGINALE DEL FIUME SECCHIA NEL GENNAIO 2014

Ricostruzione delle dinamiche evolutive dell'evento di piena lungo il fiume Secchia e della rotta del sistema arginale, con il conseguente allagamento di oltre 50 km² che ha procurato ingenti danni alle aree urbane, agricole e commerciali. La modellazione idraulica ha consentito la riproduzione delle dinamiche del fronte idrico e la stima dei parametri di pericolosità (es., tirante e velocità) per la stima dei danni economici (*Carisi et al., 2018*).





MODELLAZIONE 2D-RASTER BASED DELL'ASTA MEDIO-INFERIORE DEL PO

Lo studio è finalizzato alla riproduzione bidimensionale delle dinamiche di piena lungo l'asta media inferiore del Po. L'analisi consente la riproduzione dettagliata delle sollecitazioni idrauliche (es. tiranti, velocità) a cui viene sottoposto il sistema arginale. Tali informazioni permettono di valutare il pericolo di formazione di brecce arginali lungo il sistema arginale in relazione alle diverse tipologie di evento atteso (evento di origine prevalentemente alpina, appenninica, etc.).

Bibliografia essenziale

Castellarin A., Domeneghetti A., Brath A. (2011) Identifying robust large-scale flood risk mitigation strategies: a quasi-2d hydraulic model as a tool for the po river. Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 36 (7-8), pp. 299-308.

Domeneghetti A., Carisi F., Castellarin A., Brath A. (2015) Evolution of flood risk over large areas: quantitative assessment for the Po River. Journal of Hydrology, Vol. 527 (2015), pp. 809–823.

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.dicam.unibo.it

Gruppo di Ricerca

Alessio Domeneghetti alessio.domeneghetti@unibo.it
Francesca Carisi francesca.carisi@unibo.it
Iuliia Shustikova iuliia.shustikova@unibo.it
Attilio Castellarin attilio.castellarin@unibo.it
Armando Brath armando.brath@unibo.it

Analisi e gestione del rischio
Rischio idraulico da sormonto arginale

Nella presente scheda viene proposta una metodologia per la caratterizzazione idrologica del rischio da alluvione causato da sormonto arginale. La metodologia rappresenta un'innovazione nell'ambito dell'analisi del rischio alluvionale da sormonto, e potrebbe avere importanti sviluppi applicativi, soprattutto nell'ambito di collaborazioni scientifiche con Enti interessati ad approfondire queste tematiche e a realizzare sistemi di allertamento o di caratterizzazione delle aree allagabili.

Nella pratica convenzionale di stima del rischio si tende a svolgere un'analisi di frequenza univariata (su portate o volumi) per individuare l'evento critico di innesco del meccanismo di sormonto dell'argine, ovvero l'assunzione che ad un determinato Tr corrisponda un evento. Ciò non è vero perché il rischio dovuto all'intensità dell'evento di piena è determinato dal livello dell'acqua durante il passaggio della piena stessa e dalla durata. Pertanto l'evento critico non può essere dedotto solo da un'analisi di frequenza univariata, ma occorre considerare un'analisi multivariata, che tenga conto cioè di tutti i fattori che determinano l'idrogramma, andando, quindi, ad individuare più eventi che corrispondono ad un solo Tr.

Lo studio considera il fenomeno del sormonto arginale come fosse un'analisi della resistenza per un qualsiasi elemento strutturale. Infatti, pone l'evento di piena come "forzante" e lo caratterizza tenendo conto della classificazione della forma dell'idrogramma e della distribuzione bivariata del picco di portata e del volume. Il passaggio dell'onda di piena nel fiume durante l'evento è assimilata alla "resistenza idraulica". L'interazione tra la forzante e la resistenza determina il livello di acqua nel fiume e le successive valutazioni. La procedura pertanto consente di trovare l'*Idrogramma critico per il sormonto arginale* o *COFH-Critical Overtopping Flood Hydrograph,* ovvero una curva nel piano picco di portata (P) - volume (V) che delimita il grafico in due zone: al di sotto si ha una "*safe zone*" ovvero tutti gli idrogrammi che non causano sormonto, sopra si ha una "*failure zone*" ovvero tutti gli idrogrammi che causano il meccanismo di collasso (Fig. 1).

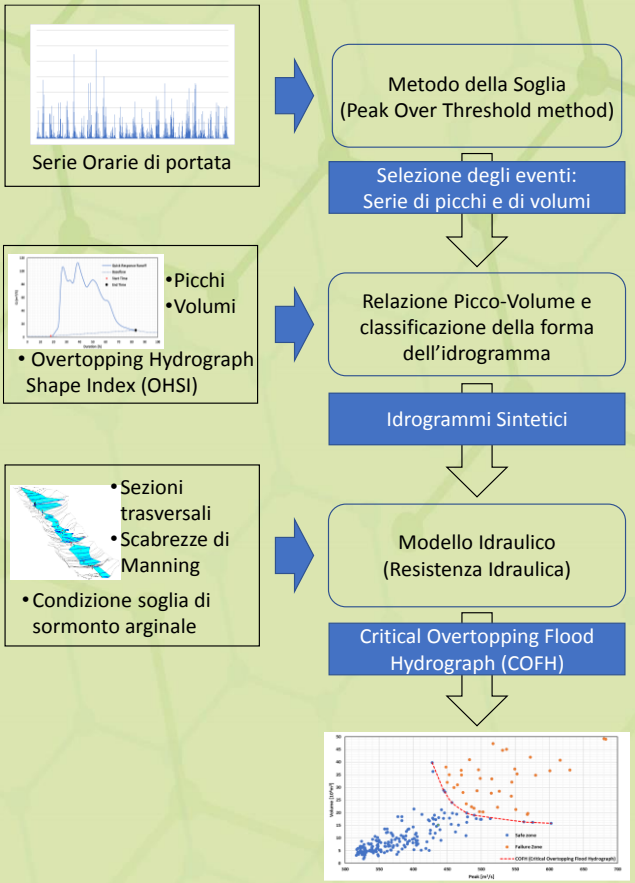
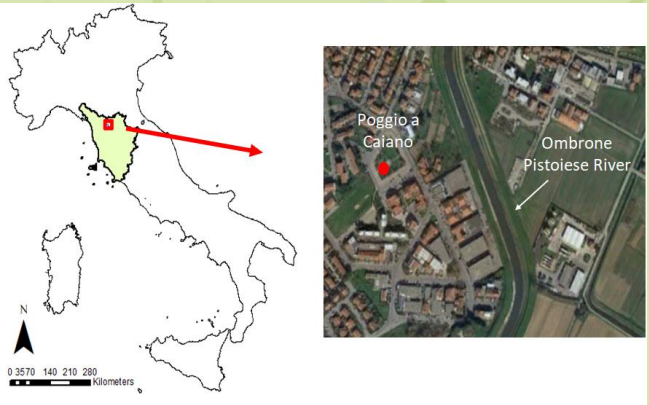


Figura 1. Diagramma di flusso della metodologia

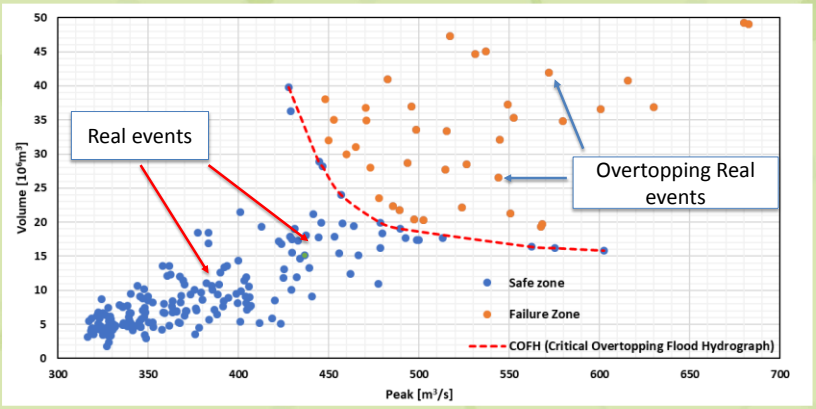
Esempio Applicativo

IDROGRAMMA CRITICO PER IL SORMONTO ARGINALE (COFH): CASO STUDIO FIUME OMBRONE P.SE A POGGIO A CAIANO.

Negli ultimi anni alla sezione di Poggio a Caiano (PO) sul Fiume Ombrone vi sono stati frequenti eventi alluvionali provocati dal sormonto arginale. Tramite la procedura precedentemente descritta è stato valutato l'idrogramma critico per il sormonto arginale (COFH).



Nel grafico della figura sottostante è possibile notare il COFH, ovvero la linea rossa che divide 2 aree: quella dei punti (eventi) blu in cui non si ha sormonto e quella dei punti arancioni dove avviene il meccanismo di danno. L'inclinazione della curva evidenzia il fattore dell'idrogramma che condiziona il livello del fiume: più esso tende all'orizzontale più la piena è influenzata dal volume, più è verticale più è influenzata dal picco.
La metodologia mostra la grande variazione delle portate che causano il sormonto e ad una migliore definizione delle soglie di allertamento. Infatti si può avere esondazione in un intervallo di portata che va da circa 430 m³/s sino a 600 m³/s. Se fosse stata effettuata l'analisi utilizzando la metodologia convenzionale si sarebbe individuata una portata di esondazione pari a circa 580 m³/s, andando così a sottovalutare il rischio. La bontà della procedura viene confermata dal fatto che gli eventi accaduti che hanno causato sormonto o meno sono posti nelle corrispettive aree individuate dal COFH.



Bibliografia essenziale

Isola M., Caporali E. and Garrote L., Hydrological risk analysis for the characterization of overtopping for a river levee, 5th IAHR Europe Congress: New challenges in hydraulic research and engineering, Trento, 12-14 June 2018.
Isola M., Caporali E., A bivariate return period for levee failure monitoring. Abstract H31A-1495A, AGU Fall Meeting, New Orleans 11-15 December 2017.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Matteo Isola matteo.isola@unifi.it
Enrica Caporali enrica.caporali@unifi.it
Luis Garrote l.garrote@upm.es

INTRODUZIONE

Si fornisce una panoramica delle varie tipologie di soglia pluviometrica che si possono utilizzare nei sistemi di allertamento, cercando di proporne una classificazione. In particolare, gli schemi a soglia possono essere distinti in base ai seguenti aspetti:

i) caratteristiche dell'indicatore pluviometro I, funzione delle precipitazioni, restituito da un modello. Il modello utilizzato può fornire, per ogni intervallo temporale di indagine, o un valore univoco di I (Figura 1a), oppure una funzione di probabilità cumulata $F(I)$, connessa al grado di indeterminatezza parametrica del modello stesso (Figura 1b);

ii) relazione tra probabilità di accadimento $P[E|I]$ dell'evento E ed i valori assunti dall'indicatore I. $P[E|I]$ può essere definita come una funzione monotona non decrescente (Figura 1c) o come una funzione a gradino (Figura 1d);

iii) tipologia degli input pluviometrici: riguarda la possibilità di utilizzare solo la pioggia misurata in tempo reale (Figura 1e), oppure anche le previsioni derivanti da modelli meteo e/o stocastici (Figura 1f), che per loro natura non forniscono valori univoci ma una serie di traiettorie pluviometriche che possono essere o meno equiprobabili.

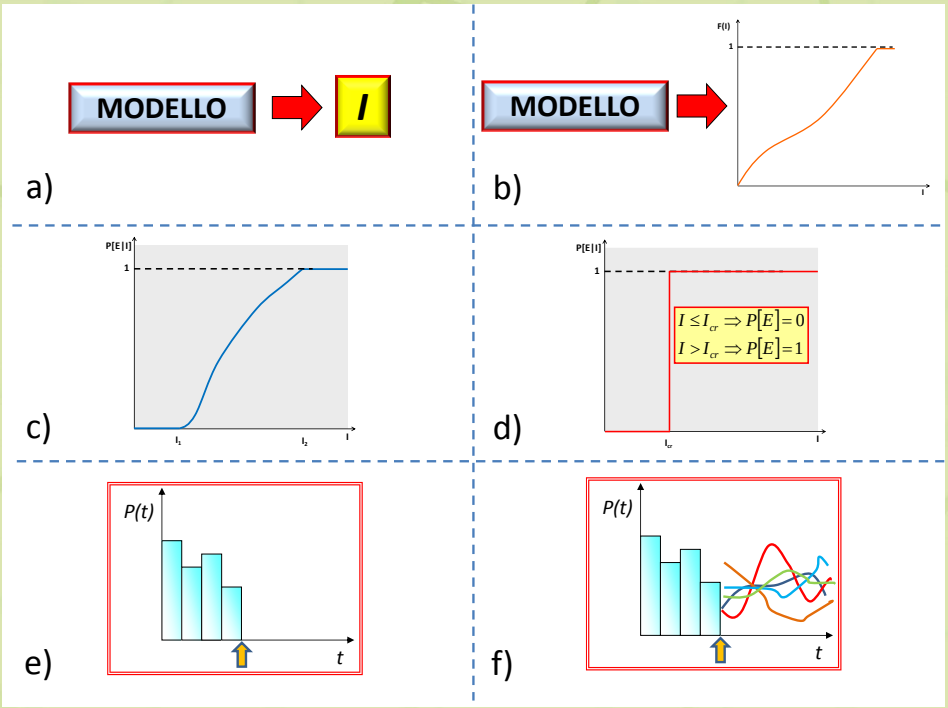


Figura 1. Diversi aspetti che caratterizzano uno schema a soglia pluviometrica. Definizione dell'indicatore I: valore univoco (a), funzione di probabilità cumulata (b). Modellazione della probabilità dell'evento E in funzione dell'indicatore I tramite funzione monotona non decrescente (c), o tramite funzione a gradino (d). Utilizzo delle sole piogge misurate (e), o anche delle previsioni future (f).

Esempio Applicativo

APPLICAZIONE ALL'AREA DI STUDIO DI GIMIGLIANO

Nell'ambito della Convenzione tra il Commissario Delegato per l'Emergenza Idrogeologica in Calabria e l'Università della Calabria - Laboratorio di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica (CAMILAB) dal titolo: "Svolgimento di attività di consulenza tecnico-scientifica per Studi ed indagini geologiche, geotecniche, idrologiche ed idrauliche nei comuni di Gimigliano e Maierato, Monitoraggio finalizzato alla gestione dell'emergenza nei comuni di Gimigliano e Maierato" (OPCM n. 3862/2010), sono stati sviluppati tre specifici schemi a soglia, utilizzando il modello idrologico FLaIR. Tutti e tre gli schemi usano le piogge misurate come input:

- Schema A - l'indicatore I è deterministico e pari alla funzione di mobilizzazione del FLaIR, la probabilità $P[E|I]$ è una funzione a gradino (Figura 1d);
- Schema B - l'indicatore I è deterministico e pari alla funzione di mobilizzazione del FLaIR, la probabilità $P[E|I]$ è una funzione monotona non decrescente (Figura 1c);
- Schema C – il modello FLaIR restituisce una distribuzione di probabilità cumulata $F(I)$, derivante dall'indeterminatezza parametrica, e la probabilità $P[E|I]$ è una funzione a gradino (Figura 1d).

In Figura 2 si riportano i risultati delle applicazioni per l'intervallo temporale 2007-2011. Per maggiori dettagli si rimanda a *De Luca & Versace* (2017) e *Versace & De Luca* (2017)

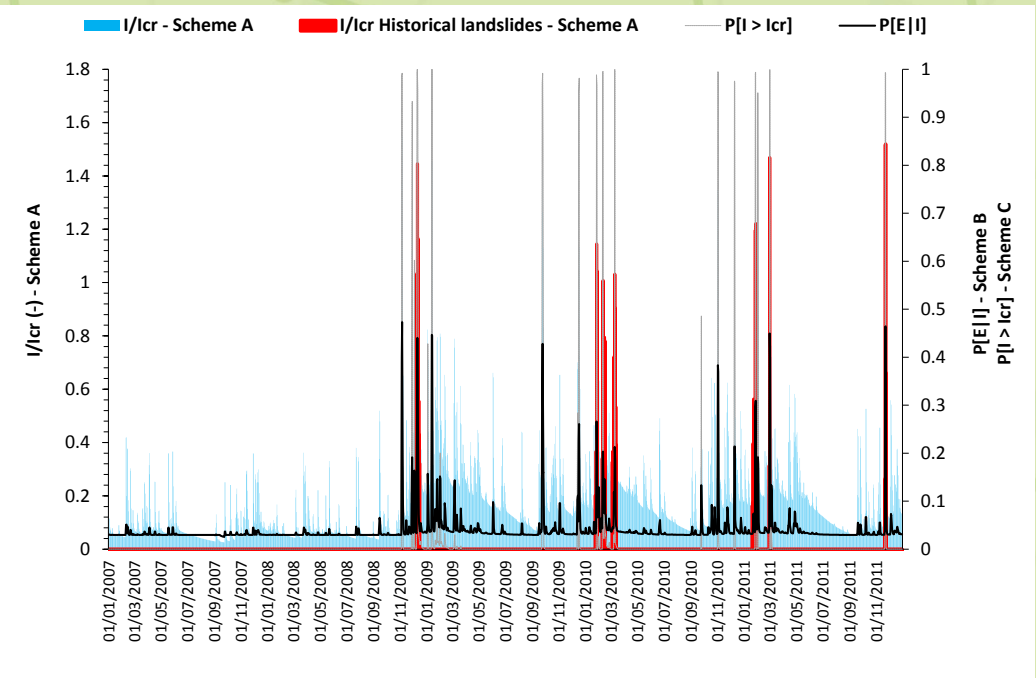


Figura 2. Modello FLaIR. Applicazione di schemi a soglia per l'area di studio di Gimigliano (CZ), periodo temporale 2007-2011.

Bibliografia essenziale

De Luca D.L.; Versace P. (2017). Diversity of Rainfall Thresholds for early warning of hydro-geological disasters. Advances in Geosciences, 44: 53-60, ISSN: 1680-7359, DOI: 10.5194/adgeo-44-53-2017

Versace P.; De Luca D.L. (2017). Deterministic and Probabilistic Rainfall Thresholds for Landslide Forecasting. In: Advancing Culture of Living with Landslides. Vol. 4, p. 169-176, Mikoš M., Casagli N., Yin Y., Sassa K., ISBN: 978-3-319-53484-8, DOI: 10.1007/978-3-319-53485-5_18

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — linoversace@libero.it
Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it
Daniela Biondi — daniela.biondi@unical.it

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

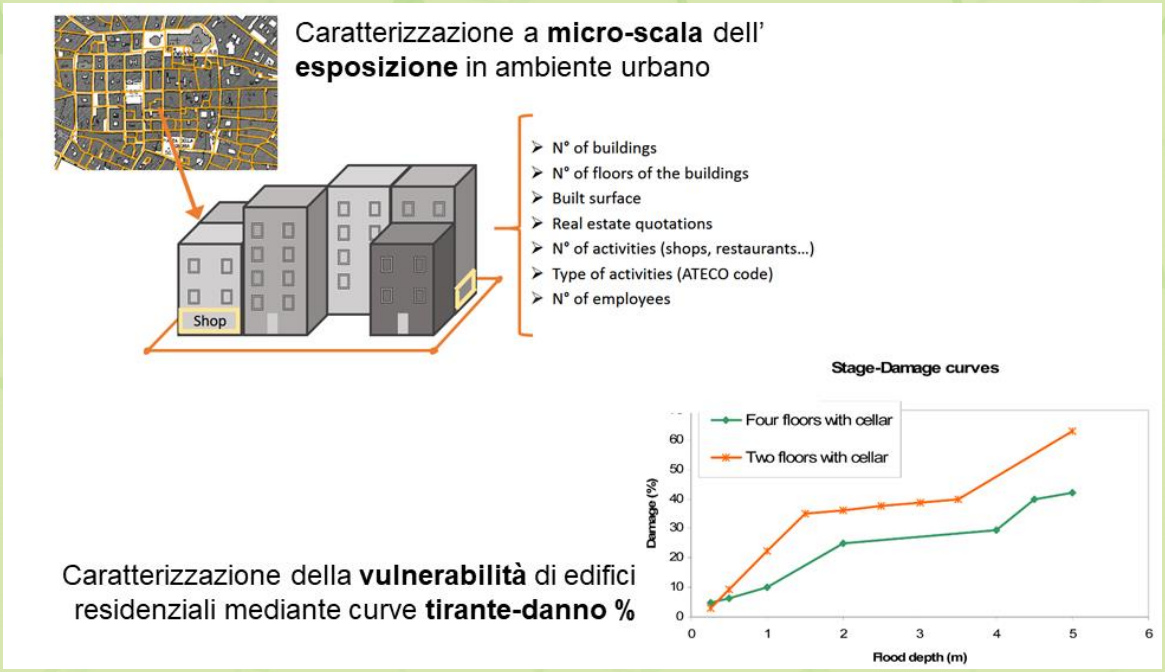
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

La stima dei danni da alluvione è fondamentale per stimare e gestire il rischio e consente anche di produrre risultati utili ai fini della valutazione costo-beneficio delle opere di mitigazione. La stima del danno monetario si avvale, come dato principale, del tirante idrico associato ad uno scenario idrologico con assegnata probabilità. A seconda del tipo di oggetto esposto (edificio pubblico, bene culturale, strada) il danno atteso per un determinato battente dipende dalla sua vulnerabilità che si esprime attraverso curve battente-danno relativo e dal suo valore di ripristino (esposizione).

La valutazione del danno a micro-scala consente di valutare le perdite economiche a livello di singolo edificio, ove siano disponibili dati cartografici di dettaglio, o a livello di sezione censuaria dove si utilizzano i dati del censimento della popolazione e delle abitazioni (ISTAT) disponibili su tutto il territorio nazionale (*Arrighi et al.*, 2013; *Arrighi et al.*, 2018). Il rischio R si ottiene pesando i danni economici $D_{€tot}$ calcolati per ciascuno scenario sulla frequenza di accadimento, ovvero l'inverso del tempo di ritorno T_r:

$$R = \int_0^1 D_{€tot}(T_r) \cdot d\left(\frac{1}{T_r}\right)$$

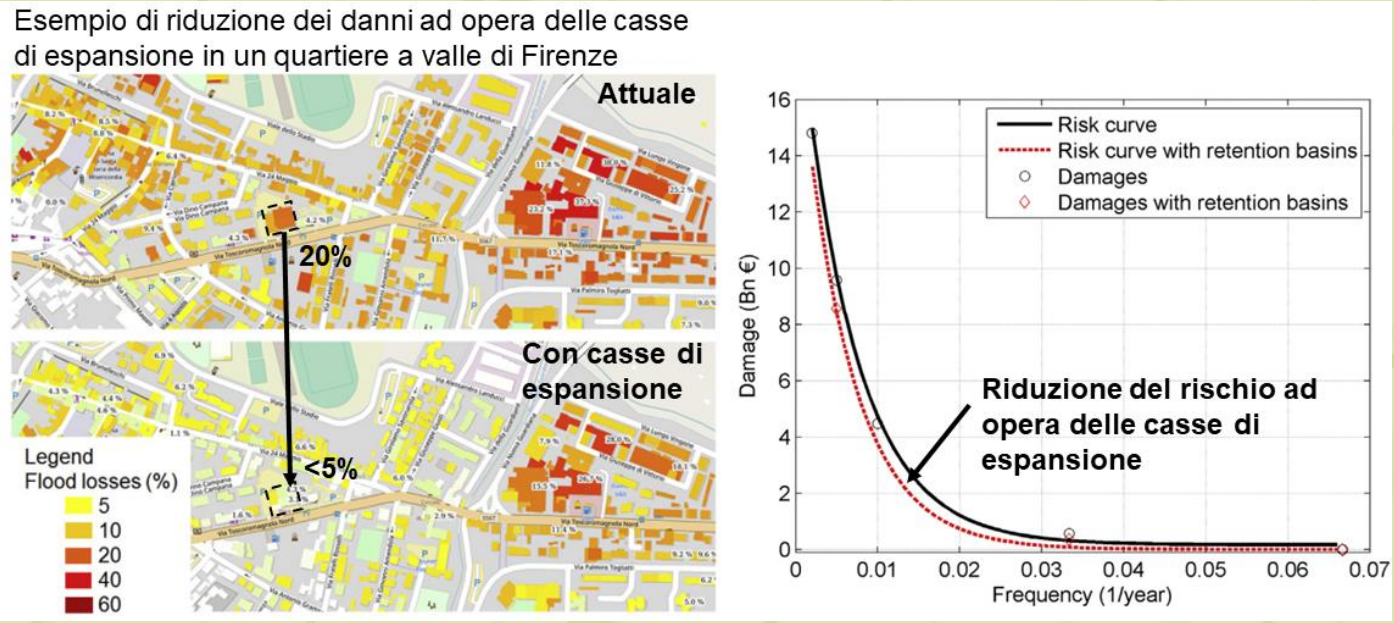


Gli studi già condotti dal gruppo di ricerca in collaborazione con Autorità di Distretto hanno riguardato sia aspetti di modellazione delle piene in ambiente urbano, sia creazione di curve di vulnerabilità ad hoc per le esigenze del caso studio e stima dei costi di ripristino. In particolare per esposizione e vulnerabilità sono state rispettate le caratteristiche locali del tessuto urbano anche tramite ispezioni *in situ* e ispezioni virtuali su Google Street View.

Esempio Applicativo

VALUTAZIONE COSTO-BENEFICIO DELLE CASSE DI ESPANSIONE A MONTE DI FIRENZE

La stima dei danni da alluvione è stata effettuata per la valutazione costo-beneficio delle casse di espansione in fase di realizzazione a monte di Firenze. L'area di studio ha coperto circa 60 km² di area inondata e 10 comuni della piana fiorentina. Sulla base delle mappe dei battenti realizzate da Autorità di Bacino dell'Arno sono stati caratterizzati circa centomila edifici esposti presenti nella cartografia regionale 1:2000. Sono state analizzate varie destinazioni d'uso (residenziale, commerciale, misto commerciale residenziale, industriale etc.).
Dati catastali e dati del mercato immobiliare hanno permesso la stima di vulnerabilità e costi di ripristino. Sono stati analizzati 4 scenari con diverso tempo di ritorno in condizione attuale e due scenari in presenza di casse di espansione funzionanti. Per lo scenario idraulico più gravoso, simile all'evento del 1966, sono stati stimati oltre 12 miliardi di danni diretti tra strutture e loro contenuti. In particolare sull'intera area della piana fiorentina, i danni alle strutture si ripartiscono principalmente tra settore residenziale e industriale, mentre dalla sola valutazione del centro di Firenze emerge una preponderanza di danni a residenziale e commerciale. Per lo scenario con tempo di ritorno 30 anni i danni stimati sono invece dell'ordine dei 500 milioni di euro. Soprattutto per questo scenario le casse di espansione contribuiscono alla riduzione dei danni di poco inferiore al 40%.



Il rischio calcolato nella condizione attuale si attesta sui 170 milioni di euro all'anno, con le casse di espansione si ha una riduzione di circa 19 milioni all'anno che giustifica pienamente il costo dell'opera.

Bibliografia essenziale

Arrighi, C., Rossi, L., Trasforini, E., Rudari, R., Ferraris, L., Brugioni, M., Franceschini, S., Castelli, F. (2018). Quantification of flood risk mitigation benefits: A building-scale damage assessment through the RASOR platform. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, vol. 207, p. 92-104.

Arrighi, C, Brugioni, M., Castelli, F., Franceschini, S., Mazzanti, B. (2013). Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modelling and census data. NAT. HAZ. And EARTH SYST. SCI. vol. 13, p. 1375-1391

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Fabio Castelli fabio.castelli@unifi.it
Chiara Arrighi chiara.arrighi@unifi.it

Analisi e gestione del rischio

Vulnerabilità: modello EVIL

Il modello EVIL (Evaluation of Vulnerability to Inundations and Lanslides) è finalizzato alla stima dell'indice di vulnerabilità individuale IVI (Individual Vulnerability Index). Il modello richiede l'identificazione di alcune componenti di base: 1) lo scenario di evento di riferimento; 2) la tipologia degli oggetti da analizzare, intesi come elementi territoriali minimi per i quali effettuare la stima dell'IVI; 3) i fattori da considerare per stimare l'IVI; 4) gli attributi da utilizzare per assegnare un valore ai fattori; 5) gli algoritmi di riferimento per il calcolo dell'IVI.

Il valore numerico di ogni fattore dipende dal valore numerico dei relativi attributi e dal peso ad essi assegnato. L'indice IVI dipende dal valore assunto dai diversi fattori e dal loro peso.

La procedura è molto flessibile perché può essere sviluppata a diversi livelli di dettaglio e a diverse scale spaziali a seconda della dimensione degli oggetti considerati. La stima di IVI, infatti, può riguardare oggetti quali un singolo edificio, o uno specifico livello di un singolo edificio, un tratto stradale, anche molto breve, con caratteristiche omogenee, un'area non edificata, ecc. Oppure si può fare riferimento ad oggetti più grandi: isolato, gruppo di isolati contigui, quartiere, area urbana, o anche più estesi nel caso di aree poco antropizzate. A seconda della scala di indagine cambia anche il numero dei fattori e degli attributi da analizzare. La Figura 1 mostra i fattori e gli attributi in caso di inondazione, considerando gli oggetti al massimo livello di dettaglio.

Figura 1

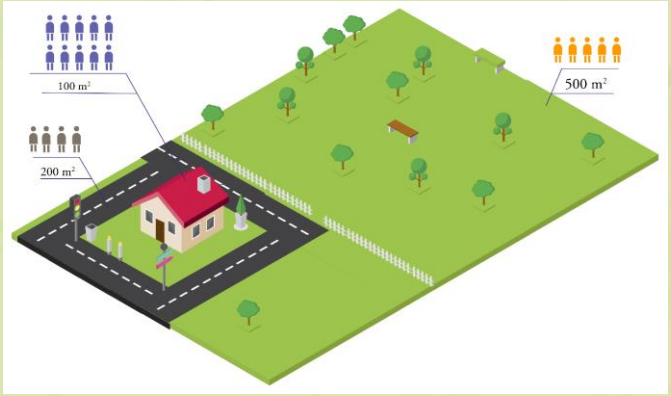


Figura 2

Per ottenere una stima del danno complessivo per le persone è necessario incrociare IVI con un indice di affollamento che fornisca una stima del numero di persone presenti nell'oggetto (Figura 2) al momento dell'evento, ottenendo per ogni oggetto uno specifico indice di danno.

Esempio Applicativo

L'ESARO DI CROTONE ALLA FOCE

Il modello EVIL è stato applicato in alcuni casi di studio riguardanti frane e inondazioni e con diverse configurazioni e quindi con oggetti di diversa dimensione e con analisi con diverso livello di dettaglio. Qui si riporta il caso dell'inondazione della città di Crotone nel tratto terminale del fiume Esaro, interessato dalla terribile alluvione del 14 ottobre 1996. L'area indagata si estende per circa 6.78 km². Gli oggetti identificati sono stati 6797. Per gli edifici si sono considerati separatamente piani terra e seminterrati, primi piani, piani dal secondo in su. La Figura 3 riporta una scheggia con indicati i vari oggetti indagati. La Figura 4 riporta l'andamento dell'indice IVI che assume un valore specifico tra 0 e 1 per ogni singolo oggetto ma che per comodità di lettura è stato raggruppato in classi.
Per l'affollamento si sono utilizzati i dati ISTAT relativi alle celle censuarie, assumendo diverse configurazioni di distribuzione della popolazione (media diurna, notturna, evento speciale che richiama anche popolazione non residente, ecc.). Nell'applicazione si è considerata il caso di evento diurno (Figura 2). La Figura 5 riporta l'andamento dell'indice di affollamento in classi. La carta del danno si ottiene incrociando vulnerabilità e affollamento (Figura 6) utilizzando la matrice di Figura 7. È da osservare che essendo certo l'evento considerato la carta del danno coincide con quella del rischio.

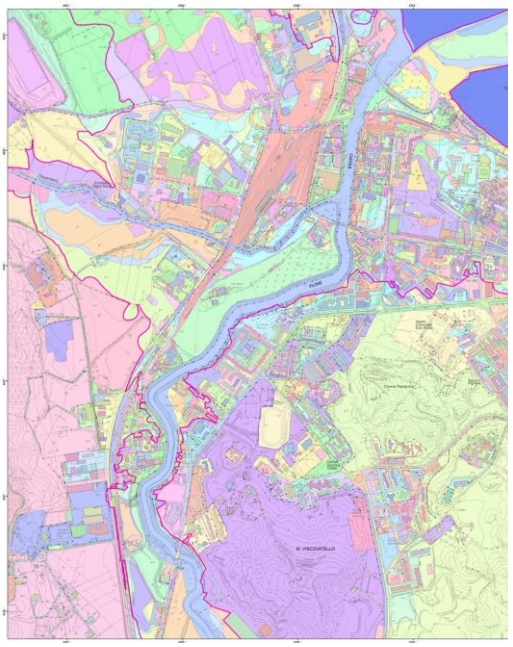


Figura 3

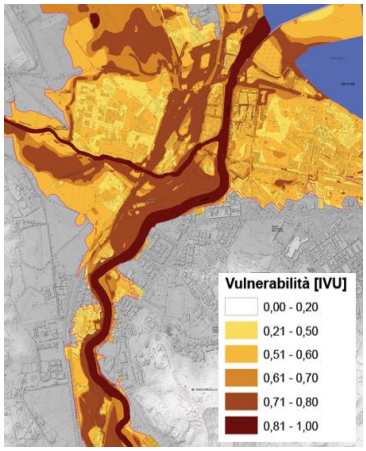


Figura 4

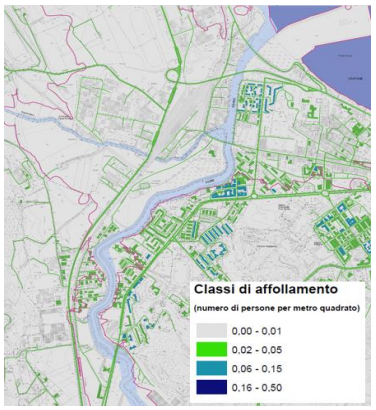


Figura 5

	IVI1	IVI2	IVI3
IF1	D1	D1	D2
IF2	D1	D2	D3
IF3	D2	D3	D4
IF4	D3	D4	D4

Figura 7

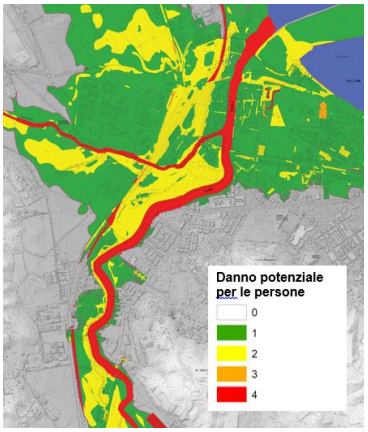


Figura 6

Bibliografia essenziale

Versace et al., 2017, Criteri e metodi per la costruzione di scenari di rischio. Accordo 29/12/2015 DPC-CAMILab Rapporto tematico IV.

Versace et al., 2018, Rapporto sui metodi speditivi per la valutazione della vulnerabilità e del rischio per le persone. Accordo 28/12/2016 DPC-CAMILab. Rapporto tematico A3.

Lab. di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

http://www.camilab.unical.it
http://www.unical.it

Gruppo di Ricerca

Pasquale Versace — linoversace@libero.it
Francesco Cruscomagno — francesco.cruscomagno@unical.it
Damiano Vacha — damiano.vacha@gmail.com
Giovanna Capparelli — giovanna.capparelli@unical.it
Davide L. De Luca — davide.deluca@unical.it

STIMA DELLA VULNERABILITÀ SOCIALE AL RISCHIO ALLUVIONI

Gli effetti dannosi prodotti dalle alluvioni, e più in generale da tutti i disastri naturali, sono strettamente collegati al concetto di vulnerabilità, elemento centrale nello studio del complesso sistema uomo – ambiente. Moltissime definizioni sono state date al termine vulnerabilità, a volte anche contraddittorie, e allo stesso modo esistono diverse teorie su di essa, per lo più legate ai diversi ambiti epistemologici e metodologici. Sostanzialmente, la vulnerabilità è stata caratterizzata come vulnerabilità sociale, intesa come suscettibilità sociale e adattamento, o vulnerabilità biofisica, intesa come esposizione potenziale, oppure è stata definita come un'integrazione dei due approcci di esposizione potenziale e di resilienza sociale.

Cutter (1996) definisce un modello concettuale di vulnerabilità intesa come "*vulnerability of place*", secondo il quale, la vulnerabilità è concepita come: «*both a biophysical risk as well as a social response, but within a specific areal or geographic domain*». Con questa definizione si integra l'approccio "biofisico" e l'approccio sociale, centrandoli in uno spazio geografico ben definito, dove si trovano persone e luoghi vulnerabili. Nel 2003, Cutter, basandosi sul questo concetto, ha proposto un modello per la stima dell'indice di vulnerabilità sociale (SoVI®), che utilizza i dati relativi alle caratteristiche delle comunità e degli individui che consentono loro di rispondere e reagire ai rischi naturali, riconosciute dalla letteratura scientifica. Il *Social Vulnerability Index* (SoVI®) è stato ulteriormente perfezionato e in letteratura si trovano numerose varianti applicative relative a diversi contesti territoriali e a differenti rischi naturali.

Qui di seguito si propone un'applicazione dell'indice di vulnerabilità sociale alle alluvioni, adattato al contesto italiano, in particolare facendo riferimento alla scala territoriale comunale.

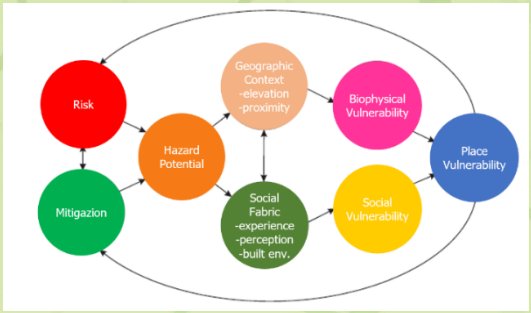


Figura 1. Il modello di "vulnerability of place" (Cutter, 1996)

Open GeoData

- ISTAT – Censimento della popolazione
- ISTAT – OttomilaCensus
- Agenzia delle Entrate – Osservatorio del Mercato Immobiliare
- GeoDati comunali

Metodologia

- Selezione delle variabili *proxy*
- Standardizzazione delle variabili
- Assegnazione della polarità delle variabili in relazione alla loro influenza rispetto alla vulnerabilità
- Stima dell'indice di vulnerabilità sociale
  1. Metodo semplificato (*Wu et al.*, 2002; *Chakraborty et al.*, 2005).
  2. Analisi delle componenti principali *(Cutter et al, 2003)*.

Esempio Applicativo

STIMA DELLA VULNERABILITÀ SOCIALE AL RISCHIO ALLUVIONI NEL COMUNE DI FIRENZE

Per quel che concerne il rischio alluvioni, il Comune di Firenze rappresenta un'area di particolare interesse e criticità, in quanto il sistema idrografico del Fiume Arno e dei suoi affluenti storicamente si è dimostrato ripetutamente inadeguato a contenerne le piene, che spesso hanno causato ingenti danni alla popolazione, al patrimonio culturale e al territorio in genere.

Dal punto di vista "biofisico" numerose sono le analisi, anche di dettaglio, relative alla valutazione del rischio alluvione, che negli ultimi anni hanno trovato una sistematizzazione organica a livello di pianificazione di bacino idrografico, prima con i Piani di Assetto Idrogeologico e poi con i Piani di Gestione del Rischio Alluvioni in l'applicazione della cosiddetta "Direttiva Alluvioni" (Direttiva 2007/06/CE, e il D.Lgs. 49/2010 di attuazione).

In queste analisi, marginale è la considerazione della componente sociale della vulnerabilità, che per lo più è valutata solo in termini di densità della popolazione.

In questo lavoro, si propone una stima della distribuzione della vulnerabilità sociale al rischio alluvione, utilizzando prevalentemente *open data* dell'ISTAT, che hanno il dettaglio della sezione di censimento, integrati con ulteriori *open data* dell'Agenzia delle Entrate e del Comune di Firenze.

Le mappe delle variabili *proxy* prese in considerazione (Figura 2) sono state ricondotte alla struttura raster con cella 100 x 100 m e sono state utilizzate per una prima stima della distribuzione della vulnerabilità sociale all'interno dell'area di studio, impiegando il metodo semplificato proposto da *Wu et al.* (2002) e da *Chakraborty et al.* (2005) (Figura 3). Una stima più accurata può essere effettuata, andando a considerare la correlazione tra le variabili del *geodatabase* e il loro peso, attraverso strumenti di analisi multivariata (*Cutter et al.*, 2003). Si propone infine un confronto tra la mappa del rischio alluvioni e la mappa della vulnerabilità sociale stimata (Figura 4).

Figura 2: Le variabili e gli indicatori di vulnerabilità sociale

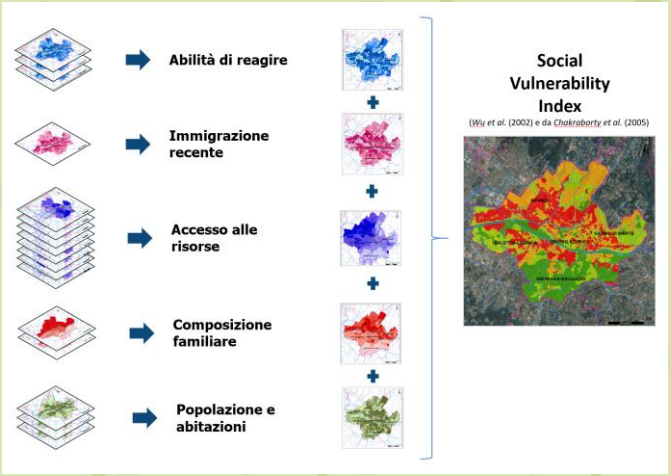


Figura 3: Schema per la stima della vulnerabilità sociale

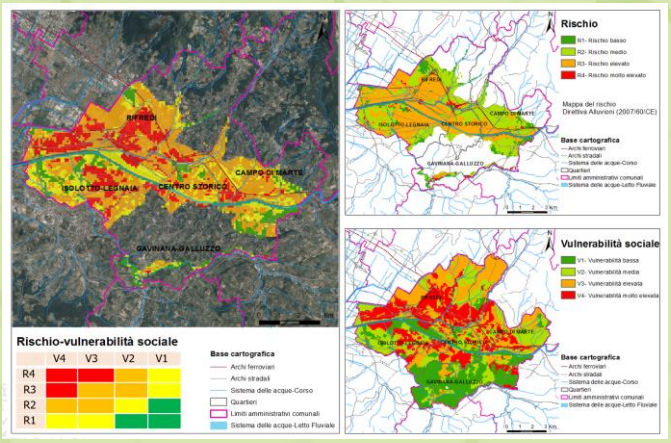


Figura 4: Vulnerabilità sociale e rischio alluvioni: un confronto.

Bibliografia essenziale

Pileggi T., M. Tonola, E. Caporali, A. Petrucci, 2018. A social vulnerability index to flood hazards of municipality of Florence (Italy). In: EGU General Assembly.

Chakraborty J., G. A. Tobin, B. E. Montz, 2005. Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. Natural Hazards Review, 6 (1), 23:33

Cutter S. L., B. J. Boruff, W. L. Shirley, 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. Social Science Quarterly, 84(2), 242–261.

Wu S-Y., B. Yarnal, A. Fisher, 2002. Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. Climate Res., 22, 255–270

Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to hazards. Progress in Human Geography, 20(4), 529–539.

Gruppo di Ricerca

Enrica Caporali enrica.caporali@unifi.it

Alessandra Petrucci alessandra.petrucci@unifi.it

Tiziana Pileggi tiziana.pileggi@unifi.it

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

www.dicea.unifi.it

FORMAZIONE ED INFORMAZIONE

CORSO E-LEARNING PROGETTAZIONE OPERE DI DIFESA DEL SUOLO

GIORNATE DELLA DIFESA DEL SUOLO

IN CASO DI ALLUVIONE…

SCENARI ALLUVIONALI LEGO

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

RETE DI IDROLOGIA APPLICATA

Formazione e Informazione
Corso e-learning Progettazione Opere di difesa del suolo

La progettazione delle opere di difesa dalle alluvioni e dalle frane è un corso di aggiornamento e-learning nato da un accordo tra il Consiglio Nazionale degli Ingegneri - CNI e il CINID.

Si compone di tre moduli: un modulo di base e due di approfondimento (opere di difesa dalle inondazioni, opere di difesa dalle frane), ciascuno dei quali è composto da più unità didattiche, relative ad uno specifico argomento.

Ogni unità didattica comprende un numero variabile di video lezioni indicizzate (Learning Object – L.O.), ciascuna della durata di circa 15 minuti.

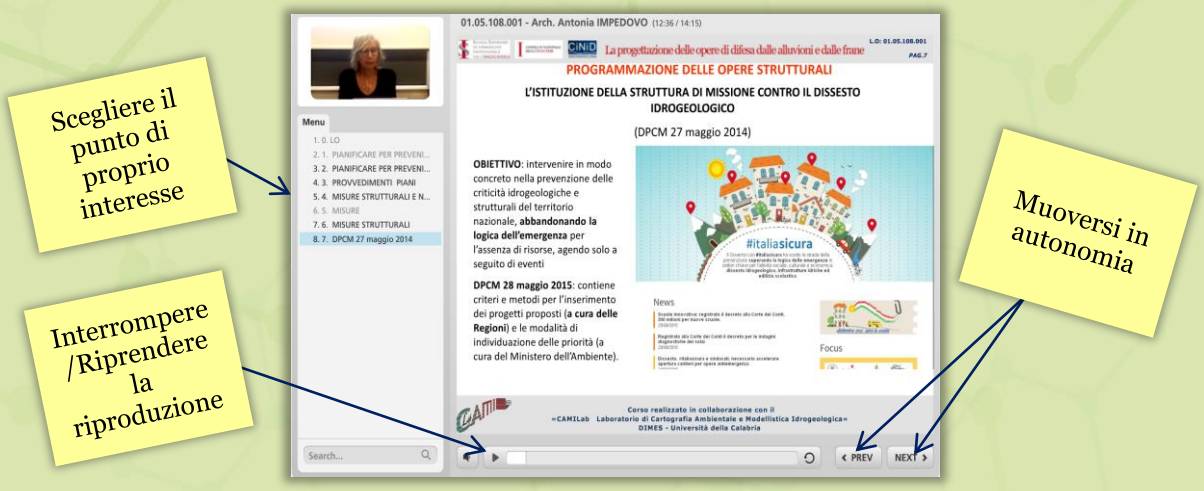
Il numero complessivo di L.O. è 180 per un totale di 45 ore di video lezioni.

I L.O. sono oggetti multimediali complessi, composti da una lezione sotto forma di video, fruibile via Web in maniera asincrona. È prevista la presenza, in un'unica interfaccia utente, di un flusso dati audio/video (riguardante il docente relatore) sincronizzato con le diapositive proiettate (riguardanti i contenuti didattici illustrati).

Ogni unità didattica può essere corredata di materiale integrativo di varia natura (normativa, linee guida, filmati, testi di approfondimento, sitografia e bibliografia, carte tematiche, test di autovalutazione, ecc).

È prevista anche l'indicizzazione delle diapositive che permette al discente di fruire della lezione scegliendo, in base allo stile e al tempo del processo di apprendimento personale, i punti di proprio interesse. Selezionando un indice specifico, mostrato nell'interfaccia utente, il discente raggiunge il punto corrispondente della video lezione, sviluppando una navigazione ipertestuale/ipermediale all'interno dell'oggetto didattico.

Grazie alla sua struttura dinamica, sulla piattaforma è possibile:



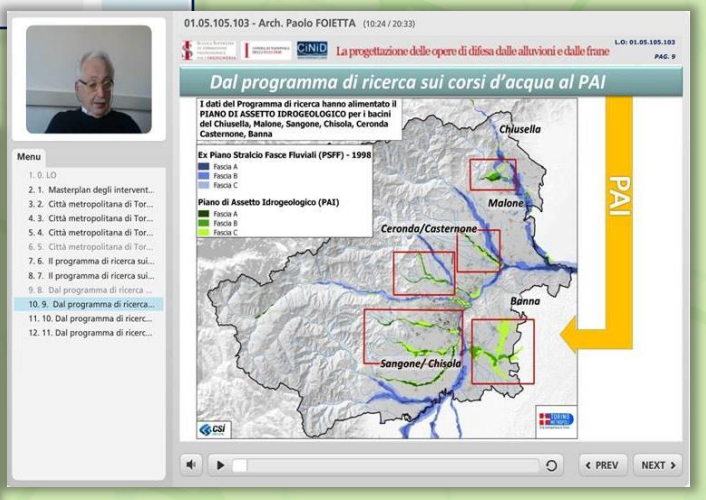
Esempio Applicativo

MODULO DI BASE: *ASPETTI GENERALI NELLA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI DIFESA DEL SUOLO*

Il CINID, avvalendosi della piattaforma e-camilab dell'Università della Calabria, ha realizzato il modulo di base del corso di aggiornamento. Il modulo si articola in 12 unità didattiche e 57 L.O. secondo lo schema riportato nel seguito:

Titolo unità didattica	Titolo sub-unità didattica	N° L.O.
1. Introduzione e approccio interdisciplinare	Introduzione e approccio interdisciplinare	1
	Presentazione del corso	1
2. Catastrofi idrogeologiche	Crotone 1996	1
	Sarno 1998	2
3. I Masterplan	I Masterplan – parte I	4
	I Masterplan – parte II	2
	Le linee guida per la progettazione	4
4. Opere di sistemazione	Difesa dalle inondazioni	4
	Difesa dalle frane	4
5. Contesto normativo	La normativa di contesto diretto ed indiretto	2
	Il nuovo Codice degli Appalti	2
6. Compatibilità ambientale	Compatibilità ambientale	4
7. Strumenti per la pianificazione territoriale	Strumenti per la pianificazione territoriale	4
8. Studi e indagini preliminari	Studi e indagini propedeutiche per le opere di difesa dalle piene	2
	Studi e indagini propedeutiche per le opere di difesa dalle frane	2
9. Open data	Open data	4
10. Google Earth	Google Earth	2
11. Free GIS	Free GIS	10
12. Metodi partecipati di pianificazione e protezione civile	Metodi partecipati di pianificazione e protezione civile	2

I docenti del corso sono principalmente professori universitari (Politecnico di Torino, Università della Calabria, Politecnico di Milano, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi della Basilicata), e professionisti che operano presso enti pubblici e/o di ricerca, (Provincia di Torino, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Regione Piemonte, Comune di Torino, Fondazione CIMA).



CiNiD
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

https://cinid.it

Gruppo di Lavoro

Pasquale Versace *linoversace@libero.it*
Pierluigi Claps *pierluigi.claps@polito.it*
Domenico Pianese *pianese@unina.it*

Formazione e Informazione
Giornate della Difesa del Suolo

Il CINID, in collaborazione con l'Università della Calabria, ha organizzato a Cosenza un ciclo di seminari denominato "Giornate della Difesa del Suolo", nel periodo ottobre 2013 – giugno 2014. Le Giornate si inquadrano tra le attività del PON "*Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione*", finalizzate alla realizzazione di sistemi integrati per il preannuncio delle frane basato sia su modelli matematici evoluti sia su sistemi avanzati di monitoraggio, in sito e a distanza.

Dopo l'esito positivo di questa iniziativa, a partire dal mese di ottobre 2016, è stata organizzata la seconda edizione delle Giornate della Difesa del Suolo, dedicate allo sviluppo di argomenti di interesse applicativo, dal titolo "*Metodologie Operative per la Difesa del Suolo*". Il ciclo ha previsto 20 seminari di carattere prevalentemente applicativo per favorire il trasferimento di conoscenze e competenze nella valutazione del rischio e nella realizzazione di interventi strutturali e non strutturali per la difesa del suolo. Le relazioni sono state affidate a docenti provenienti da diverse Università italiane e da altri Enti di ricerca, a esperti che rivestono ruoli istituzionali di rilievo, a professionisti e dirigenti di azienda particolarmente qualificati. La seconda edizione delle Giornate della Difesa del Suolo ha ricevuto il patrocinio di numerosi Enti nazionali e regionali e degli Ordini Professionali più direttamente interessati (Ingegneri, Geologi, Agronomi, Architetti)

Tutti i seminari sono stati videoregistrati e sono disponibili sulla piattaforma e-CamiLab del CINID insieme ad ulteriore materiale informativo.

GIORNATE DIFESA DEL SUOLO 2016/2017

Gli argomenti cardine della seconda edizione delle *Giornate della Difesa del Suolo* sono stati:

- individuazione e perimetrazione delle aree soggette a rischio idrogeologico;
- strategie di intervento strutturale e non strutturale e scelte progettuali per la riduzione del rischio;
- progettazione, esecuzione, gestione e manutenzione delle opere di difesa del suolo.

Il ciclo di seminari 2016-2017 è iniziato il 14 ottobre 2016, in concomitanza con il ventesimo anniversario della terribile alluvione che colpì Crotone nel 1996, causando 6 vittime ed ingenti danni ed è proseguita secondo il denso calendario qui riportato. In totale ci sono state 76 relazioni di esperti provenienti da 21 Università italiane e da oltre 22 tra strutture di ricerca ed Enti nazionali e regionali che sono attivi in questo settore.

Il documentario: *Firenze, novembre '66* di Mario Carbone

CINID
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER L'IDROLOGIA

https://cinid.it/

Gruppo di Lavoro

Pasquale Versace linoversace@libero.it
Carmen Cosenza carmencosenza1@gmail.com
Marcello De Fusco m.defusco@libero.it
Graziella E. Scarcella graziellascarcella90@libero.it

Formazione e informazione

In caso di alluvione…

In un contesto di limitata disponibilità di fondi per la mitigazione del rischio idraulico attraverso interventi strutturali diffusi sul territorio nazionale, è di fondamentale importanza agire sulla sensibilizzazione, al fine di indurre comportamenti adeguati delle persone durante eventi meteorologici estremi. Comportamenti inadeguati (legati ad una sottovalutazione degli effettivi pericoli) possono essere infatti ritenuti, almeno in parte, responsabili di molte vittime di alluvioni e allagamenti urbani.

Il laboratorio di ricerca-azione *In caso di alluvione…* mira a sviluppare una coscienza verso il rischio idraulico e idrogeologico, con un apporto attivo da parte dei partecipanti. In particolare, il laboratorio è strutturato come segue:

- Lezioni frontali o seminari su: fenomeni idrologici estremi e la loro gestione, comportamenti corretti in caso di alluvione/allagamento, strategie di adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano
- Confronto aperto finalizzato a correggere i preconcetti sbagliati e a migliorare il livello di coscienza del rischio preesistente nei partecipanti
- Realizzazione da parte dei partecipanti di prodotti di disseminazione multimediali sui corretti comportamenti in caso di alluvione
- Follow-up meeting per la presentazione dei risultati del laboratorio a insegnanti e coetanei

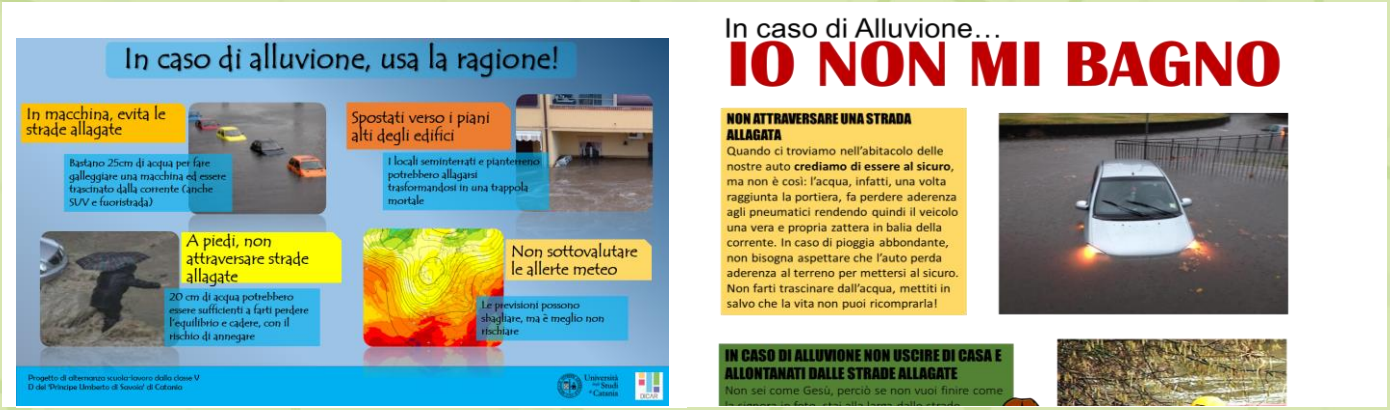
Prodotti di disseminazione tipici sono volantini, poster o filmati da diffondere sia fisicamente che tramite internet e i social media, in modo da raggiungere il più ampio numero di persone.

Le attività sono rivolte, sia ad alunni delle scuole di vario ordine e grado, sia, con le opportune modifiche, a professionisti e funzionari di amministrazioni pubbliche.

Esempio Applicativo

AZIONI DI FORMAZIONE-INFORMAZIONE A LIVELLO SCOLASTICO: LE ATTIVITÀ NELL'AMBITO DELL'ALTERNANZA SCUOLA LAVORO

Il Dipartimento Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania, nell'ambito delle sue attività di terza missione, ha avviato attività in sinergia con alcune scuole superiori di Catania, che hanno coinvolto circa 350 studenti nell'ambito di progetti di Alternanza Scuola Lavoro, svolti presso il DICAR. Gli studenti sono stati coinvolti attivamente nelle attività dei diversi laboratori "fisici" che afferiscono al Dipartimento. Essi hanno anche partecipato a laboratori di ricerca-azione, volti alla sensibilizzazione delle giovani generazioni sulla percezione dei rischi naturali e in particolare del rischio alluvione. Obiettivo di quest'ultima attività è stato quello di sensibilizzare gli studenti ai pericoli indotti da comportamenti individuali sbagliati in caso di alluvione, specialmente in ambito urbano. A tal fine si è fatto ricorso a numerose immagini e video relativi a recenti alluvioni in Italia (Giarre 1995, Genova 2012, Catania 2012, Barcellona Pozzo di Gotto 2010) che mostrano come situazioni che apparentemente potrebbero sembrare relativamente sicure (ad es. attraversare un strada allagata con pochi centimetri d'acqua), in realtà possano rapidamente trasformarsi in trappole mortali sia per i pedoni che per gli automobilisti. Gli studenti sono stati successivamente coinvolti in prima persona nella sviluppo di un prodotto multimediale finalizzato alla sensibilizzazione al rischio ed all'adozione di comportamenti sicuri in caso di alluvione. In esito a tale attività, sono stati prodotti due poster/locandina (v. figura) e un breve video.



Tutte le attività di alternanza si sono concluse con un incontro, aperto anche ad altre classi delle scuole coinvolte, in cui sono stati presentati dagli studenti i prodotti sviluppati, al fine di consentire da un lato di intimizzare e valorizzare il lavoro svolto e dall'altro di ampliare e rendere maggiormente efficace la diffusione del messaggio, mediante la condivisione tra pari.

Bibliografia essenziale

Cancelliere, A., Foti, E., Musumeci, R.E., Peres D.J. (2018) Azioni multilivello di sensibilizzazione delle Amministrazioni Pubbliche e della popolazione al rischio di alluvioni in Sicilia: esperienze del DICAr, Università di Catania, Atti del XXXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona, 12-14 Settembre 2018

Gruppo di Ricerca

Antonino Cancelliere antonino.cancelliere@unict.it
Rosaria E. Musumeci rosaria.musumeci@unict.it
Enrico Foti enrico.foti@unict.it
David J. Peres djperes@dica.unict.it

DICAR
UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

http://www.dicar.unict.it

Formazione e informazione

Scenari alluvionali LEGO

La sensibilizzazione della popolazione alla percezione dei rischi rappresenta un tema di crescente importanza nella mitigazione dei rischi naturali. Conoscenza dei pericoli, comportamenti consapevoli di autoprotezione, durante un evento naturale possono mitigare le situazioni di rischio. In quest'ambito, l'introduzione di nuovi strumenti didattici e divulgativi che facilitino la comprensione del rischio e ne migliorino la percezione è certamente un modo per contribuire alla mitigazione.
La costruzione di modelli fisici è tradizionalmente un ottimo modo per favorire la comprensione di fenomeni quali le alluvioni. Qui di seguito, si propone l'utilizzo di un modello di scenario alluvionale, realizzato con i mattoncini LEGO, per favorire la comprensione e la percezione del rischio idraulico. In questo contesto, i mattoncini costituiscono un vero e proprio materiale da costruzione, semplice, e soprattutto modulare, che consente una rapida connessione tra aspetti teorici e pratici del rischio ed un'immediata osservazione degli effetti conseguenti a decisioni.

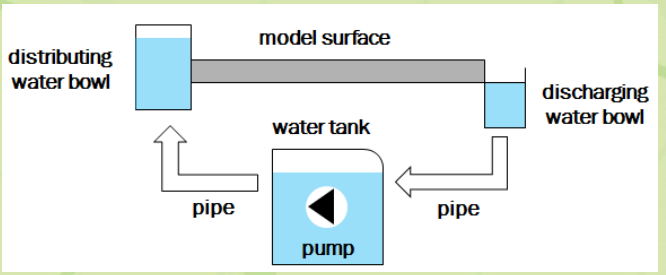


Figura 1: Schema di funzionamento del modello.

Utilizzando i mattoncini LEGO è stato realizzato un modello fisico, che riproduce una parte di territorio attraversata da un'asta fluviale. Il modello è contenuto in una vasca in plexiglass, è equipaggiato con un serbatoio di accumulo dell'acqua e un sistema di pompaggio per la simulazione di transitori e piene fluviali.

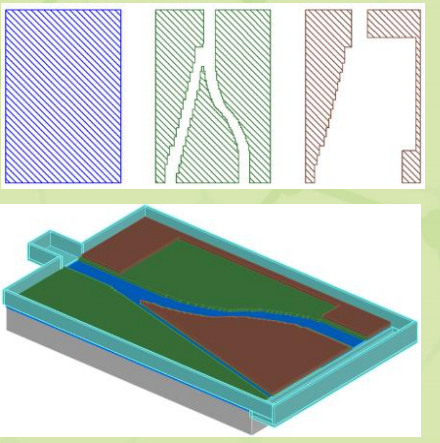


Figura 2: Struttura del modello.

La geometria di base del modello (120 x 80 cm) è costituita da tre strati di materiale ligneo, utili per rappresentare alveo inciso, golene e aree attigue del tratto fluviale presente; la superficie del modello è rivestita con *LEGO plates*, in modo che la geometria possa essere modificata attraverso l'innesto di elementi LEGO esterni pre-assemblati come ponti, edifici, vegetazione e sbarramenti, nonché elementi dedicati alla mitigazione del rischio idraulico come casse di espansione, briglie, dighe, argini e scolmatori di piena.

L'utilizzo del modello di scenario alluvionale LEGO risulta utile in diversi ambiti: i) in attività di orientamento in occasione di incontri con gli studenti dei CdS e delle scuole superiori; ii) in occasione di manifestazioni dimostrative ed attività di divulgazione scientifica finalizzate a promuovere la percezione del rischio idraulico; iii) nella collaborazione multidisciplinare tra varie aree tematiche.

FLOOD RISK education

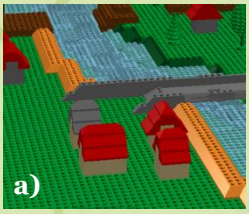
Il modello può essere utilizzato per organizzare "*Serious Games*" finalizzati ad accrescere l'interesse e la partecipazione attiva, oltre a sollecitare la competizione e incoraggiare verso le buone pratiche in materia di rischio idraulico.

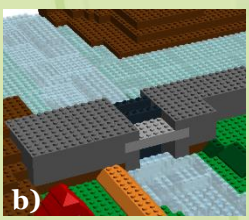
Esempio Applicativo

PERCORSO FORMATIVO E DIVULGATIVO

La definizione delle caratteristiche della porzione di territorio da rappresentare è stata definita a partire dalle proposte emerse dal lavoro di esercitazione degli studenti dell'insegnamento di Rischio Idraulico a.a. 2017/2018, i quali, utilizzando il software *LEGO Digital Designer,* hanno effettuato delle ipotesi progettuali circa l'allestimento della superficie del modello, rappresentando un'area urbana attualmente esistente o fittizia, attigua al corso d'acqua e soggetta a rischio alluvionale.
Per contrastare l'inondazione di tali aree a seguito dell'esondazione del corso d'acqua, gli studenti hanno predisposto opportune misure di mitigazione del rischio, progettando varie soluzioni e scenari che vengono riportati di seguito.

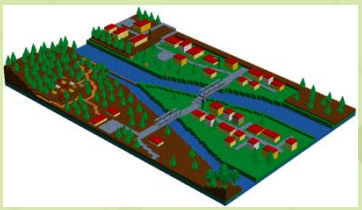
Scenario n.1

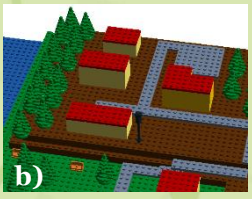




Protezione della viabilità e della zona residenziale dal rischio idraulico attraverso: a) la costruzione di argini (in arancione) e di un muro di sostegno vicino al ponte; b) la costruzione di una cassa di espansione in linea equipaggiata con uno sbarramento e una paratia di regolazione (in grigio e nero).

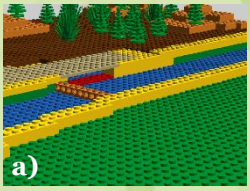
Scenario n.2

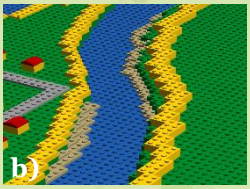




Protezione dalle inondazioni dei centri abitati attraverso: a) la costruzione di argini e di uno scolmatore di piena; b) la predisposizione di misure non strutturali come un luogo di raccolta in caso di emergenza, necessario in caso di evacuazione, e l'installazione di sistemi di allarme.

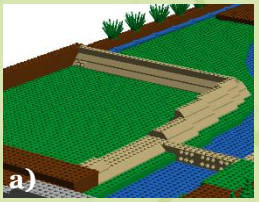
Scenario n.3

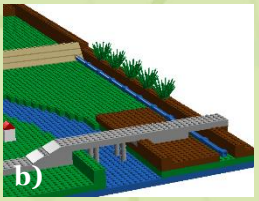




Protezione dal rischio idraulico dei centri urbani attraverso la costruzione: a) di uno scolmatore di piena; b) di argini fluviali.
Lo scolmatore, quando tombato per ragioni di progetto, deve essere modellato come un culvert. Da notare la presenza di una briglia selettiva che forza la corrente ad entrare nello scolmatore, e di barre di deposito nella zona di valle.

Scenario n.4





Protezione dalle inondazioni dei centri abitati attraverso la costruzione di: a) una cassa di espansione in linea, e di uno sfioratore laterale per le portate in ingresso; b) una tubazione per lo scarico di fondo della cassa. Da notare l'importanza della briglia selettiva e di uno scolmatore di piena per altri scenari di rischio.

Il modello è cofinanziato dal DICEA–UNIFI tra i progetti per l'innovazione didattica e l'orientamento. Le attività sono svolte anche nell'ambito del GRuppo ALluvioni *GRAL - Education*. Il poster è tra gli *highlights* della sessione "*Games for Geoscience*" di EGU 2018. Il modello sarà presentato alla campagna "Io non rischio 2018" (Firenze 14/10/18) e alla Vetrina della Cooperazione Italia–Cina, della Scienza, della Tecnologia e dell'Innovazione (Napoli 22-23/10/18).

Bibliografia essenziale

Pampaloni M., Pileggi T., Caporali E. (2018). Awareness to the mitigation of the hydraulic risk through LEGO models, Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-16151, EGU General Assembly 2018.
Politecnico di Torino." Mi LEGO al territorio". http://www.milegoalterritorio.it/.[31/07/2018]

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
https://www.dicea.unifi.it

Gruppo di Ricerca

Enrica Caporali — enrica.caporali@unifi.it
Matteo Pampaloni — matteo.pampaloni@dicea.unifi.it
Tiziana Pileggi — tiziana.pileggi@unifi.it

Università degli Studi della Basilicata
Via Nazario Sauro, 85 - 85100 Potenza
Email: info@cinid.it
https://cinid.it

a cura di:

Giovanna Capparelli
Francesco Cruscomagno
Graziella Emanuela Scarcella

Editing e stampa:

Lab. di
Cartografia
Ambientale e
Modellistica Idrogeologica
UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA