

VERIFICA DI UN INDICE DI PIOGGIA PER LA STIMA DELL'UMIDITÀ DEL SUOLO ANTECEDENTE AD EVENTI DI PIENA IN AMBIENTI ALPINI ED APPENNINICI

F. Miliani, G. Ravazzani, M. Mancini

Dipartimento DIIAR sezione Cimi, Politecnico di Milano – Milano (IT)
e-mail: marco.mancini@polimi.it, fausto.miliani@polimi.it, giovanni.ravazzani@polimi.it,

Parole chiave: indici di pioggia antecedenti, idrologia, modelli afflussi-deflussi.

SOMMARIO

La presente memoria illustra i risultati di una verifica del metodo SCS-CN ad ambienti alpini ed appenninici. Lo studio ha preso in considerazione bacini idrografici alpini (Piemonte, Svizzera) ed appenninici (fiume Arno e suoi affluenti), caratterizzati da forti pendenze dei versanti e vaste aree a vegetazione naturale. Lo studio mostra una analisi statistica dell'errore commesso dal metodo classico su un campione di 352 eventi storici e propone una modifica del metodo al fine di minimizzare l'errore sulla stima del deflusso.

Le condizioni di pioggia precedente costituiscono per la loro semplicità uno degli indici più utilizzati per la stima della condizione iniziale di un modello di piena; in particolare il metodo di assorbimento dell'SCS-CN definisce due valori soglia della cumulata dei cinque giorni precedenti all'evento in esame per definire il valore iniziale della massima capacità idrica del suolo. Sebbene tali valori soglia nascano da studi sperimentali su parcelle di pochi ettari, la larga diffusione del metodo SCS-CN nelle applicazioni a scala di bacino ha dato luogo ad un uso indiscriminato che quasi mai soddisfa le ipotesi originarie.

Per tale motivo, anche grazie alla sempre maggior disponibilità di dati di pioggia e portata, in questa memoria si presenta una verifica dei valori di letteratura di pioggia precedente rispetto a 352 eventi di piena in cui sono disponibili le piogge e le portate. I bacini esaminati sono quelli in cui si è potuto ritenere costante lo sviluppo vegetale nell'arco dell'anno. Il lavoro mostra come, in base ai dati sperimentali, esista una correlazione negativa tra gli indici di pioggia antecedenti l'area del bacino e permette di stimare una equazione per la stima dell'indice di pioggia in funzione dell'indice topografico del bacino.

1 INTRODUZIONE

La tecnica del Curve Number proposta dal Soil Conservation Service statunitense (1972, 1973, 1975), basandosi su una schematizzazione del problema idrologico molto accentuata e incentrata su parametri di facile reperibilità anche in formato digitale, è una delle tecniche più utilizzate nel campo della stima dei deflussi superficiali di piena.

La semplicità del metodo, e la facile reperibilità dei dati necessari alla sua applicazione ha in effetti portato ad un uso "indiscriminato" del modello promuovendone l'applicazione anche in bacini caratterizzati da condizioni ambientali molto differenti da quelle ipotizzate dagli autori al momento dello sviluppo e della taratura; facendo di fatto entrare il metodo CN, in origine pensato per lo studio dei deflussi superficiali negli appezzamenti agrari della costa orientale degli Stati Uniti, a far parte della pratica idrologica.

Partendo dalle critiche mosse al metodo del CN in particolar modo riguardanti l'estrema semplificazione dei parametri utilizzati per la stima dei deflussi di piena, e l'applicazione incontrollata del

metodo a bacini con caratteristiche morfologiche diverse da quelle per le quali era stato predisposto (Hawkins, R.H., 1978, Clopper, P.E., 1980, Martin, C.D., 1979, Madramootoo, C.A., & Enright, P., 1987, Mack, M.J., 1995; Huang et al., 2006), il presente articolo illustra uno studio svolto presso il Dipartimento DIAR del Politecnico di Milano per verificare l'attendibilità del metodo dell'SCS Curve Number nei bacini Alpini (italiani e svizzeri) ed Appenninici (bacino dell'Arno).

Il lavoro è stato sviluppato utilizzando dati provenienti da ventisette bacini idrografici (diciassette bacini Alpini e dieci bacini Appenninici) differenti fra loro per estensione, litologia, usi del suolo e pendenza. Dopo una prima analisi volta a valutare l'attendibilità del metodo CN su tali bacini, il lavoro propone una relazione matematica che, legando direttamente i valori dell'indice topografico medio del bacino all'indice di pioggia utilizzato per la determinazione delle condizioni AMC, permette di migliorare la stima dei deflussi superficiali alla sezione di interesse, mantenendo, di fatto, inalterata la procedura di applicazione del metodo americano. Si ammette, in particolare, la validità delle tabelle per la stima del CN come funzione della classe idrologica e dell'uso del suolo, ed il significato ed i metodi di stima del termine legato alle perdite iniziali, I_a .

2 DATI OSSERVATI

Le finalità del lavoro hanno implicato la necessità di utilizzare un gran numero di dati del tipo afflussi/deflussi, reperiti da fonti diverse:

- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Piemonte per i dati riguardanti le sezioni del bacino del Po a monte della sezione del Ponte della Becca
- Meteo Svizzera e l'Istituto di Scienze della Terra di Lugano per i bacini ricadenti in territorio elvetico
- Centro Funzionale della Regione Toscana per il bacino dell'Arno e i suoi affluenti
- Servizio Idrografico e Mareografico di Genova per il bacino del torrente Graveglia.

I dati di pioggia (mm) e di portata (m^3/s) sono stati forniti in serie temporali alla risoluzione oraria o semioraria; il numero degli anni disponibili varia da sezione a sezione, passando da un minimo di quattro anni per alcuni bacini del Piemonte e del Graveglia, ad un massimo di venti anni per il fiume Cassarate.

Le serie di dati puntuali di precipitazione sono state ragguagliate all'area del bacino di interesse (Thiessen, 1911).

Gli eventi significativi sono stati estratti dalle serie afflussi/deflussi ipotizzando l'esistenza di una portata di deflusso limite differente per ogni bacino, corrispondente al deflusso medio annuo per i bacini dell'Arno e al dieci per cento della massima portata osservata per i bacini piemontesi. Le serie di pioggia e di portata associate agli eventi così individuati, vengono estratte dalle serie temporali, anticipandone l'inizio di un tempo pari al tempo di corrvazione del bacino calcolato secondo la formula di Giandotti (figura 1).

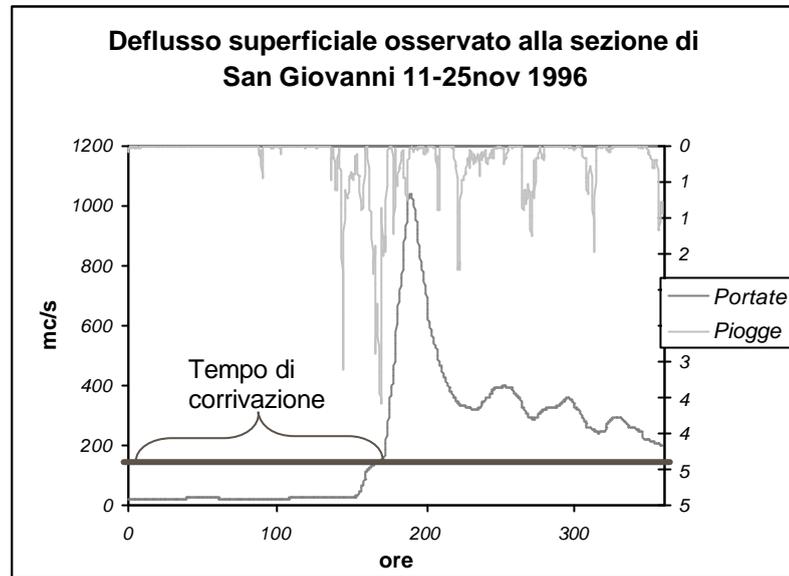


Figura 1. Tecnica utilizzata per effettuare la separazione degli eventi di piena: la linea orizzontale grigia rappresenta la portata minima perché l'evento sia considerato significativo; le serie di pioggia e di portata associata all'evento, vengono estratte dalle serie temporali, anticipandone l'inizio di un tempo pari al tempo di corrivazione del bacino.

I deflussi di base sono stati sottratti da ogni evento di piena utilizzando i tradizionali metodi grafici (Maidment, 1993, Chow *et al.*, 1988). Dopo una necessaria analisi dei dati per verificarne la bontà, sono stati considerati complessivamente 352 eventi per un totale di 15 bacini idrografici. Sono stati esclusi dall'analisi i bacini idrografici con area superiore ai 9.000,00 kmq, e quelli per cui gli eventi a disposizione erano in numero minore di 10.

3 LA VERIFICA DEL METODO SCS - CURVE NUMBER

Per ognuno dei 352 eventi considerati, noto il valore del CN medio a scala di bacino e individuata la classe di umidità del suolo antecedente sulla base della quantità di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti a seconda della stagione (Tabella 1), è possibile stimare il volume del deflusso superficiale nel corso della piena (eq. 2). Il volume così calcolato può essere messo a confronto con il volume osservato, ricavato dall'integrale dell'idrogramma di piena registrato depurato dalla componente di deflusso di base. Nota la serie delle coppie di valori "pioggia lorda - volume di deflusso osservato" è anche possibile calcolare il CN reale o osservato che caratterizza l'evento di piena dalla eq. (1) e (2).

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (1)$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (2)$$

Per valutare l'attendibilità del metodo SCS-CN, è stato calcolato l'errore percentuale sulla stima dei volumi di piena; il risultato viene considerato buono se l'errore si mantiene inferiore al 15% ed accettabile se l'errore risulta compreso tra il 15% ed il 30%. Dall'analisi dei risultati si è riscontrato che su 352 eventi presi in considerazione soltanto in 67 casi, il diciannove per cento del totale, la percentuale d'errore si mantiene all'interno delle classi fissate; in soli 29 casi la percentuale di errore è minore del 15%. Viene chiaramente alla luce che l'applicazione sistematica del metodo proposto dall'SCS-CN ai

bacini italiani non garantisce risultati adeguati: nella maggioranza dei casi gli errori sono maggiori del 30%, fino ad arrivare a punte superiori al 10000%.

Classe AMC	Stagione di Riposo (mm)	Stagione di Sviluppo (mm)
I	0=Pa=12.7	0=Pa=35.5
II	12.7=Pa=27.9	35.5=Pa=53.3
III	Pa=27.9	Pa=53.3

Tabella 1. Soglie stagionali previste dal SCS per la determinazione delle classi AMC.

I volumi messi a confronto sono direttamente legati ai valori del CN dei singoli eventi. Si può notare una ricorrente discordanza tra il valore del CN osservato e quello teorico (figura 2). Dalla figura 2 si può evidenziare una tendenza del modello teorico a sottostimare il CN, sia nel caso delle condizioni AMC I che, nelle condizioni AMC II, dove però sono presenti anche alcuni casi in cui il CN è decisamente sovrastimato. Si osserva, invece, una generale sovrastima del CN per eventi situati in classe AMC III. Quando i CN teorici cadono al di sotto dei CN osservati, il volume di pioggia restituito dal modello risulta minore di quello effettivo, in quanto sovrastimando la possibilità di assorbimento del terreno il volume del deflusso superficiale decresce. Quando invece i CN teorici sono maggiori dei CN osservati i volumi restituiti risultano maggiori di quelli verificati nella realtà; si ha infatti una sottostima della capacità di assorbimento del terreno e di conseguenza il deflusso superficiale previsto comprende anche parte della precipitazione trattenuta dal terreno.

Confronto fra CN osservati e CN ottenuti dall'applicazione delle soglie pluviometriche standard

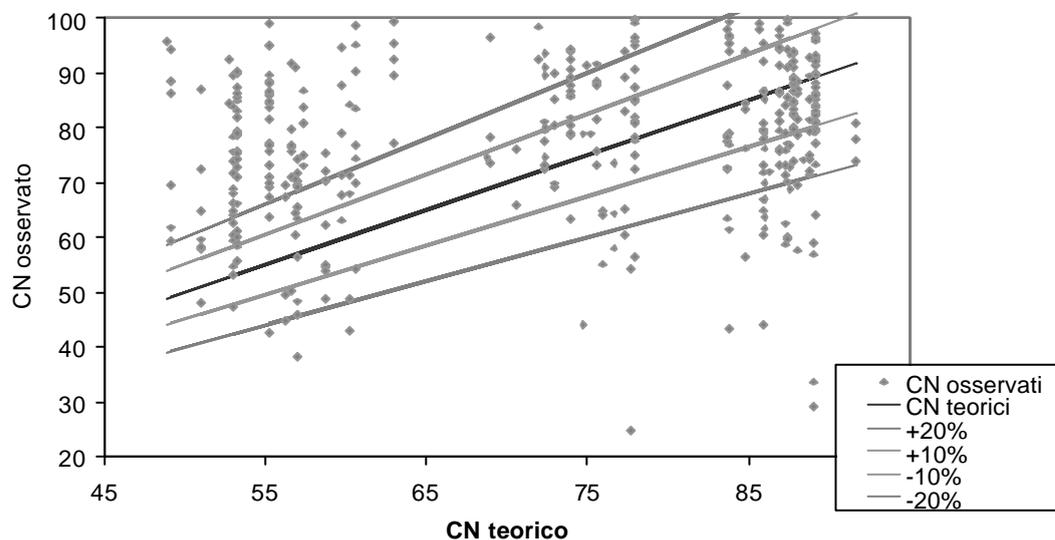


Figura 2. Rapporto tra il CN teorico, ottenuto applicando il metodo SCS, e il CN osservato per gli eventi esaminati. Le rette rappresentano valori teorici, in particolare abbiamo che la retta nera corrisponde al valore del CN teorico, mentre le rette grigie delimitano le fasce con errori percentuali del 10 e del 20%. I rombi rappresentano i CN osservati, è possibile individuare partendo da sinistra tre raggruppamenti di punti corrispondenti agli eventi appartenenti alle tre classi AMC I, AMC II, ed AMC III. Ogni colonna di punti corrisponde ad un bacino idrografico.

4 LA DEFINIZIONE DI NUOVI INDICI PLUVIOMETRICI

Dall'analisi del paragrafo precedente si evidenzia come spesso l'errore della stima dei volumi di pioggia netta sia da imputare alla diversità esistente tra CN teorici e CN osservati. Considerando la diversità tra gli scopi per cui il metodo dell'SCS-CN è nato e i diversi campi nei quali negli anni ha trovato applicazione e l'eterogeneità dei territori indagati da diversi autori, è lecito aspettarsi che il metodo classico necessiti opportuni adattamenti per recuperare un grado di affidabilità sufficiente.

4.1 Ipotesi sugli errori del metodo del SCS - CN

Diversi sono gli errori che si possono identificare nell'applicazione del modello statunitense: esistono errori legati alla misurazione delle piogge e alla loro distribuzione spaziale, errori introdotti dalle semplificazioni usate nella tecnica per la determinazione del deflusso superficiale, errori dovuti al modo in cui è stato sottratto il deflusso di base dall'idrogramma di piena ed infine errori dovuti all'errata assegnazione delle classi di umidità relativa ai singoli eventi.

Definiti gli errori che contribuiscono all'imperfezione del modello, è possibile individuare una serie di fattori su cui è possibile intervenire (tutti gli aspetti legati direttamente alla modellazione del fenomeno, come le semplificazioni, le definizioni delle tabelle di uso dei suoli, ecc) e dei valori su cui non è possibile intervenire (ad es. la misura della pioggia).

Potendo quindi necessariamente agire solamente sui fattori legati alla modellistica, una possibilità per migliorare il comportamento del modello del SCS-CN senza stravolgerne la procedura di base è quello di modificare la quantità di pioggia dei cinque giorni precedenti l'evento di piena necessaria al passaggio dalla classe AMC I alla classe AMC II e dalla classe AMC II alla classe AMC III. Si ammette quindi la correttezza delle tabelle per la determinazione del CN fornite dall'SCS, delle formule utilizzate per il passaggio dal CN II al CN I e CN III, e delle formule generali utilizzate per il calcolo del deflusso superficiale includendo anche la correttezza del parametro "c", pertanto la possibilità di cambiare questi aspetti non è stata presa in considerazione durante lo studio in esame.

4.2 Valutazione delle nuove soglie per la determinazione delle classi AMC

Osservando la figura 2 è possibile notare come un qualsiasi aumento dell'indice di umidità relativa (AMC), implichi la necessità di una maggiore quantità d'acqua per passare da una classe di umidità relativa inferiore ad una superiore, facendo diminuire l'errore di sovrastima commesso dal modello; l'opposto accade a seguito di una riduzione dell'indice di pioggia, in questo caso infatti il passaggio da una classe ad un'altra necessita di una minor quantità d'acqua, e conseguentemente eventi posizionati in classi superiori risultano passare a classi inferiori riducendo gli errori di sottostima.

Partendo da queste semplici considerazioni si è proceduto alla modifica degli indici di pioggia assumendo però, a differenza del modello Statunitense, l'esistenza di una sola stagione vegetativa. Tale semplificazione è accettabile in quanto nei bacini idrografici studiati la percentuale delle aree coltivate è molto piccola, e conseguentemente la differenza di attività vegetativa tra la stagione di riposo e quella di crescita è molto ridotta.

Il nuovo indice pluviometrico (Tabella 2) è stato calcolato a partire dall'indice della stagione di riposo proposto dall'SCS-CN: coppie di nuovi indici sono stati valutati per ogni bacino, modificando gli indici sperimentalmente fino a massimizzare il numero di eventi posizionati nella corretta classe AMC.

Si è cercato, quindi, un nuovo indice pluviometrico (da utilizzare per la determinazione dell'AMC) che minimizzando l'errore tra volume osservato e volume stimato, riducesse l'errore tra il CN osservato e quello calcolato:

$$P_{AMC} : \text{Max} (NE) \rightarrow \text{Min} (e) \quad (3)$$

dove P_{AMC} denota la quantità di pioggia necessaria alla stima della classe di umidità del suolo, NE il numero degli eventi ed e la differenza tra il volume osservato e quello calcolato.

Nel corso del presente lavoro si è cercato di modificare le soglie in modo tale da non discostarsi troppo dai valori di riferimento. Questa scelta ci ha spinto a fissare dei limiti entro i quali far oscillare le

soglie: la soglia tra AMC I e AMC II è stata fatta oscillare tra 1 mm e 25 mm, mentre per la soglia tra AMC II e AMC III i limiti scelti sono 15 mm e 42 mm. Questa procedura ci ha permesso di trovare nuove soglie per tutti i bacini studiati, con miglioramenti, definiti come l'aumento del numero degli eventi con errore sulla determinazione del CN inferiore al 20%, che vanno da un minimo del 28% per il bacino della Maggia (Canton Ticino), ad un massimo del 90% nel bacino del Casentino (sez. chiusura Subbiano). I miglioramenti riguardano soprattutto i valori del CN che ricadono nella classe AMC II e AMC III, situazioni nelle quali si riscontra il maggior numero delle piene a carattere catastrofico.

Bacino Idrografico	Indice pluviometrico inferiore (mm)	Indice pluviometrico superiore (mm)
Toce (Candoglia, Italia)	8.2	41.4
Cassarate (Lugano, Svizzera)	7	36.2
Dora Baltea (Tavagnasco, Italia)	12.7	39.9
Stura (Torino, Italia)	7.2	37.1
Tanaro (Alba, Italia)	10.4	33.8
Tanaro (Montecastello, Italia)	9.4	31.6
Scrvia (Guazzora, Italia)	8.1	35.5
Scrvia (Serravalle, Italia)	9.9	41.6
Pellice (Villafranca, Italia)	11.0	41.2
Arno (Subbiano, Italia)	5.7	20.9
Arno (San Giovanni, Italia)	1.3	18.7
Arno (Nave di Rosano, Italia)	3	19
Sieve (Fornacina, Italia)	5	19.8
Bisenzio (Vaiano Gamberane, Italia)	9	33
Ombrone (Poggio a Caiano, Italia)	5.5	20.2

Tabella 2. Indici di pioggia proposti per i bacini idrografici studiati in questo lavoro.

4.3 Validità delle soglie di pioggia modificate per la valutazione dell'AMC

La qualità dei nuovi indici di pioggia è stata verificata in due modi, in primo luogo sono stati analizzati gli errori tra i Curve Number osservati e i Curve Number ottenuti utilizzando i nuovi indici per determinare la classe AMC.

Ogni bacino idrografico è stato studiato separatamente, il CN ottenuto utilizzando i nuovi indici di pioggia è stato messo a confronto con il CN osservato ricavando gli eventi con errore minore del 10% tra il CN osservato e il CN teorico e gli eventi con errori minori del 20%. Tutti i risultati sono riassunti in Tabella 3.

Bacino Idrografico	n° Eventi	Errore < 10%	Errore < 20%	Errore > 20%
Toce (Candoglia, Italia)	28	10	11	7
Cassarate (Lugano, Svizzera)	30	12	9	9
Dora Baltea (Tavagnasco, Italia)	12	2	3	7
Stura (Torino, Italia)	21	10	6	5
Tanaro (Alba, Italia)	18	9	2	7
Tanaro (Montecastello, Italia)	15	7	4	4
Scrvia (Guazzora, Italia)	20	3	10	7
Scrvia (Serravalle, Italia)	11	6	3	2
Pellice (Villafranca, Italia)	10	5	4	1
Arno (Subbiano, Italia)	35	31	4	0
Arno (San Giovanni, Italia)	39	24	8	7
Arno (Nave di Rosano, Italia)	56	28	12	16

Sieve (Fornacina, Italia)	17	14	1	2
Bisenzio (Vaiano Gamberane, Italia)	12	8	0	4
Ombrone (Poggia a Caiano, Italia)	28	17	6	5

Tabella 3. Errori nella determinazione del CN utilizzando i nuovi indici di pioggia per la determinazione della classe di umidità del suolo.

Come seconda verifica dei nuovi indici di pioggia si è effettuato il confronto tra i volumi stimati con il CN associato alle nuove classi AMC ed il deflusso superficiale osservato (figura 4).

Complessivamente i risultati di tutti bacini idrografici studiati mostrano che per l'87% degli eventi la stima dei deflussi, ottenuta con i nuovi indici, è uguale o migliore di quella ottenuta utilizzando gli indici di pioggia del metodo classico.

Nel 20% dei casi l'errore di stima del coefficiente di deflusso rimane al di sotto del limite del 15%, e se aggiungiamo anche gli eventi con un errore minore del 30%, la percentuale aumenta fino al 34% di tutti i casi in studio.

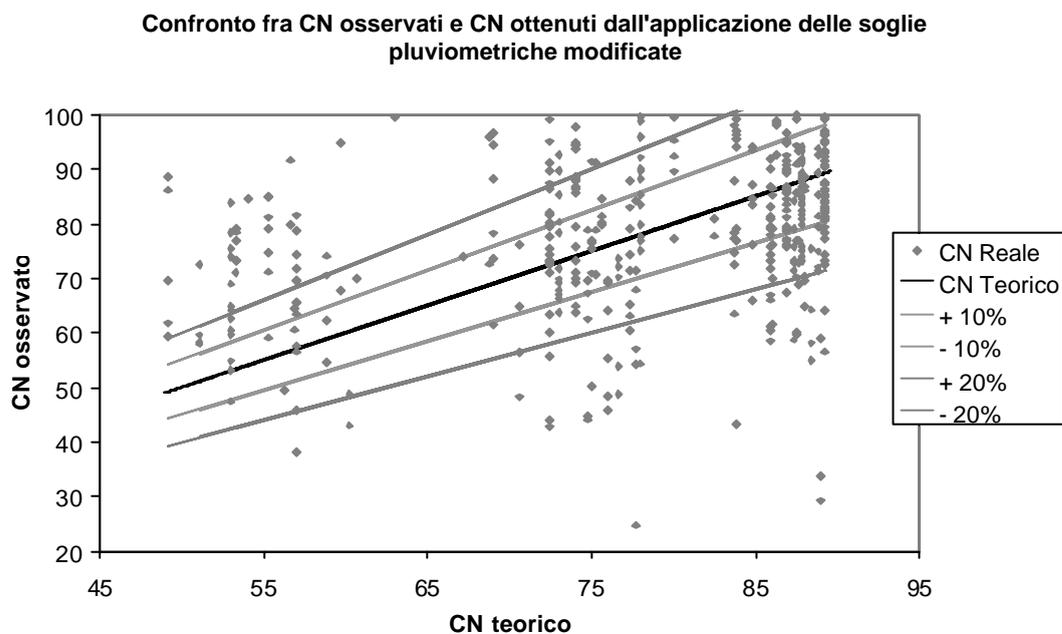


Figura 3. Rapporto tra il CN teorico, ottenuto applicando il metodo SCS, e il CN osservato per gli eventi esaminati. Come in figura 2 le rette rappresentano valori teorici, la nera rappresenta il CN teorico, e le rette grigie delimitano le fasce con errori percentuali del 10 e del 20%, i rombi rappresentano i CN osservati. È possibile notare visivamente come le modifiche agli indici di pioggia utilizzati per determinare le soglie abbia indotto un passaggio di molti punti (eventi) dalla classe AMC I a classi AMC II e AMC III, riducendo la distanza tra i rombi e la retta ovvero riducendo l'errore tra il CN osservato e il CN teorico.

Considerando il volume defluito lo studio ha dimostrato che nel 16% dei casi l'errore di stima del volume rimane al di sotto del limite del 15%, e se aggiungiamo anche gli eventi con un errore minore del 30%, la percentuale aumenta fino al 30% di tutti i casi in studio.

L'introduzione dei nuovi indici di pioggia migliora la stima dei deflussi superficiali nei bacini idrografici esaminati.

5 LA RELAZIONE SPERIMENTALE TRA LE SOGLIE PLUVIOMETRICHE E L'INDICE TOPOGRAFICO

I valori di pioggia dei 5 giorni precedenti servono a misurare l'umidità relativa del terreno prima di un evento piovoso, quindi dipendono dalla capacità del suolo di assorbire acqua, che a sua volta è influenzata da svariati fattori:

- Le proprietà fisiche del terreno
- L'azione della vegetazione/uso del suolo
- La presenza di superfici di immagazzinamento
- L'azione della temperatura (evapotraspirazione)
- La pendenza
- Le dimensioni del bacino

Lo studio presentato ha focalizzato l'attenzione su questi ultimi due aspetti, cercando una relazione capace di generalizzare i risultati empirici anche a bacini diversi da quelli considerati.

Una maggiore pendenza, porta ad avere uno scorrimento superficiale verso valle molto più veloce, e di conseguenza una minore possibilità di infiltrazione dovuta all'impossibilità di ristagno dell'acqua in superficie. Inoltre per pendenze molto forti è possibile che fenomeni di rapido scorrimento a valle siano presenti anche nella falda sub-superficiale. Il drenaggio verso valle dell'acqua fa diminuire i tempi necessari per smaltire l'acqua assorbita, e quindi fa aumentare la capacità di ritenzione del bacino considerato. Inoltre in terreni pianeggianti, la profondità della falda generalmente diminuisce, e di conseguenza lo spessore di suolo parzialmente saturo sopra la falda risulta minore, portando ad un'ulteriore diminuzione della capacità di ritenzione.

Estendendo il metodo SCS-CN a bacini idrografici molto più grandi degli appezzamenti per cui era stato studiato, l'area dei bacini viene a svolgere un effetto di mediazione sui risultati del modello e sull'altezza degli indici pluviometrici che lo regolano. L'azione di media (di livellamento) svolta dall'area diventa sempre più intensa al crescere dell'estensione del bacino considerato, provocando un abbassamento progressivo degli indici di pioggia. Inoltre nei grandi bacini considerati risultano prevalenti le aree pianeggianti, contraddistinte, come già detto, da una falda poco profonda; è possibile quindi ipotizzare che la prevalenza di tali territori influenzi le caratteristiche dell'intero bacino.

Un parametro che riassume in sé l'effetto combinato della pendenza con l'area del bacino è l'indice topografico:

$$I_r = \ln \left(\frac{a}{\tan b} \right) \quad (4)$$

con a superficie del bacino per unità di contorno bagnato e b l'angolo formato dal versante con l'orizzontale.

Considerando quelle sezioni che hanno presentato un sufficiente numero di eventi, è possibile individuare una relazione tra l'indice topografico medio del bacino e gli indici di pioggia per la determinazione della classe AMC (Figura 4).

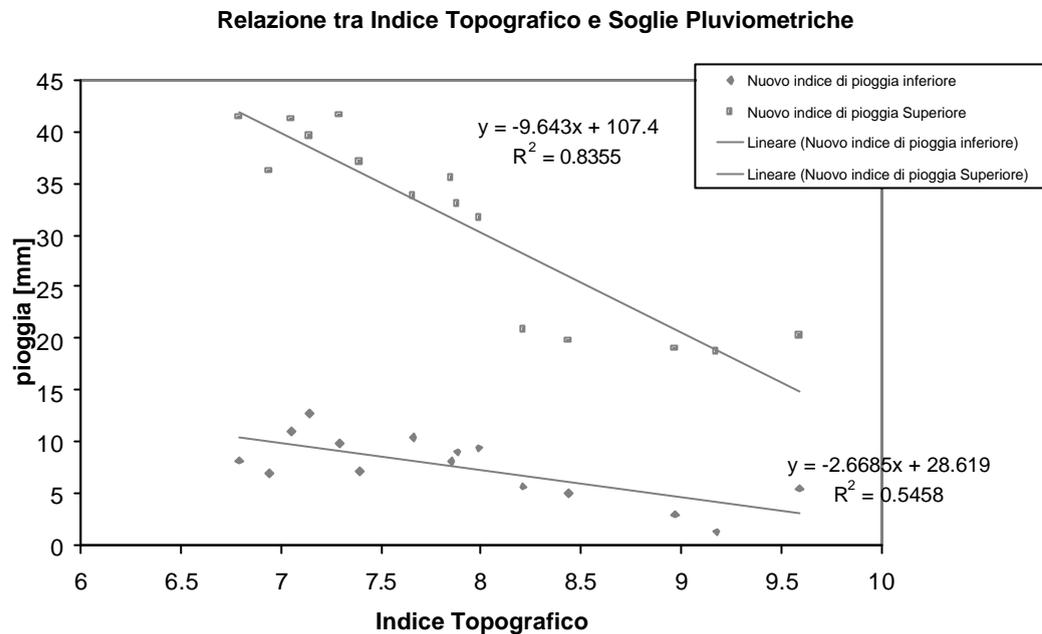


Figura 4. Relazione tra l'indice di pioggia per il passaggio tra la classe AMC I e AMC II (quadrati) e tra la classe AMC II e AMC III (rombi) e l'indice topografico medio del bacino. Ogni bacino idrografico oggetto di studio è individuato dal relativo indice topografico, e ad esso corrispondono due punti

A una diminuzione della pendenza, l'indice topografico aumenta, e l'indice di pioggia decresce.

La relazione che meglio interpreta il legame esistente tra indici di pioggia e indice topografico medio risulta allora essere una retta sia per il caso di passaggio da classe AMC I a classe AMC II che di passaggio da AMC II ad AMC III:

$$y = -9,643x + 107,4 \quad (5)$$

$$y = -2,6685x + 28,619 \quad (6)$$

6 VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA PROPOSTA

Al fine di verificare la possibilità di estendere i risultati mostrati nel paragrafo precedente a bacini idrografici non compresi nell'analisi, le funzioni per la determinazione degli indici di pioggia per la valutazione della classe di umidità del suolo, sono state applicate a bacini idrografici non utilizzati nella fase di determinazione delle soglie.

Il campione di dati utilizzato per questo scopo è composto da 166 eventi di pioggia provenienti da 16 bacini idrografici (alpini ed appenninici) caratterizzati da una grande variabilità nell'estensione superficiale.

Dei 16 bacini idrografici utilizzati per la validazione 11 sono bacini idrografici che erano stati scartati a causa del numero ristretto di eventi che ne costituivano il campione (n. eventi < 10), oppure perché caratterizzati da un'estensione superficiale superiore a quella ipotizzata come massima accettabile; i restanti cinque bacini idrografici sono bacini i cui dati sono stati ottenuti e processati soltanto recentemente.

In tabella n. 4 sono riportati tutti i bacini idrografici utilizzati per la validazione del modello e tutte le grandezze principali ad essi associate.

Bacino Idrografico	Area kmq	CN	It	soglia di passaggio AMCI - AMC II	soglia di passaggio AMCII - AMCIII	n. eventi di piena
Orba (Sez. Casal Cermelli)	753.13	70	7.84	7.70	31.80	18
Bormida (Sez. Cassine)	1518.2	66	7.67	8.15	33.44	20
Sesia (Sez. Borgosesia)	696.04	71	6.59	11.03	43.85	4
Tanaro (Sez. Piantorre)	500.15	73	7.16	9.51	38.36	5
Orcò (Sez. Cuorogne)	630.41	74	6.67	10.82	43.08	4
Strura di Demonte (Sez. Gaiola)	519.35	78	6.82	10.42	41.63	6
Stura di Lnazo (Sez. Lanzo)	626.27	80	6.74	10.63	42.41	5
Dora Riparia (Sez. Torino)	1306.51	78	7.29	9.17	37.10	12
Po (Sez. Torino)	5361.2	71	8.68	5.46	23.70	8
Po (Sez. Carignano)	3965.2	70	8.35	6.34	26.88	6
Po (Sez. Isola)	25729.28	72	8.21	6.71	28.23	21
Po (Sez. Crescentino)	13231.38	73	8.04	7.16	29.87	29
Pincascia (Sez. Lavertezzo)	44.35	80	8.19	6.76	28.41	6
Elsa (Sez. Castelfiorentino)	795.7	73	9.12	4.28	19.45	6
Era (Sez. Capannoli)	466.13	72	9.05	4.47	20.13	2
Bisenzio (Sez. San Piero a Ponti)	251	77	8.43	6.14	26.16	14

Tabella 4. In tabella è possibile vedere l'elenco dei bacini idrografici utilizzati per la validazione della metodologia, assieme con le loro grandezze caratteristiche (superficie, CN, e Indice Topografico) assieme con le soglie di passaggio calcolate attraverso le eq. 5 e 6.

Mettendo a confronto il valore del CN ottenuto applicando le classi AMC calcolate secondo la metodologia proposta, il CN ottenuto utilizzando le soglie classiche proposte dal SCS statunitense, ed il valore del CN reale di ogni singolo evento possiamo dire che:

- nel 17,47% dei 166 eventi di pioggia considerati, l'utilizzo delle nuove soglie porta ad un miglioramento nella stima del CN e quindi dei volumi defluiti;
- nel 12,05% degli eventi considerati le nuove soglie portano ad un peggioramento nella stima del CN;
- nel 70,48% degli eventi considerati le nuove soglie danno lo stesso risultato nella stima del CN ottenibile tramite l'applicazione delle soglie classiche;

La nuova metodologia fornisce quindi, nell'87,95% degli eventi un risultato migliore o uguale a quello ottenibile utilizzando gli indici classici proposti dall'SCS, mentre soltanto nel 12,05% dei casi i risultati ottenuti sono peggiori di quelli calcolati con le soglie classiche. Dato ancora più significativo è la distribuzione di questi risultati infatti, in 12 dei 16 bacini idrografici considerati, l'utilizzo dei nuovi indici di pioggia ottenuti tramite la regressione lineare fornisce risultati migliori od uguali a quelli derivati tramite gli indici classici; solo nei rimanenti 4 bacini i risultati ottenuti sono peggiori di quelli calcolati tramite gli indici classici.

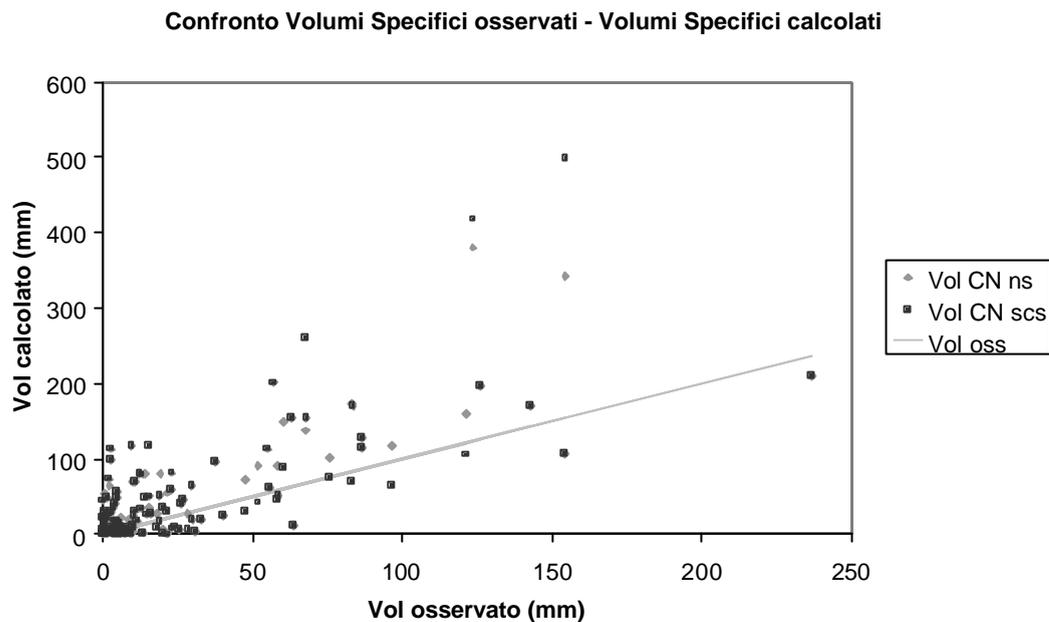


Figura 5. Confronto tra i volumi osservati, rappresentati dalla retta grigia e i volumi calcolati applicando nella determinazione delle soglie AMC prima gli indici di pioggia standard proposti dall'SCS statunitense (quadrato nero), e poi le nuove soglie ottenute dalle equazioni delle regressioni lineari (rombo grigio). È possibile notare la tendenza dei rombi grigi ad avvicinarsi maggiormente alla retta rispetto a quanto fanno i quadrati, ovvero la tendenza dei volumi stimati con i nuovi indici ad avvicinarsi maggiormente al valore effettivo dei volumi osservati rispetto a quanto non facciano i

Quanto sopra esplicitato, fornendo nella stragrande maggioranza dei bacini considerati dei miglioramenti nella stima del CN, conferma l'applicabilità delle eq. 5 e 6 per il calcolo degli indici di pioggia per la determinazione delle classi AMC; inoltre è di particolare interesse il fatto che gli indici di pioggia proposti diano miglioramenti considerevoli anche per bacini molto più grandi del campione originariamente preso in considerazione.

CONCLUSIONI

L'analisi sui dati di afflusso deflusso svolta per 15 bacini in ambiente alpino ed appenninico in cui vale l'ipotesi di una copertura del suolo costante nell'arco dell'anno, evidenzia come gli indici di pioggia precedente per individuare la condizione iniziale di umidità del suolo nel metodo SCS-CN, sono correlati negativamente con la superficie del bacino e quindi con l'indice topografico del bacino. In particolare i nuovi indici di pioggia riproducono coerentemente quegli effetti di drenaggio che soprattutto per condizione di umidità elevata si producono per aree maggiori e che ben spiega, seppur in modo sintetico,

l'indice topografico.

Le relazioni trovate, possono approssimare gli indici di pioggia in dipendenza dell'indice topografico, permettendo la stima di indici di pioggia anche in bacini non studiati durante questo progetto, come evidenziato nel paragrafo sulla validazione del modello.

Ringraziamenti. Il presente lavoro è parte del progetto ITERREG III B Medocc, AMPHORE – “*Application of methodologies of hydro-meteorological forecast for environmental risk evaluation*”, ed è stato reso possibile dalla collaborazione dei numerosi enti che hanno messo a disposizione i dati pluviometrici ed idrometrici necessari. Si ringrazia in particolare l’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente della Regione Piemonte, Il Centro Funzionale della Regione Toscana, Meteo Svizzera e l’Istituto di Scienze della Terra di Lugano.

BIBLIOGRAFIA

- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W., “*Applied hydrology*”, McGraw-Hill, Chap. 5.2, 1988.
- Clopper, P.E., “*Antecedent moisture considerations in the SCS Curve Number rainfall-runoff model*”, Dept. Civil Engineering, Colorado State Univ., Fort Collins, CO, 1980.
- Hawkins, R.H., “*Runoff curve numbers with varying site moisture*”, Jour. Irrigation and Drainage Division, ASCE, v.104, no. IR4, 1978.
- Huang, M., Gallichand, J., Wang, Z., Goulet, M., “*A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China*”, Hydrol. Process. 20, 579–589, 2006.
- Mack, M.J., “*HER-Hydrologic Evaluation of runoff; the Soil Conservation Service Curve Number technique as an interactive computer model*”; Computers&Geosciences, v.21, no.8, 1995.
- Madramootoo, C.A., and Enright, P., “*Applicability of the Soil Conservation Service equations for runoff prediction in the Ottawa St. Lawrence Lowlands*”; Can. Jour. Civil Engineering, v.15, 1987.
- Maidment, D. R., “*Handbook of hydrology*”, McGraw-Hill, Chap. 9, 1993.
- Martin, C.D., “*Critique of the SCS Curve Number rainfall runoff model*”; unpubl. Master thesis, Dept. Civil Engineering, The Pennsylvania State Univ., University Park, PA, 1979.
- Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, “*National Engineering Handbook, v.4.Hydrology*”; U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972
- Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, “*A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds*”; Tech. Paper 149, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1973.
- Soil Conservation Service, “*Urban hydrology for small watershed*”, tech. Rel. no. 55, U. S. Department of Agriculture, Washington D.C., 1975.
- Thiessen, A. H., “*Precipitation averages for large areas.*”, Monthly Weather Rev., 39(7), 1082 – 1084, 1911.