

ANNALI

DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ

_____ SASSARI _____

DIRETTORE: P. BULLITTA

COMITATO DI REDAZIONE: P. BRANDANO - P. BULLITTA - P. DEIDDA
M. GREPPI - L. IDDA - F. MARRAS - G. PALMIERI - A. VODRET

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



ANALISI E SIMULAZIONE DELLA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI DEL FIUME TEMO A REINAMARE⁽¹⁾

Maria Antonietta DESSENA⁽²⁾ - Bruno DETTORI⁽³⁾
Mauro GREPPI⁽⁴⁾ - Antonio PORCHEDDU⁽⁵⁾

RIASSUNTO

A un inquadramento geomorfologico del bacino idrografico è seguita una analisi critica comparata delle registrazioni di venticinque anni di osservazione nelle stazioni di misura presenti nel bacino idrografico del Temo chiuso a Reinamare. Utilizzando un modello del Soil Conservation Service (USA) di trasformazione afflussi-deflussi si è simulata la risposta del bacino per tutti gli eventi meteorici disponibili. Dalla valutazione critica della metodologia si è proposto un CN modificato, per il quale si è trovata una correlazione con l'evoluzione temporale dell'evento. Si sono fatte anche alcune considerazioni qualitative sulla distribuzione meteorica areale.

Parole chiave: Analisi modello trasformazione afflussi deflussi.

SUMMARY

Analysis of inflow-outflow transformation model in Temo river to Reinamare basin

After a geomorphologic description of the basin a critical analysis on the rainfall runoff records, regarding a 25 years time period, has been done for the Temo river basin closed and gauged at Reinamare station. A simulation of rainfall runoff process has been performed using a model proposed by SCS. From a critical analysis on the model used, a modified CN (CNM) has been proposed and correlated with the storm-time variation. Some considerations on the storm spatial distribution have been done.

Keywords: Inflow outflow basin model validation.

⁽¹⁾ Lavoro eseguito con il contributo parziale del CNR, nell'ambito del PF RAISA, sottoprogetto 1, Pubblicazione n.xxx.

⁽²⁾ Ricercatore CO.RI.SA. srl, Reg. S. Giovanni, Sassari.

⁽³⁾ Professore associato di Geologia Applicata, Istituto di Geopedologia dell'Università di Sassari.

⁽⁴⁾ Professore straordinario di Sistemazioni Idraulico-Forestali, Istituto di Idraulica Agraria dell'Università di Sassari.

⁽⁵⁾ Dr. Ing., Istituto di Idraulica Agraria dell'Università di Sassari.

INTRODUZIONE

La trasformazione afflussi-deflussi in un bacino idrografico è argomento di studio da tanti anni e con l'avvento della modellistica matematica numerosissimi sono i modelli proposti e studiati, ciò non toglie che molti di questi modelli sono di difficile impiego. Un metodo piuttosto semplice per la stima della parte ruscellata della precipitazione, che contribuisce al deflusso superficiale, è stato proposto dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America, e si basa sulla procedura detta del Curve Number. Questo metodo è stato impiegato in modo diffuso in diversi modelli di trasformazione A/D molto utilizzati negli USA anche al di fuori di quello che era l'originaria area di impiego ristretta a piccoli bacini agricoli. Lo studio del riscontro di questo modello impiegato per la simulazione A/D in un bacino idrografico di media dimensione come quello del Temo chiuso a Reinarbare in parallelo a precedenti studi in area alpina può consentire di ampliare l'applicabilità del modello SCS anche a bacini privi di stazioni di misura, che possiedano la stessa caratterizzazione geopedologica.

LIMITI GEOGRAFICI

Il bacino idrografico del Fiume Temo è ubicato nel settore nord-occidentale della Sardegna a cavallo tra le provincie di Sassari, Nuoro ed Oristano. Confina ad Ovest con i bacini di numerosi rii che sfociano nel Mare di Sardegna, a Nord-Ovest e Nord con i bacini idrografici del Rio Barca e del Rio Mannu di Portotorres, ad Est con il bacino del Rio Mannu di Ozieri e a Sud con i bacini idrografici del Fiume Tirso e del Rio Mannu. Il suo spartiacque interessa la Catena del Marghine, attraversa l'altopiano di Campeda e prosegue sui rilievi vulcanici del Logudoro e della Planargia raggiungendo la quota maggiore a P.ta Palai, sul Marghine, con 1200 m s.l.m.. Il bacino si estende in un'area di circa 840 Km² e comprende, totalmente o in parte, i territori di 26 Comuni di cui 14 della provincia di Sassari, 11 della provincia di Nuoro ed 1 della provincia di Oristano.

Il reticolo idrografico si sviluppa sostanzialmente, in relazione con lo stile tettonico regionale, secondo due direttrici ortogonali tra loro: una N-S, che rappresenta quella del corso principale, e l'altra con direzione E-O, percorsa dalle acque del Rio Temo. Numerosi sono gli affluenti, distribuiti soprattutto nella porzione sud-orientale: tra i principali ricordiamo il Rio Mannu di Sindia, caratterizzato da un bacino piuttosto esteso, il Rio Mulino, il cui apporto idrico è modesto, il Rio Melas, affluente del Temo alto.

Fatta eccezione per il Fiume Temo, i corsi d'acqua che caratterizzano questo bacino hanno per lo più carattere stagionale ed in taluni casi occasionale: essi tendono ad ingrossarsi nel periodo invernale limitatamente nei giorni successivi all'evento pluviometrico, provocando talvolta fenomeni di esondazione a valle e si seccano completamente nel periodo estivo.

L'area oggetto di questo studio è il sottobacino chiuso a Reinamare con una superficie di 174 Km². La sua asta principale è lunga 26 km, con direzione generale nel primo tratto O-E e nel secondo tratto N-S, ed una pendenza media del 2%; i suoi affluenti, di grado inferiore, hanno un andamento di tipo parallelo legato alle strutture del complesso litoide impermeabile (fig.1, Localizzazione geografica del bacino).

GEOLOGIA, CARATTERI MORFOLOGICI ED IDROGEOLOGIA

Le formazioni geologiche del sottobacino in studio sono costituite esclusivamente da rocce di età terziaria e quaternaria: in particolare si possono distinguere rocce di origine vulcanica laviche (a chimismo variabile da acido ad alcalino) e piroclastiche, rocce di origine sedimentaria marine, alluvionali e detritiche. La serie effusiva calco-alcalina, caratterizzata da andesiti in colate o cupole, da daciti e rioliti con facies intermedie con frequenti coltri ignimbriche, da trachiandesiti e andesiti accompagnate da tufi, si presenta costituita da una grande piattaforma oggi variamente erosa ed incisa, basculata ad Est e ricoperta nella parte centrale dai sedimenti terziari. Questi sedimenti costituiti da calcari, marne ed arenarie sono trasgressivi sul basamento vulcanico in giacitura suborizzontale, con strati dislocati su piani differenti ad immersione prevalente E-SE (Pecorini, 1968). I depositi recenti ed attuali, i detriti di falda ed i conoidi di deiezione chiudono infine la serie.

Dal punto di vista tettonico, il bacino ha subito, a partire dall'Oligocene, gli effetti della tettonica disgiuntiva di età alpina che hanno provocato fosse e fratture profonde. I lineamenti strutturali fondamentali sono quelli SO-NE paralleli alla Catena del Marghine, NO-SE del Campidano ed infine N-S dei centri vulcanici del Logudoro e del Montiferru. Altre faglie minori variamente orientate hanno formato direzioni di minor resistenza, lungo le quali si sono impostati lunghi tratti del reticolo idrografico. La morfologia di questa area è tipica e rispecchia fortemente il differente chimismo delle rocce. Nelle lave meno fluide predominano le forme a cupola, cupola-cumulo e dosso; quando si alternano facies a consistenza tufacea con altre lapidee la morfologia tipica è a "cuestas" o a gradinata. Le coltri ignimbriche formano rilievi a "mesa" e le lave più fluide vasti espandimenti tabulari. In corrispondenza delle formazioni mioceniche di più facile erodibilità spesso l'asportazione dei sedimenti, in corrispondenza dei corsi d'acqua, ha riesumato il corpo eruttivo sottostante.

Nel complesso siamo in presenza di un paesaggio a volte sconnesso con forti rotture di pendenze, a volte molto morbido a pendii dolci a seconda delle caratteristiche petrografiche del substrato litoide.

Sotto il profilo idrogeologico il bacino è privo di consistenti serbatoi di accumulo ed è caratterizzato da suoli poco potenti e pertanto di modesta capacità di ritenuta. Una parziale capacità di immagazzinare acqua superficiale può essere attribuita unicamente alla facies sabbiosa dei calcari miocenici oltre alle coltri alluvionali in

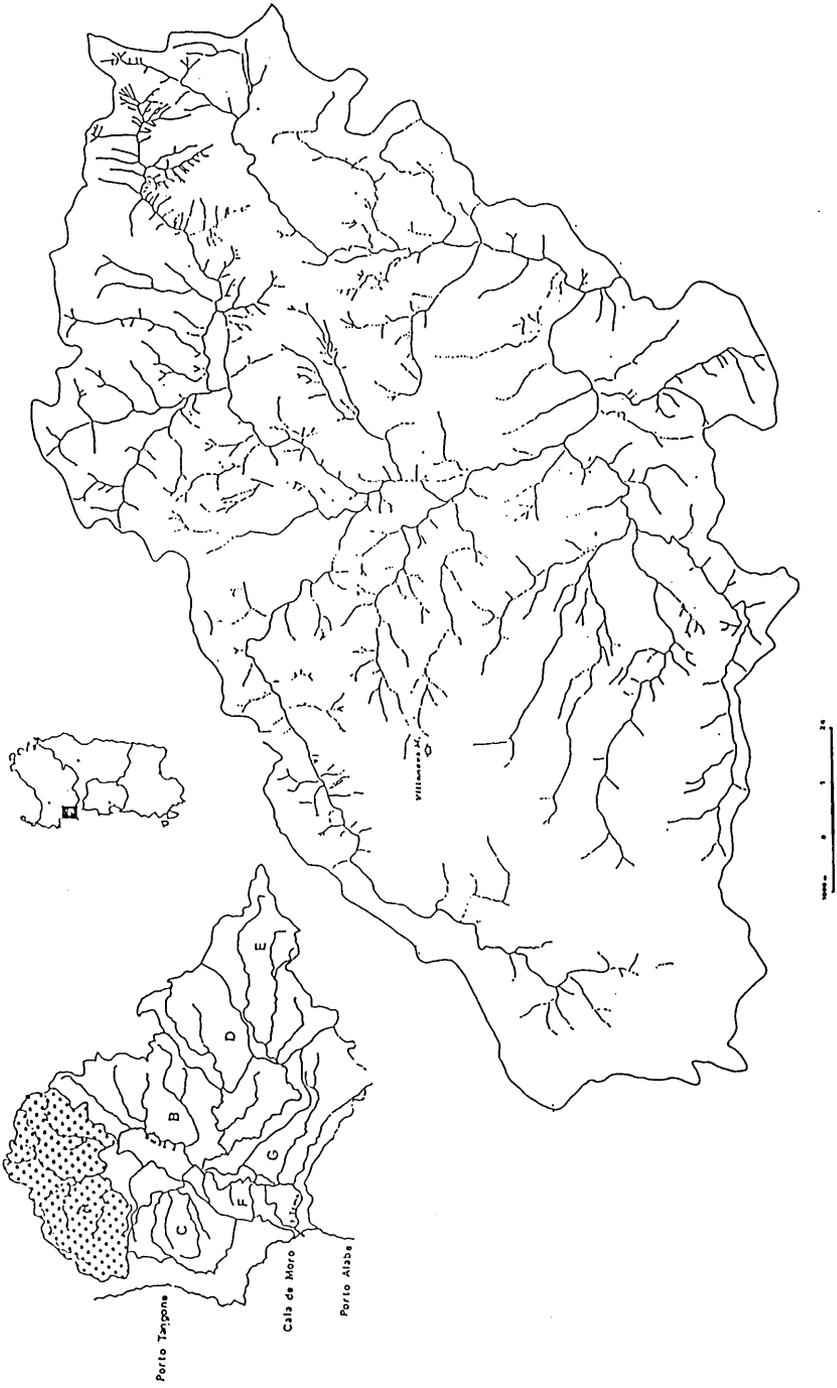


Fig. 1 - Localizzazione del bacino idrografico.

prossimità dei corsi d'acqua, formazioni che peraltro rappresentano una modesta aliquota del territorio.

La circolazione di acqua nel sottosuolo, seppure modesta, è tuttavia assicurata dalla presenza di una diffusa permeabilità secondaria per fessurazione che, nei diversi tipi litoidi, si riscontra via via decrescente verso gli strati più profondi. La presenza di un apparato sorgentizio costituito essenzialmente da sorgenti di piccola portata a regime variabile con Indice di Variabilità $R = 100(a - b)/c$ (dove a è la portata massima, b è la minima e c è la media) che oscilla tra il 25 ed il 100% conferma quanto detto, in particolare la limitata consistenza dei serbatoi idrogeologici, il modesto approfondimento degli stessi (si tratta di circuiti sub-superficiali) e la scarsa capacità di ritenuta del substrato.

ANALISI DELLE MISURE OSSERVATE

I dati a disposizione provengono dall'Ufficio Idrografico di Cagliari e sono stati registrati negli anni dal 1950 al 1975; la scelta di questo periodo coincide con il massimo numero di stazioni pluviometriche e pluviografiche funzionanti, inoltre si ritiene rappresenti un numero di anni di osservazione sufficiente per apprezzare la variabilità climatica. Purtroppo i dati degli eventi sovente non sono completi e non sempre sono attendibili, sia per la mancanza di qualche evento di precipitazione corrispondente ad un certo deflusso, sia per le effettive deficienze nella registrazione (pluviografi mal funzionanti e stazione idrometrografica inceppata).

Per il sottobacino del Temo chiuso a Reinamare è disponibile una sola stazione pluviografica, situata all'interno del bacino nella località Villanova Monteleone, in posizione abbastanza baricentrica; mentre sono presenti alcune stazioni pluviometriche sia interne che esterne prossime al bacino, che vengono successivamente prese in considerazione per un esame della distribuzione areale di ogni meteora. Si è quindi fatta un'analisi delle registrazioni pluviografiche della stazione di Villanova Monteleone comparate con le altezze idrometriche nella stazione di misura di Reinamare, ottenendo una serie di eventi che consentono lo studio della trasformazione Afflussi-Deflussi nel bacino.

Le registrazioni pluviografiche nei limiti della precisione strumentale si ritengono corrette, esistono invece degli asincronismi nei riferimenti fra i pluviogrammi e i corrispondenti idrogrammi che devono essere attentamente valutati. Mentre per le registrazioni idrometrografiche si richiede una trasformazione in valori di portata che porta a una approssimazione funzione della stessa scala delle portate con valori crescenti al crescere dei livelli registrati. Nel periodo considerato non si sono avute variazioni significative nella sezione dell'alveo ove è installato l'idrometrografo e pertanto si ritiene corretta la scala delle portate ottenuta al momento dell'installazione della stazione di misura avvenuta alcuni anni prima.

DESCRIZIONE MODELLO

Idrogramma Unitario

Il modello di simulazione afflussi (A) - deflussi (D) prescelto è quello dell'Idrogramma Unitario proposto per la prima volta da Sherman (1932) e poi utilizzato in seguito da diversi altri autori.

L'idrogramma unitario (UH) simula il processo A/D nell'ipotesi di linearità tra volumi e portate (modello lineare) utilizzando come input la pioggia netta.

In particolare la nostra scelta è caduta sull'idrogramma unitario sintetico adimensionale proposto nel 1972 dal Soil Conservation Service (SCS); questo modello, essendo sintetico, ha il vantaggio che non necessita di alcuna taratura dei parametri sulla base di indici di caratterizzazione geomorfologica; inoltre, essendo stato determinato dall'analisi di un gran numero di eventi su diversi bacini, possiede una notevole adattabilità a situazioni molto diverse fra loro. A tutto ciò si aggiunge una notevole semplicità di applicazione legata solo alla conoscenza di alcuni parametri fondamentali per ogni bacino (area, pendenza media, lunghezza asta principale).

Il SUH è rappresentato nella fig. 2a ove in ordinate vi è il rapporto tra la portata q al tempo t e la portata di picco q_p ed in ascisse il rapporto tra il tempo t ed il tempo necessario per raggiungere il picco della portata T_p ; il valore di q_p e di T_p si possono stimare da un diagramma triangolare fig. 2b che approssima il SUH di fig. 2a. Da quest'ultimo si ottengono le relazioni:

$$q = \frac{C A}{T_p}$$

$$T_b = 2.67 T_p$$

$$T_p = t_r/2 + t_p$$

ove: A : area del bacino in Km^2 ;

C : coefficiente che dipende dall'unità di misura ($C = 20.8$ per SI ed altezza di pioggia di 1 mm);

T_b : tempo di base dell'idrogramma triangolare;

T_p : tempo di picco;

t_r : durata della precipitazione;

t_p : Lag-time;

T_c : tempo di concentrazione o corrivazione ($t_p > \approx .6 T_c$);

$$t_p = .342 \gamma^{0.5} L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

γ : pendenza media del bacino (%)

L : lunghezza dell'asta principale dalla sezione considerata allo spartiacque (Km).

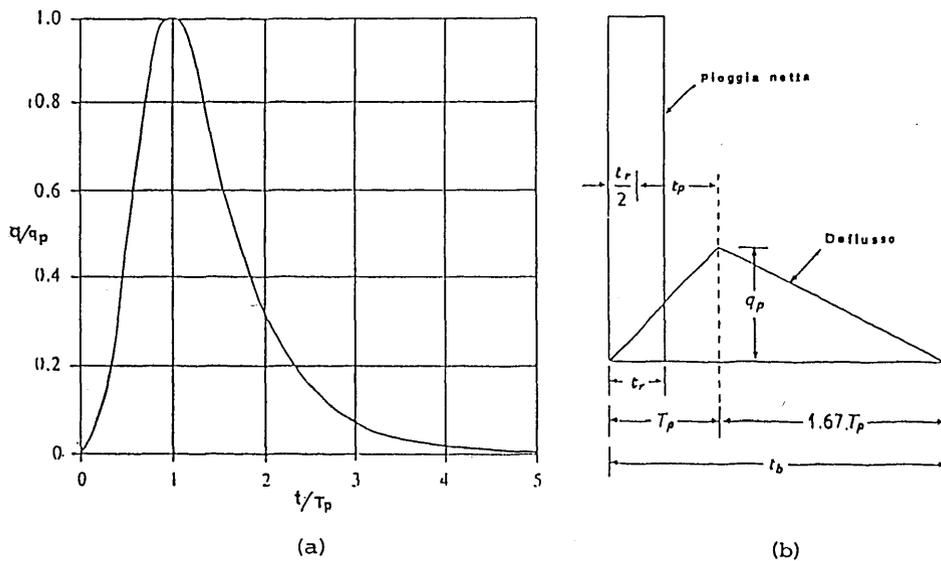


Fig. 2 - Idrogramma unitario dell'SCS: a) idrogramma adimensionale
b) idrogramma unitario triangolare

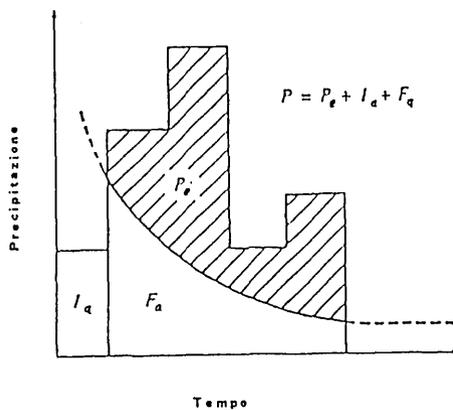


Fig. 3 - Variabili del metodo SCS.

Pertanto ricavati i valori di T_p e q_p dall'idrogramma triangolare si può ricavare il UH ricorrendo al SUH di fig. 2a.

La pioggia netta, che costituisce l'input del modello, si è ricavata utilizzando il Curve Number Method .

Curve Number Method

Il CN (Curve Number) è legato direttamente alla capacità d'infiltrazione del terreno S tramite la relazione empirica proposta dall'SCS :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

il CN ha una variabilità principale legata alle caratteristiche geologiche del territorio ed alla destinazione d'uso, ed una variabilità secondaria legata alle condizioni di umidità del terreno antecedenti gli eventi meteorici. A questo proposito l'SCS fornisce i valori del CN a seconda del tipo di suolo per le condizioni di umidità media. Per quanto riguarda la variabilità relativa alle condizioni di umidità antecedenti la meteora sono state definite tre condizioni a seconda dell'altezza di precipitazione nei cinque giorni precedenti l'evento :

- AMCI(Antecedent Moisture Condition I) per terreno secco
- AMCIIper terreno in medie condizioni di umidità
- AMCIIIper terreno da umido a saturo;

i valori tabulati corrispondono alla condizione II e sono fornite delle formule empiriche che permettono di ricavare il CN nelle altre due condizioni.

L'equazione di deflusso proposta per la determinazione della pioggia netta si ricava osservando che la pioggia netta $P_e \leq P$ altezza di precipitazione; analogamente l'infiltrazione $F_a \leq S$ massima ritenzione potenziale del terreno. Vi sarà poi una certa altezza di precipitazione, detta I_a (Initial abstraction), per cui non si ha deflusso; pertanto il deflusso potenziale diventa $P - I_a$. Il metodo del Curve Number si basa sull'ipotesi che i rapporti fra i valori effettivi e i potenziali di infiltrazione e di pioggia efficace siano uguali, i.e. :

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

inoltre per continuità (vedi fig. 3):

$$P = P_e + I_a + F_a$$

che combinate forniscono l'espressione del deflusso:

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

Da osservazioni effettuate su diversi bacini si è ricavata una relazione sperimentale che lega l'infiltrazione iniziale alla capacità d'infiltrazione del suolo :

$$I_a = 0.2 S.$$

APPLICAZIONE DEL MODELLO

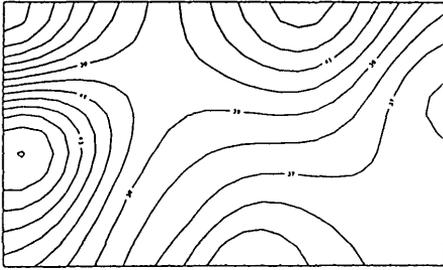
Ipotesi

Il modello utilizzato è stato scelto per la sua semplicità, in quanto richiede un numero limitato di parametri da definire, e per la sua notevole flessibilità nel simulare componenti diverse del fenomeno come la portata di picco o come la forma dell'idrogramma, consentendoci di ottenere delle informazioni abbastanza significative sull'evoluzione dei deflussi.

Nell'applicazione del modello si sono fatte alcune ipotesi:

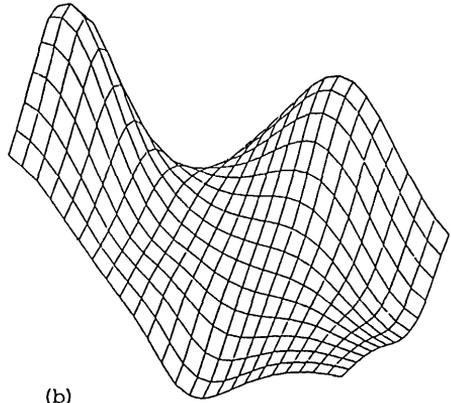
- per la precipitazione abbiamo ammesso che essa si distribuisca uniformemente su tutto il bacino durante l'evento;
- per il CN si ritiene di assumere un valore iniziale rappresentativo dell'intero bacino, basato sulle caratteristiche geopedologiche e sulla destinazione d'uso. Questo valore viene poi modificato, entro un range di variabilità limitato, in funzione delle condizioni di umidità del terreno precedenti l'evento;
- per l'Ia, in generale, si utilizza la formula già vista ad eccezione di condizioni limite di umidità del terreno precedenti l'evento.

L'ipotesi di considerare uniformi le precipitazioni si verifica in realtà molto raramente, infatti, la meteora si distribuisce di solito in modo disuniforme. La disuniformità della precipitazione si è notato influire sul valore del CN e del coefficiente di deflusso. In questo studio è stato possibile dare una valutazione qualitativa della distribuzione della precipitazione utilizzando le stazioni pluviometriche prossime o interne al bacino dell' Ufficio Idrografico di Cagliari. Il termine qualitativo sta a indicare che si può valutare una distribuzione solo per i valori cumulati delle precipitazioni dell'evento meteorico complessivo, non per le intensità, sommando le registrazioni giornaliere di ogni stazione relative a quell'evento; infatti si riscontra frequentemente che in stazioni di misura prossime, la stessa precipitazione sia attribuita a giorni diversi a causa della diversità degli operatori che le rilevavano privi tra l'altro di qualifica professionale. Si è comunque esaminata la distribuzione delle precipitazioni degli eventi scelti per lo studio del modello A/D e nelle figure (4a,b), (5a,b) e (6a,b) sono riportati come esempio i grafici della proiezione topografica e della rappresentazione superficiale delle altezze di precipitazione per alcuni eventi su un'area che coinvolge gran parte del bacino idrografico del Temo a Reinamare (vedi fig. 7). Allo stadio attuale dello studio non è stato possibile valutare la correlazione tra la distribuzione delle intensità orarie e le altezze cumulate dell'intero evento meteorico, pertanto si è preferito introdurre nel modello una distribuzione uniforme sull'intero bacino delle intensità registrate a Villanova Monteleone senza tener conto della disuniformità spaziale dell'evento.



P (23-3 26-3) 1956

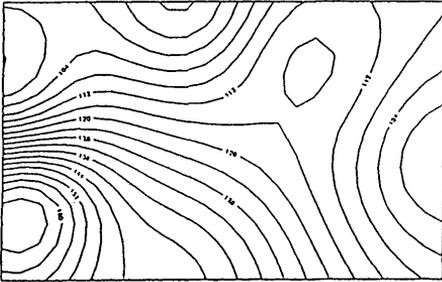
(a)



(b)

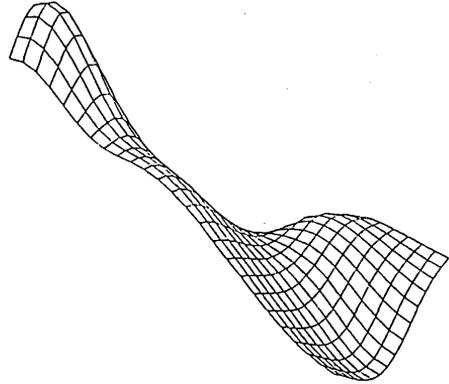
P (23-3 26-3) 1956

Fig. 4 - Rappresentazione spaziale dell'evento



P (8-2 19-2) 1963

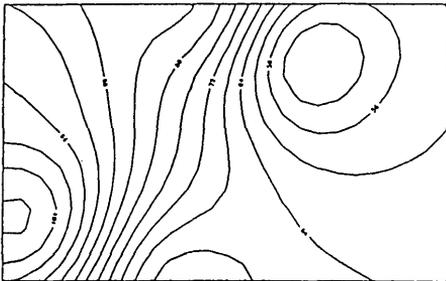
(a)



(b)

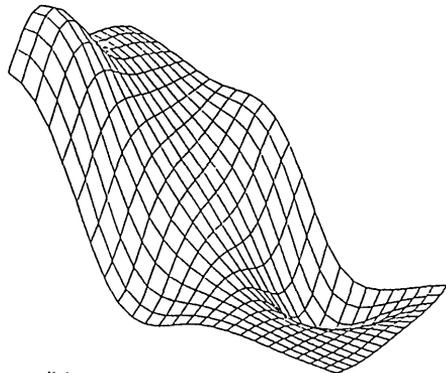
P (8-2 19-2) 1963

Fig. 5 - Rappresentazione spaziale dell'evento



P (18-2 21-2) 1972

(a)



(b)

P (18-2 21-2) 1972

Fig. 6 - Rappresentazione spaziale dell'evento

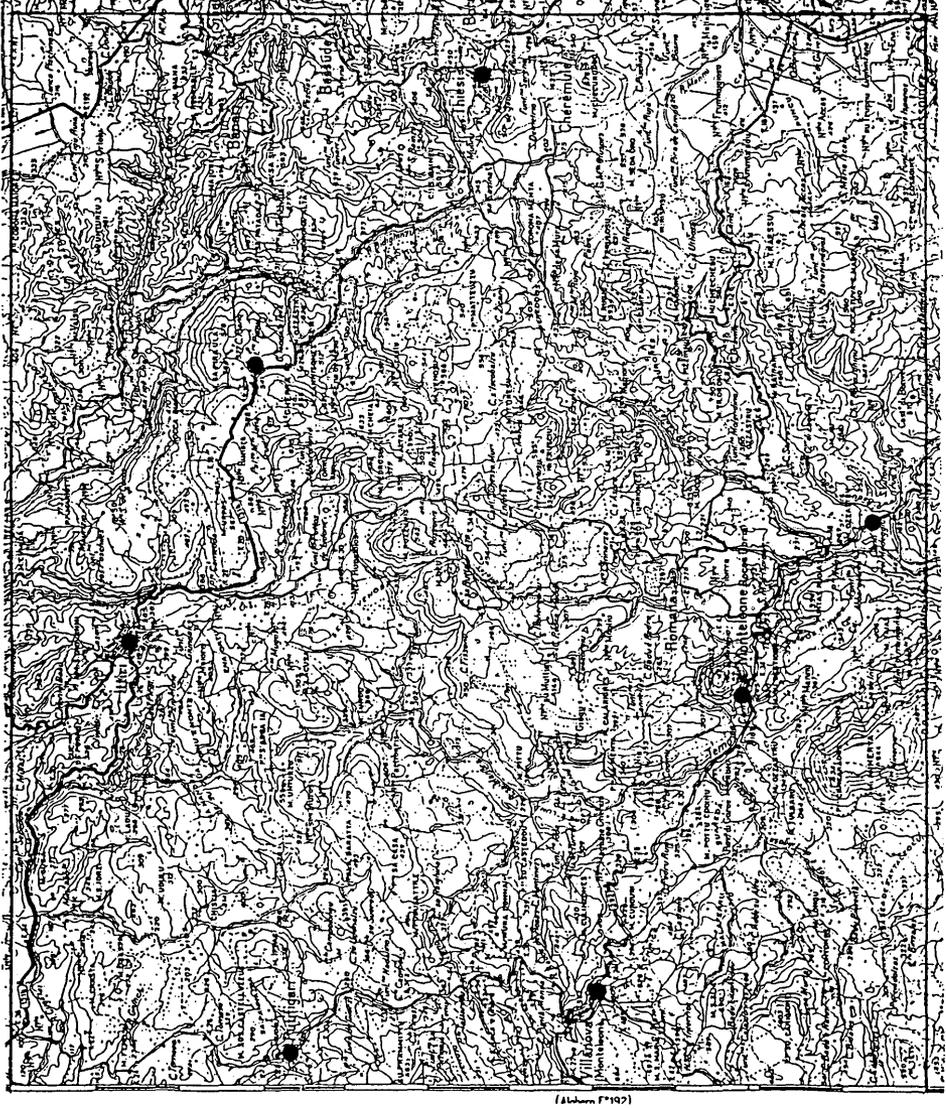


Fig. 7 - Area di riferimento per la rappresentazione spaziale.

Applicazione

Riguardo il Curve Number, dopo aver esaminato le caratteristiche geologiche e la destinazione d'uso della zona, possiamo ritenere che il bacino sia classificabile come impermeabile con un valore del CN molto alto. Dall'indagine svolta si è trovato che il CN varia, in generale, entro un range compreso fra 80 e 95 con un valore medio attorno al 90. Questa variabilità è senz'altro da imputarsi alle condizioni di saturazione del terreno. Quando il bacino è secco il valore del CN ricavabile con le formule fornite dall'SCS tende ai valori minimi, mentre quando il bacino è umido il valore del CN è prossimo ai valori massimi.

Il fatto che la quasi totalità dei valori sia raggruppata in questo range è indicativo delle condizioni del bacino ed indica come, con tutta probabilità, il CN debba considerarsi una variabile casuale funzione oltre che della umidità del terreno anche delle condizioni di saturazione istantanea che dipendono dalla intensità media e massima della precipitazione.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità del bacino al fine di definire il CN ci siamo attenuti alle indicazioni dell'SCS. Tuttavia nel nostro caso si sono osservate delle discrepanze per quanto riguarda il periodo di riferimento antecedente all'evento che per l'SCS è di cinque giorni, mentre nella nostra situazione sembrerebbe essere inferiore, dell'ordine di grandezza di 36-48 ore.

Inoltre osserviamo che il valore dell' I_a risulta in tutte le situazioni abbastanza uniforme e sembra non dipendere molto dalle condizioni di umidità del bacino anche se diminuisce con l'aumentare del CN. In generale per il primo gruppo i valori di I_a sono compresi fra (0.2 S) e (0.4 S) mentre per il III° gruppo hanno dei valori variabili fra 1 e 8 mm; questo comportamento si giustifica con la disuniformità temporale dell'evento meteorico: infatti, se l'evento è distribuito occorre un'alta I_a per simulare un'infiltrazione che, in un evento con alta intensità, si può simulare con I_a inferiore.

CN MODIFICATO

Il calcolo della pendenza media del bacino, parametro da introdurre nel modello del SCS, richiede una elaborazione complessa che per i bacini idrografici porta a risultati spesso non univoci a seconda della metodologia adottata. In modo analogo la lunghezza dell'asta principale, valutata senza tener conto della forma del bacino, può far sorgere delle perplessità se si è o meno in presenza, come in questo caso, di un bacino molto largo con due rami totalmente indipendenti che confluiscono poco prima della sezione di chiusa.

Si è così pensato di introdurre due parametri diversi, sostitutivi dei precedenti, di facile calcolo, sostituendo alla lunghezza dell'asta principale la lunghezza media dei rami principali e alla pendenza media del bacino quella dei rami predetti.

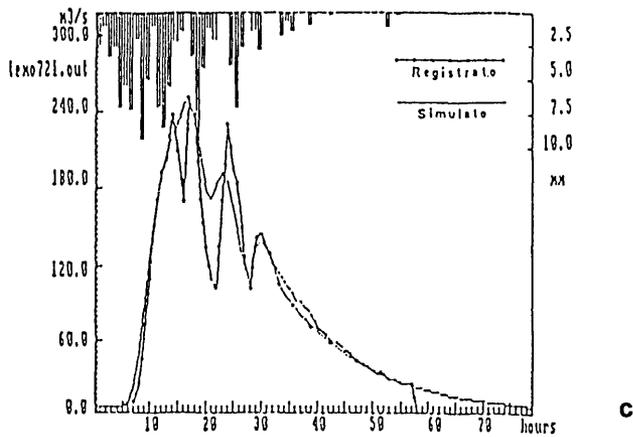
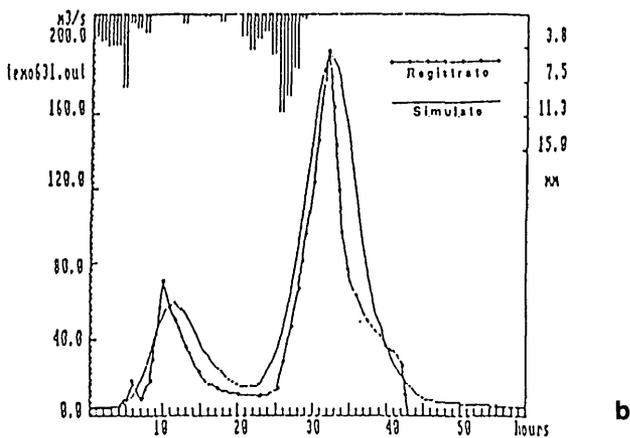
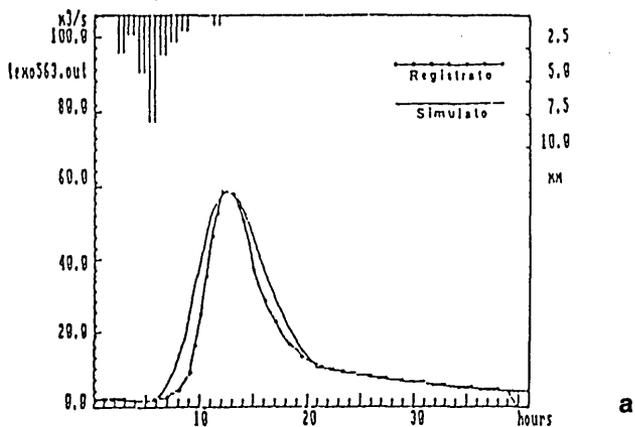


Fig. 8 - Simulazione afflussi-deflussi con il CNM nelle condizioni a) AMCI; b) AMCII; c) AMCIII.

Questa procedura è giustificata dall'estensione del modello SCS, originariamente dedotto per aree agricole a morfologia dolce, a bacini idrografici a morfologia complessa.

Il cambiamento dei parametri di base del modello porta a individuare un parametro concettualmente simile al CN, ma non uguale, che possiamo chiamare CNM, legato al precedente da una relazione funzionale e che comporta le seguenti differenze :

- a) i valori del CNM risultano sempre maggiori dei valori del CN, poiché la pendenza media dell'asta principale è inferiore alla pendenza media del bacino,
- b) il campo di variazione del CN è maggiore del campo di variazione del CNM,
- c) il tempo t valutato con la metodologia CNM risulta maggiore di quello calcolato con la metodologia CN e questo comporta una migliore simulazione del tempo di picco e conseguentemente dell'onda di piena.

Nelle figure (8a,b,c) sono riportati come esempio degli eventi simulati nelle tre diverse situazioni di umidità del bacino idrografico col metodo CNM.

ANALISI DEI RISULTATI

Il bacino in esame, come peraltro qualsiasi sistema naturale, evolve nella trasformazione Afflussi/Deflussi in maniera complessa.

Nello studiare il comportamento del bacino abbiamo esaminato la relazione A/D in termini di altezze d'acqua (mm) raggruppando gli eventi in base alle condizioni di umidità del bacino secondo la classificazione fatta dall'SCS.

In fig. 9 è riportata la relazione A/D per i vari eventi; da questa si vede che esiste una tendenza funzionale a seconda della classe di appartenenza.

All'interno di ogni classe si riscontrano tuttavia delle forti variabilità tra evento ed evento dovute:

i) alla distribuzione della precipitazione, ii) alla diversa intensità sia media sia massima, iii) alle diverse condizioni di saturazione del terreno del bacino all'interno di ogni classe. Per esempio all'interno della AMCI l'evento verificatosi dal (12-11) al (15-11) 1962 con un afflusso di 67.6 mm, una intensità media di 2.15 mm/h ed un'intensità massima di 6.5 mm/h ha determinato un deflusso $D=21.03$ mm; mentre l'evento verificatosi dal (03-02) al (04-02) 1974 con un afflusso inferiore (47.4 mm), una intensità media quasi equivalente (2.12 mm/h) ed una intensità massima di poco superiore (7.7 mm/h) ha determinato un deflusso quasi equivalente (24.59 mm). Questo fatto si spiega con una distribuzione anomala dell'evento del (62) che presentando una forte concentrazione su Villanova Monteleone ha portato a sovrastimare l'afflusso. Invece l'evento verificatosi dal (15-02) al (16-02) 1963, che presenta un afflusso dello stesso ordine di grandezza dell'evento del 1962 (69.0 mm) con intensità media di 5.18 mm/h e intensità massima di 10.7 mm/h, distribuito più uniformemente sull'intero bacino, genera un deflusso di 37.15 mm.

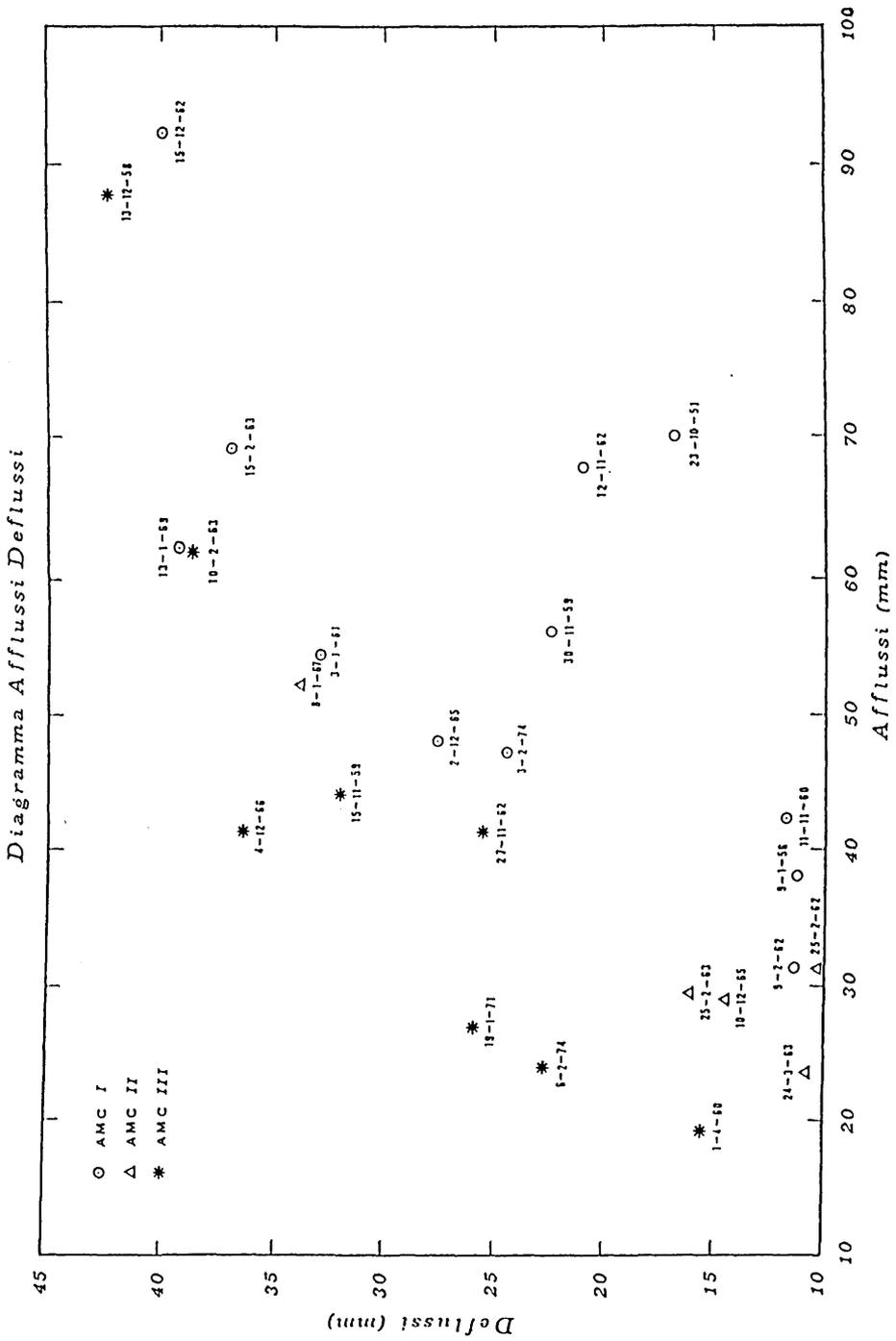


Fig. 9 - Rappresentazione afflussi-deflussi e classificazione in base al CNM.

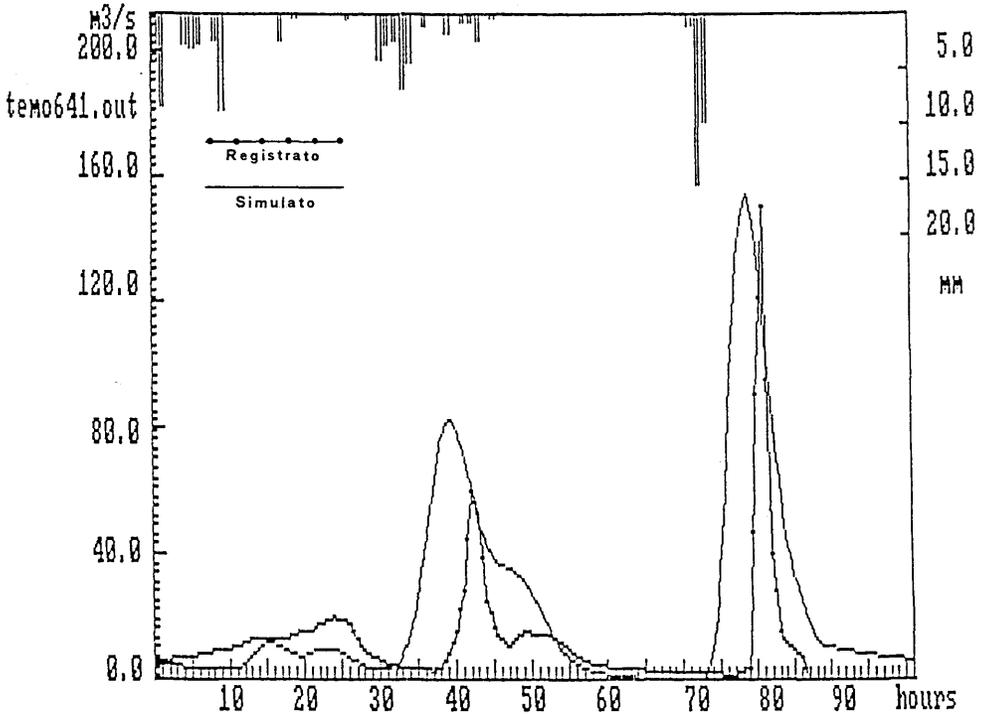


Fig. 10 - Risposta del bacino e simulazione con SCS.

La sua struttura geopedologica che lo rende praticamente impermeabile fa sì che la capacità di infiltrazione sia molto bassa e di conseguenza si arrivi alla saturazione del terreno in tempi abbastanza brevi, una volta raggiunta la saturazione, il bacino “risponde” a qualsiasi altro afflusso con una notevole velocità generando dei picchi di portata rilevanti.

Nella fig. 10 è possibile vedere tre fasi tipiche di trasformazione A/D a seconda delle condizioni di saturazione del terreno al ripetersi di tre precipitazioni simili. Durante le prime 30 ore il bacino “assorbe” la precipitazione senza generare delle portate di alcun rilievo, dopo le 30 ore il bacino tende a saturarsi, rispondendo in maniera parziale all’afflusso, quando dopo le 50 ore raggiunge la saturazione ad un ulteriore apporto meteorico risponde immediatamente con una portata che (per una pioggia che ha lo stesso ordine di grandezza in termini di volume) è sette volte maggiore del primo picco. Quindi il deflusso è fortemente variabile a secondo delle condizioni di saturazione del terreno e della evoluzione temporale dell’evento.

Questo conferma che il fattore più legato alla determinazione del CNM dopo le caratteristiche di umidità del suolo risulta essere l’evoluzione nel tempo dell’evento. Pertanto le variabili fra cui si è cercata la correlazione, per spiegare la variabilità del

CNM entro il suo campo di definizione, sono l'intensità di precipitazione media e massima durante l'evento.

Si sono quindi considerate le due condizioni di bacino "secco" (AMCI) e di bacino "umido" (AMCIII), alle quali corrispondono rispettivamente valori medi di CNM uguali a 91 e a 98. Per entrambe le situazioni si è verificato se sussisteva una correlazione fra CNM ed intensità media e massima di precipitazione. Come si può vedere dalle matrici di correlazione (tab. A) CNM risulta meglio correlato con l'intensità massima (Imax) e in particolare nella AMCIII, questo fatto sembrerebbe spiegare quantitativamente l'impulsività della risposta quando il bacino è saturo.

In entrambi i casi si sono ricavati col metodo dei minimi quadrati gli stimatori da inserire in un modello lineare di previsione del tipo:

$$CNM = \beta_0 + \beta_1 I_m + \beta_2 I_{max}$$

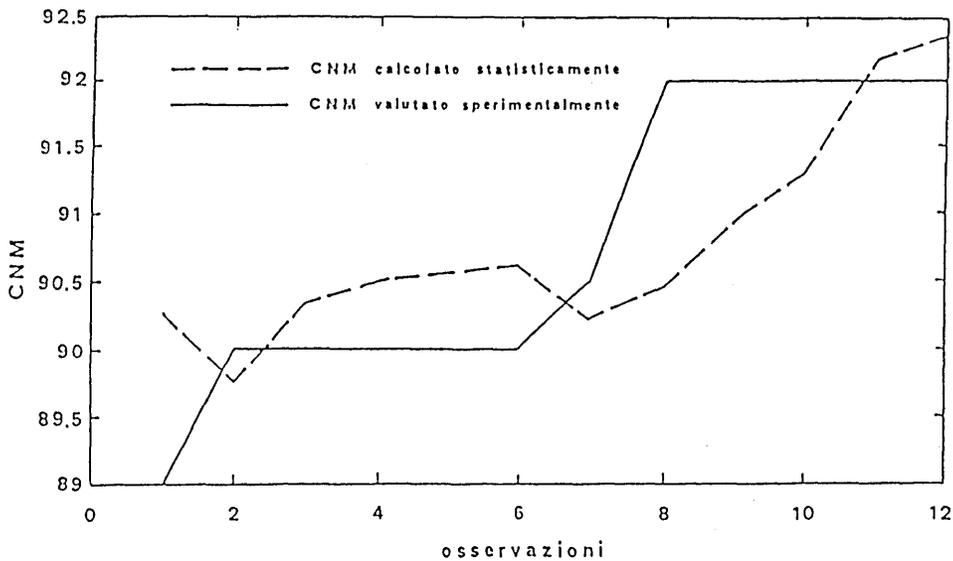
la confidenza di tali stimatori è stata verificata col test T di Student che ha indicato come i parametri stimati siano quelli statisticamente migliori; nella tab. B sono riportati i parametri e la rispettiva confidenza che risulta molto elevata. Il test risulta negativo solo per il parametro β_1 che, in condizioni di terreno secco, lega il CNM all'intensità media di pioggia, tuttavia il fatto che $E(e)=0$ (speranza matematica dell'errore fra i valori determinati sperimentalmente e quelli calcolati) ci assicura che anche questo parametro sia non distorto e rimanga il migliore stimatore. Nelle figure (11a,b) si possono osservare i valori di CNM trovati e quelli calcolati utilizzando gli stimatori nelle due differenti situazioni. Anche graficamente è evidente come i parametri determinati tramite la correlazione riescano a simulare le variazioni del CNM.

Tab. A - Matrici di correlazione

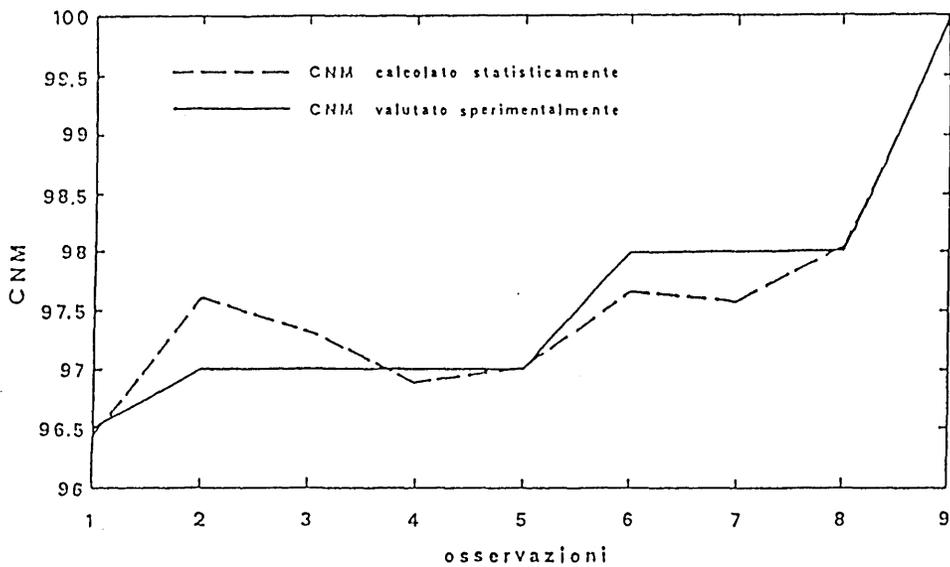
	AMCI			AMCIII		
	CNM	Im	IM	CNM	Im	IM
CNM	1.0000	0.4329	0.6975	1.0000	0.2748	0.8075
Im	0.4239	1.0000	0.5282	0.2748	1.0000	0.7525
IM	0.6975	0.5282	1.0000	0.8075	0.7525	1.0000

Tab. B - Stimatori e loro confidenza

AMCI		AMCIII	
STIMATORE	CONFIDENZA	STIMATORE	CONFIDENZA
$\beta_0 = 88.7660$	95%	$\beta_0 = 96.2411$	99%
$\beta_1 = 0.0803$	—	$\beta_1 = -0.4214$	99%
$\beta_2 = 0.1978$	95%	$\beta_2 = 0.2982$	99%



(a)



(b)

Fig. 11 - CNM trovati e calcolati nelle condizioni (a) AMCI, (b) AMCIII.

TEMPO DI CORRIVAZIONE E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Tempo di corrivazione

La formula della metodologia CNM per valutare il tempo di corrivazione o tempo di concentrazione (dalla traduzione inglese del termine "concentration time") del bacino idrografico simula la risposta del bacino in modo quasi sempre soddisfacente, come si può osservare dalle figure (8a,b,c).

Per completare lo studio si è svolto un interessante confronto con i tempi di corrivazione ottenuti con alcune delle numerose formule ordinariamente in uso (vedi tab. C).

Si noti però che il tempo di corrivazione calcolato nel modello è legato al Lag-time e pertanto varia con il CNM a seconda delle condizioni di saturazione del suolo, simulando in modo più completo le diverse condizioni in cui si può trovare il bacino.

Tab. C - Tempi di corrivazione.

TEMPO DI CORRIVAZIONE		
FORMULE EMPIRICHE(1-4) E STOCASTICA (5)		T _c (ORE)
$T_1 = \frac{L}{3600}$	Viparelli	T ₁ = 7.22
$T_2 = 0.1272 \left(\frac{S}{i} \right)^{0.5}$	Ventura	T ₂ = 6.85
$T_3 = \frac{4 (S)^{0.5} + 1.5 L}{0.8 * (H_m - H_o)^{0.5}}$	Giandotti	T ₃ = 7.68
$T_4 = \frac{.01947}{3600} \left(\frac{L(L)^5}{(H_m - H_o)^5} \right)$	Kirpich	T ₄ = 3.67
$\log (T_5) = .048 + .1171 \log (S) + .1871 \log (H/i) + \epsilon_i$	Salis-Sechi	T ₅ = 10.61
$T_{CNM} = .342 \gamma^{0.5} L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)$		T _{CN} = 5.64 T _{CNM} = 7.83

L: lunghezza asta principale (m),

S: superficie bacino (Km²)

i: pendenza asta principale,

H: altezza media,

H_o: altezza sezione di chiusura,

H_m: altezza massima dell'asta principale,

γ: pendenza media del bacino nel caso di CN;

γ = i nel caso di CNM.

È possibile allora un confronto solo tra un valore medio di questo ed i tempi di corrivazione calcolati in tab. C.

In questa tabella nelle ultime due righe sono stati calcolati i valori medi del tempo di corrivazione per i modelli CN e CNM, ottenendo, come si vede, per il CNM una buona corrispondenza con la ben nota formula di Giandotti. È peraltro interessante osservare come il tempo di concentrazione, proposto dall'SCS, dia dei valori medi abbastanza differenti da quelli forniti dalla formula di Salis-Sechi, ottenuta per i bacini sardi, ma senza tenere conto delle condizioni del terreno.

Coefficiente di Deflusso

Il coefficiente di deflusso risulta assumere dei valori compresi in un range molto ampio; probabilmente questa variabilità è dovuta alle seguenti ragioni :

- a) forti variazioni delle condizioni di saturazione del terreno nel bacino in relazione alla sua collocazione climatica e, a causa della sua ridotta capacità di accumulo, coseguenti importanti differenze nel deflusso a parità di afflusso;
- b) disuniformità spaziale della precipitazione sul bacino, questo implica che per il metodo seguito nella valutazione degli afflussi, a causa della indisponibilità di altre stazioni di misura, se l'afflusso è sovrastimato, il Cd aumenta, mentre se sottostimato, diminuisce.

CONCLUSIONI

L'analisi svolta ha consentito di definire, per ogni evento meteorico studiato, il CN e il CNM migliori per simulare la trasformazione afflussi-deflussi del bacino idrografico del Temo a Reinamare. Si è riscontrato che i parametri CN e CNM non sono costanti. Per questi parametri si è definito un valore iniziale di riferimento dall'analisi geopedologica e di destinazione d'uso del suolo del bacino e successivamente un campo di variabilità degli stessi a seconda delle condizioni di umidità del terreno, della distribuzione della meteora e della intensità della precipitazione sia per il valore medio che per il valore massimo. Inoltre si è osservato che i CNM risultano sempre superiori ai CN con minor campo di variabilità in particolare nelle condizioni AMCI. L'uso della pendenza media dell'asta principale nella metodologia CNM permette di ricavare un Lag-Time che consente di simulare il picco della portata di piena con isocronismo superiore al metodo CN e quindi una migliore simulazione del fenomeno di piena.

Un certo interesse deriva dall'analisi statistica sul legame esistente fra CNM ed intensità di precipitazione, riscontrando la possibilità di stimare il CNM dai valori dell'intensità media e massima.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BISCHETTI G.B., GREPPI M. (1990): Modelli matematici e simulazione degli idrogrammi di piena, Convegno nazionale su "I piani di bacino per la difesa del suolo, la gestione delle acque e la tutela dell'ambiente", Taormina 1990.
- 2) BORSELLI L. (1989): Previsione dei deflussi superficiali su versante: il metodo S.C.S. Curve Number e sua applicazione nell'ambiente collinare italiano, Quaderni di Scienza del Suolo, Vol. II, pp. 145-160.
- 3) BRANDIS P., DETTORI B., PASSINO A.M. (1975): Studio geoidrologico della Sardegna settentrionale, Memoria n°6. Il bacino idrografico del Fiume Temo, Studi Sassaesi, Sez. III, Vol. XXIII.
- 4) CA' ZORZI F. (1983): Indagine sul metodo dell'idrogramma unitario del S.C.S., Quaderni di Idronomia Montana, 3, pp. 45-66.
- 5) CHOW, MAIDMENT, MAYS (1988): Applied Hydrology, Mc Graw Hill, New York.
- 6) COULON C. (1977): Le volcanism calco-alkaline cenozoique de Sardaigne (Italie): pétrographie, géochimie et gèneses des laves andésitiques et des ignimbrites, Thèse Univ. Marseille.
- 7) DE VITO L. (1975): Valutazione della portata di piena a bassa frequenza probabile di corsi d'acqua abruzzesi con il metodo dell'idrogramma unitario, L'Energia Elettrica, No. 12, pp. 662-682.
- 8) FASSO' C. (1988): Sistemazione collinare e regimazione del ciclo idrologico, Agricoltura, n. 183/184, pp. 11-30.
- 9) HIELMFELT A.T. (1991): Investigation of Curve Number Procedure, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, n. 3, pp. 725-737.
- 10) LINSLEY, KOLHER, PAULHUS (1988): Hydrology for Engineers. Mc Graw Hill N.Y.
- 10) MARINI A., ZANDONELLA A., ZILIOLI E. (1982): Le forme d'erosione circolari nei basalti pliocenici di Bosa, Atti del IV Congresso S.I.Te., Frascati.
- 11) NASH J.E. (1960): A unit hydrograph study, with particular reference to British catchments, Proc. Inst. Civil Engr., Vol.17, pp. 249-282.
- 12) PECORINI G. (1967): Sulla morfologia di alcune manifestazioni vulcaniche "oligoceniche" nel Logudoro, Atti XX Congresso Geogr. Ital., Roma.
- 13) PICCOLO, VITALE (1983): Metodi statistici per l'analisi economica. Il Mulino
- 13) PIETRACAPRINA A. (1981): Studio della idrologia superficiale della Sardegna, Progetto speciale n. 25, Cassa per il Mezzogiorno.
- 14) PILGRIM P.H. (1977): Isochrones of travel time and distribution of flood storage from a tracer study on a small watersheds, Water Resources Research, Vol. 13, n. 6, pp. 1435-1444.
- 15) VAN MULLEM J.A. (1991): Runoff and Peak Discharges Using Green-Ampt Infiltration Model, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, n. 3, pp. 354-370.
- 16) ZEVENBERGER et al. (1987): Rangeland runoff curve number as determined from Landsat MSS data, Journal of Remote Sensing, 1988, vol. 9, n. 3, 495-502
- 17) YEVJEVICH (1972): Probability and Statistics in Hydrology, WRP Fort Collins, Colorado.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare il Servizio Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna per i dati cortesemente messi a disposizione ed in particolare il Geom. Marco Deiana.

Lavoro pervenuto in redazione il 10-7-1991.

Gli estratti possono essere richiesti a: Prof. Bruno Dettori, Istituto di Geopedologia - Università di Sassari - Via E. De Nicola - 07100 Sassari - Italy - Tel. 079/229262.