

Università degli studi di Udine

federico cazorzi

HyGrid2k2

guida di riferimento

udine - novembre 2002

HYDROLOGICAL GRID 2002	3
Generalità	3
Il formato dei dati	3
La georeferenziazione	4
Caratteristiche comuni ai programmi	5
Nomi dei file	5
Parametri.....	5
Opzioni.....	5
Pulsanti.....	5
Esecuzione batch	6
GRID OVERLAY	7
FREQUENCY DISTRIBUTION	8
DEM	10
PIT REMOVER.....	13
UPSLOPE AREA	15
AREA HYDRO NET	18
SLOPE AREA HYDRO NET	20
WATERSHED	21
ROUTING TIME.....	22
CURVE NUMBER.....	24
CLEM - Cinematic Local Excess Model	27
Definizione della precipitazione di input.....	27
Il metodo del Soil Conservation Service.....	29
Calcolo della pioggia efficace.....	33
Propagazione del deflusso “diretto”.....	34
Il deflusso di base.....	34
Schema sintetico di funzionamento	34
Il formato dei file di input ed output.....	35
L’output grafico.....	36

Hydrological Grid 2002

Generalità

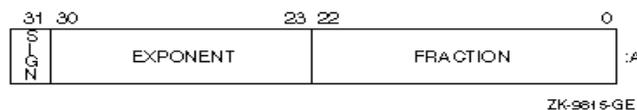
HyGrid2k2 è un gruppo di programmi per l'elaborazione di dati spaziali georeferenziati in formato GRID. Il software è stato progettato per operare in appoggio ad un software GIS di tipo commerciale, integrando una serie di funzioni di natura idrologica normalmente non disponibili. Particolarmente semplice risulta lo scambio di dati con ArcView Gis 3.x (Esri) dato che il formato adottato per i dati coincide con il formato di importazione ed esportazione delle grid in ArcView. Il software può fare un impiego limitato anche di informazione vettoriale (isoipse, reticolo idrografico) gestita esclusivamente in forma di polilinee secondo il modello topologico "a spaghetti". Non sono presenti, nè al momento sono previste, routine di visualizzazione ed editing dei dati nè meccanismi di gestione di database, funzioni demandate al software GIS di riferimento.

Hygrid2k2 è costituito da singoli programmi indipendenti che girano in ambiente Windows (da 9x a XP) e non necessitano di installazione. Ciascun programma è dotato di una propria maschera per l'input dei dati e dei parametri ma può essere eseguito in batch in una finestra di comando (dos).

Il formato dei dati

Ciascuna **grid** è costituita da una matrice rettangolare di numeri reali binari ordinati per righe. Il primo valore rappresenta il pixel del vertice Nord-Ovest. Il secondo valore rappresenta il pixel immediatamente a destra del vertice NO. L'ultimo valore rappresenta il pixel del vertice SE. In questo contesto i termini "pixel" e "cella" sono da considerare equivalenti come anche i termini "grid" e "raster".

I numeri reali vengono immagazzinati in 4 byte nello standard "little endian" fissato dalla IEEE per la notazione binaria. Ciascun dato occupa 4 byte contigui i cui bit sono assegnati da destra, da 0 a 31, secondo lo schema:



Il valore assoluto ammesso per un numero binario si estende da circa 1.17549435E-38 (normalizzato) a 3.40282347E38. La precisione è approssimativamente di una parte su 2^{23} , tipicamente corrispondente a 7 cifre decimali.

La dimensione di una grid binaria in byte è pari a: [4] x [numero di righe] x [numero di colonne]. Il nome del file grid binario è vincolato solo alla struttura dei nomi ammessa dal file system del sistema operativo. E' suggerita l'estensione [.grid].

Sulla base del contenuto si distinguono:

- grid morfometrica – è costituita da numeri che hanno un significato assoluto quali: quota, pendenza, esposizione del pixel;
- grid tematica – è costituita da numeri che in realtà sono codici assegnati arbitrariamente per classificare un certo tematismo. In questo caso è necessario tenere a parte nota della relazione tra codici e relative classi.

Le informazioni necessarie alla georeferenziazione sono contenute in uno **header file** che

ha normalmente lo stesso nome della grid con estensione suggerita [.hdr]. Lo header file è un file di testo (ASCII) costituito da otto righe:

ncols	4073	numero di colonne
nrows	3405	numero di righe
xllcorner	1609440.0	coordinata X del vertice Sud Ovest (lower left easting)
yllcorner	5056840.0	coordinata Y del vertice Sud Ovest (lower left northing)
cellsize	30.0	dimensioni del pixel
nodata_value	-9999.00	valore attribuito ai pixel esterni
byteorder	LSBFIRST	riportato solo per compatibilità con ArcView
undef_value	-8888.00	pixel con pendenza ed esposizione indefinite

L'ordine delle righe è indifferente dato che sono identificate dalla parola chiave iniziale, che può essere scritta indifferentemente in carattere maiuscolo o minuscolo ma deve essere ortograficamente corretta. Ciascuna delle ultime tre chiavi (nodata, undef, byteorder) può essere omessa. In tal caso il suo valore viene fissato di default pari a quello illustrato in tabella. Ogni volta che il software genera una grid genera anche il corrispondente header file.

I **file vettoriali** sono file di testo, cui viene di norma assegnata l'estensione [.vec], che contengono le coordinate dei vertici delle polilinee rappresentate. Ciascuna polilinea inizia con un record di intestazione che ha in prima colonna il carattere [;] ed è completato da un identificatore costituito da un numero reale di 11 caratteri (f11.x). In realtà la presenza di un qualsiasi carattere in prima colonna identifica il record come intestazione. I record successivi contengono le coordinate x e y (tutte in metri) dei vertici in due campi di 12 caratteri (formato 2F12.x), con l'attenzione di lasciare bianco il primo carattere per non confondere il vertice con un'intestazione di polilinea. Nel caso di isoipse l'identificatore di polilinea è costituito dalla quota della polilinea in metri. Negli altri casi è un identificatore numerico arbitrario. Di seguito si riporta un breve esempio di formato vettoriale.

```

;      1760
276979.98  5148428.25
276982.12  5148432.17
276984.31  5148437.09
276989.34  5148437.91
;      1770.0
276958.87  5148453.03
276971.94  5148454.55
276976.93  5148454.36

```

La georeferenziazione

La **georeferenziazione** è arbitraria, vincolata ad un sistema di assi cartesiani ortogonali con pixel quadrati di dimensione costante. L'unità di misura lineare è arbitraria ma univoca, tuttavia nell'intestazione di alcune tabelle di output e nel calcolo delle superfici si fa riferimento al metro, che diventa quindi l'unità di misura raccomandata.

Operare in unità arbitrarie ha poco senso in termini geomatici quindi il sistema di coordinate locali dovrebbe sempre essere vincolato ad un sistema standardizzato. Su base geografica si possono adottare esclusivamente sistemi di coordinate metriche rettangolari. In termini generali si suggerisce l'impiego della rappresentazione conforme di Gauss (detta anche rappresentazione di Mercatore traversa) con uso di reticolati sia geodetici (UTM-ED50, Gauss-Boaga, Gauss-Kruger, ecc.) sia ellissoidici (UTM-WGS84). La scelta del reticolato, e del fuso di riferimento, va effettuata sulla base delle caratteristiche della

cartografia disponibile e delle finalità del progetto.

Caratteristiche comuni ai programmi

Ciascun programma è dotato di una propria maschera per l'input dei parametri di attivazione, ciascuna maschera riporta tipologie di risorse standard.

Nomi dei file

Per assegnare i nomi dei file è necessario cliccare il pulsante a sinistra del campo "nome", attivando così una classica finestra di richiesta di selezione di file. In ambiente NT, 2000 o XP tale finestra si apre di default sull'ultima cartella in cui il programma (lo specifico modulo) è stato utilizzato. Se la cartella non esiste si apre in "Documenti". Utilizzando i comandi standard di windows è possibile navigare tra le cartelle (browsing) per trovare quella desiderata. I nomi dei file vengono sempre memorizzati con un percorso completo (path) a partire dalla radice primaria (es. c:\progetti\bacini\piave\dem.grd). Attenzione! non viene mai segnalata la sovrascrittura dei file esistenti. Tale scelta è stata effettuata per non appesantire le operazioni nel caso, frequente, in cui si ripeta più volte, in tentativi successivi, l'esecuzione di un programma. L'operazione di scrivere direttamente il nome del file nel campo "nome" non sortisce effetto alcuno dato che in tal caso il nome non viene memorizzato. In alcuni casi (es. file .log) il programma assegna un nome di default che può, tuttavia, essere modificato con l'apposito pulsante.

Parametri

I valori dei parametri vengono scritti direttamente nel relativo campo bianco. In taluni casi il programma assegna valori di default che possono, tuttavia, essere modificati.

Opzioni

La scelta delle varie opzioni si opera selezionando il cerchietto (radio button) corrispondente all'opzione scelta.

Pulsanti

Cinque pulsanti controllano l'avvio dell'esecuzione.

Execute. Al completamento delle scelte si preme il pulsante "Execute". Il programma chiede di assegnare un nome (e relativo percorso) al file che registra tutti i comandi. Normalmente il nome è "command.xxx" dove xxx rappresenta l'estensione che viene assegnata direttamente dal programma ed è diversa per ciascun modulo. Se manca qualche dato esiziale (in particolare nomi di file) il programma ne dà informazione e riporta alla maschera di input. Dopo aver registrato i comandi il programma avvia l'elaborazione aprendo una finestra in cui vengono trascritti, con sole finalità di controllo, i dati presi dallo header file ed una serie di dati rilevati durante l'esecuzione. In alcuni casi si riporta la percentuale di avanzamento dell'esecuzione. In tutti i casi l'esecuzione si conclude con un messaggio che riporta anche la durata della stessa. E' necessario infine chiudere manualmente la finestra.

Info. Il pulsante "Info" attiva una finestra che illustra, in modo sommario, la funzionalità del software. Il pulsante è allo stato attuale praticamente inutile ed è stato inserito nell'ipotesi di attivare, in una prossima versione di HyGrid2k2, una vera funzione di Help on line.

Load. Con il pulsante "Load" si attiva una finestra con la richiesta del nome di un file comandi già precedentemente registrato. Nel caso di successive esecuzioni dello stesso modulo è possibile utilizzare un file comandi esistente per evitare di dover ricostruire tutto il set di dati di input. Il pulsante "Load" richiama i dati precedentemente usati. Quindi si

procede ad apportare le modifiche necessarie e con “Execute”, si salvano i dati con un nuovo nome di file o con lo stesso nome (sovrascrittura). Non vi è limite al numero di file comandi diversi che possono essere memorizzati

Save. Con “Save” è possibile salvare i dati di input in un file comandi senza avviare l'esecuzione.

Cancel. La pressione di “Cancel” interrompe completamente l'esecuzione senza salvare nulla (che non sia già stato salvato in precedenza).

Esecuzione batch

I programmi possono essere avviati anche in modalità “Batch” da una finestra “DOS Command”. In tal caso si digita <nome programma><spazio><nome file comandi> al prompt. Ad esempio:

```
c:\progetti\bacini\piave>dem command.dem
```

Sia il nome del programma sia il nome del file comandi possono essere completati da un percorso secondo le regole di MS-DOS. Ad esempio:

```
c:\progetti\bacini\piave>c:\hg2k2\dem ..\comandi\command.dem
```

Al termine dell'esecuzione batch del programma la relativa finestra viene chiusa automaticamente.

I file comandi sono normali file di testo e possono essere modificati con qualsiasi editor ma è fondamentale rispettare la corretta sequenza dei record ed il formato dei diversi campi. Normalmente i primi trenta caratteri di ciascun record sono considerati un commento, non sono utilizzati dai programmi e contengono un riferimento al significato del record. I campi alfanumerici, nomi di file e codici di controllo, vanno preferibilmente appoggiati a sinistra, a partire quindi dalla colonna 31. I campi numerici sono normalmente ampi 10 caratteri (col. 31-40). Nei campi logici, di ampiezza 10 caratteri, vale la prima presenza, a partire da sinistra, della lettera F (falso) o T (true-vero) anche se minuscole.

Nell'eventualità si desiderasse utilizzare i programmi in modalità batch si consiglia di procedere modificando la copia di un file esistente, ad esempio creato avviando un'esecuzione normale e salvando un file comandi (pulsante Save).

Nelle esecuzioni in batch i nomi dei file possono essere riportati senza il percorso (path) o con percorso parziale (relativo). In tal caso si il riferimento assoluto per la posizione dei file è la cartella da cui viene avviata l'esecuzione.

GRID OVERLAY*Descrizione funzionale*

Genera una grid mediante sovrapposizione logica di due grid esistenti.

Descrizione analitica

Il programma genera una carta tematica di sintesi, in formato grid, mediante classificazione combinata di due grid date in input. Per ciascuna combinazione di valori prevista nella tabella di input viene assegnato il corrispondente valore razionale di output. Ai pixel che non corrispondono ad alcuna delle combinazioni previste viene assegnato il valore corrispondente al codice "esterno" [nodata_value]. Il programma genera anche un file di testo, con estensione [.log], che riporta una sintesi delle caratteristiche della grid prodotta. Per ogni valore assegnato si riportano il numero di pixel (frequenza) e l'area in km². La riga finale riporta il valore medio (informazione normalmente priva di significato), il numero totale di pixel e l'area totale.

class	frequency	area(km2)
1.000000	152	0.015200
2.000000	6233	0.623300
3.000000	14268	1.426800
4.000000	180	0.018000
5.000000	30171	3.017100
4.058446	51004	5.100400

Sezione di Input

Format Header File	
Input Grid File #1	Primo file grid da utilizzare nella sovrapposizione.
Input Grid File #2	Secondo file grid da utilizzare nella sovrapposizione.

Sezione di Output

Output Grid File	Nome da assegnare alla grid di output. Con lo stesso nome viene generato il file [.log].
Sezione ripetuta per un massimo di sedici categorie	
Value to Assign	Valore del da assegnare ai pixel che presentano la combinazione di valori descritta nella riga.
Grid #1 - From Value	Valore inferiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria nella prima grid. Valore compreso.
Grid #1 - To Value	Valore superiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria nella prima grid. Valore escluso.
Grid #2 - From Value	Valore inferiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria nella seconda grid. Valore compreso.
Grid #2 - To Value	Valore superiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria nella seconda grid. Valore escluso.

FREQUENCY DISTRIBUTION*Descrizione funzionale*

Calcola la distribuzione di frequenza dei valori di una grid.

Descrizione analitica

Il programma esegue una semplice analisi statistica del contenuto di una grid, riportandone i risultati sia su un file di testo sia in forma grafica mediante un istogramma. Viene definita una classificazione sulla base di un valore minimo ed un valore massimo del file grid. La classificazione può essere integrata da un filtro costituito da una seconda grid, ad esempio si possono classificare i pixel con quota compresa tra 1500 e 2000 m s.m. che ricadono nell'uso del suolo a Bosco. In questo caso la grid da classificare è quella della quota mentre la grid dell'uso del suolo costituisce il filtro. Il concetto può essere affinato. Volendo classificare, ad esempio, i pixel con quota compresa tra 1500 e 2000 m s.m. e pendenza compresa tra il 50% ed il 100% vi sono due possibilità:

1. classificazione in classi di quota – la grid filtro è la pendenza;
2. classificazione in classi di pendenza – la grid filtro è la quota.

I valori dei pixel della grid che rientrano nella classificazione vengono accorpati in classi di ampiezza uniforme e per ciascuna classe si riportano nel file:

- MinVal – valore minimo dell'intervallo che la classe comprende. Valore compreso;
- MaxVal – valore massimo dell'intervallo che la classe comprende. Valore escluso;
- Frequency – numero di pixel della classe;
- Area – superficie complessiva in km²;
- Sum – sommatoria dei valori di tutti i pixel della classe;
- Mean – media dei valori di tutti i pixel della classe;
- Min – valore minimo reale di tutti i pixel della classe;
- Max – valore massimo reale di tutti i pixel della classe;

L'ultima riga ha lo stesso contenuto delle precedenti ma è riferita all'intera grid.

MinVal	MaxVal	Frequency	Area(km2)	Sum	Mean	Min	Max
1750.000	1800.000	234	0.023400	417872.0	1785.778	1764.018	1799.872
1800.000	1850.000	910	0.091000	1662865.	1827.325	1800.050	1849.947
1850.000	1900.000	1405	0.140500	2637074.	1876.921	1850.002	1899.988
1900.000	1950.000	2317	0.231700	4466008.	1927.496	1900.081	1949.990
1950.000	2000.000	2611	0.261100	5156668.	1974.978	1950.017	1999.983
2000.000	2050.000	2763	0.276300	5593630.	2024.477	2000.013	2049.994
2050.000	2100.000	2349	0.234900	4874626.	2075.192	2050.006	2099.992
2100.000	2150.000	4235	0.423500	9018175.	2129.439	2100.006	2149.999
2150.000	2200.000	6408	0.640800	1.394E+08	2175.910	2150.001	2199.994
2200.000	2250.000	8771	0.877100	1.951E+08	2224.079	2200.009	2250.000
2250.000	2300.000	7106	0.710600	1.616E+08	2274.230	2250.002	2299.989
2300.000	2350.000	3779	0.377900	8777327.	2322.659	2300.001	2349.998
2350.000	2400.000	2548	0.254800	6051227.	2374.893	2350.030	2399.954
2400.000	2450.000	1698	0.169800	4113178.	2422.366	2400.004	2449.990
2450.000	2500.000	1990	0.199000	4925490.	2475.121	2450.013	2499.984
2500.000	2550.000	1348	0.134800	3397684.	2520.537	2500.023	2549.649
2550.000	2600.000	325	0.032500	835402.8	2570.470	2550.157	2599.477
2600.000	2650.000	185	0.018500	485296.3	2623.223	2600.015	2649.815
2650.000	2700.000	22	0.002200	58591.50	2663.250	2650.229	2698.082
		51004	5.1004000	1.121E+09	2197.522	1764.018	2698.082

Tutti i numeri razionali vengono scritti con un formato ed un numero di decimali variabili, tali comunque da garantire l'adeguamento del numero ad un'ampiezza di dieci caratteri. Se il numero è maggiore di 10^7 , cosa che avviene in alcuni casi in particolare per il campo somma, non sarà possibile conoscere il numero esatto dato che verrà scritto in formato scientifico con una mantissa di soli quattro caratteri. Nel caso fosse necessario è comunque possibile ridurre l'ampiezza delle classi al fine di ottenere maggiore precisione.

Si è fissato un numero massimo di 100 classi. Se il rapporto tra l'intervallo numerico e l'ampiezza di una classe è maggiore di 100 l'intervallo e l'ampiezza vengono reimpostati in modo da ottenere 25 classi.

Sezione di Input

Format Header File	
Input Grid File	File grid da analizzare.
Class Name	Commento opzionale. Il nome della classificazione viene riportato sul grafico.
Minimum Value	Valore minimo dell'intervallo di valori da classificare. Valore compreso.
Maximum Value	Valore massimo dell'intervallo di valori da classificare. Valore escluso.
Class Dimension	Ampiezza di una classe nella suddivisione dell'intervallo per l'analisi di frequenza. Il numero di classi è dato dal rapporto tra l'ampiezza dell'intervallo e l'ampiezza di una classe.
Percent	Se è selezionato con segno di spuntatura la scala delle ordinate nel grafico viene riportata in percentuale.
Autoscale	Con la pressione del pulsante autoscale si provoca una rapida lettura della grid di input al fine di determinare automaticamente i valori minimo e massimo dell'intervallo e l'ampiezza di una classe. E' possibile modificare successivamente i valori trovati.
Optional Filter Grid File	Opzionale. File grid da utilizzare come filtro per affinare la classificazione.
Minimum Value	Valore minimo dell'intervallo di valori da utilizzare come filtro. Valore compreso.
Maximum Value	Valore massimo dell'intervallo di valori da utilizzare come filtro. Valore escluso.

Sezione di Output

Output Text File	Nome da assegnare al file di testo di output
------------------	--

DEM**Descrizione funzionale**

Esegue la conversione da vector a raster di carte morfometriche. A partire dai punti quotati sulle isoipse (x, y, z) interpola le grid relative a quota, pendenza ed esposizione.

Descrizione analitica

Il programma calcola, per ciascuna cella della griglia, il piano di regressione [$z = ax + by + c$] dei punti quotati nell'intorno della cella, con il metodo dei minimi quadrati. L'insieme dei punti utilizzati per la regressione (al massimo 1000 punti) deve rispondere a due requisiti:

1. il numero di punti deve essere almeno pari al valore del parametro [Smoothing Factor];
2. i punti non possono avere tutti uguale quota;

Per primi vengono selezionati i punti che ricadono all'interno del pixel in esame. Se le condizioni non sono rispettate il campo di ricerca viene allargato ad un kernel 3x3 (nove pixel centrati su quello da definire) poi eventualmente ad un kernel 5x5, e così via. Quando i requisiti 1 e 2 siano soddisfatti viene operata la regressione di tutti i punti che ricadono nel kernel finale. La quota della cella, in metri, è quella del piano così ottenuto in corrispondenza dell'asse verticale della cella stessa. La pendenza è data dalla somma vettoriale delle pendenze del piano lungo gli assi X e Y, espressa in percentuale. L'esposizione, in gradi sessagesimali viene ottenuta dalla polarizzazione del versore della pendenza.

Se nel corso del processo di allargamento del kernel si superano i 1000 punti utili il processo viene arrestato e alla cella viene assegnata la quota del punto più vicino al centro della stessa, mentre pendenza ed esposizione rimangono indefinite ([undef_value]).

Aumentando il valore del parametro [Smoothing Factor] celle contigue vengono elaborate con un elevato numero di punti in comune. Ne consegue una minore variabilità spaziale della morfometria che in taluni casi può portare ad una rappresentazione più gradevole, sia pure meno realistica, soprattutto per quanto riguarda l'esposizione e la pendenza.

A tutte le celle che risultano esterne al bacino viene assegnato il valore [nodata_value].

Modalità operative

Sono previste due distinte modalità operative attivabili mediante due pulsanti alternativamente attivi:

Define a New Project

[progetto nuovo] crea un nuovo progetto con i tre file morfometrici

Use an Existing Mask File

[progetto esistente] utilizza una grid esistente per definire i limiti e la georeferenziazione dell'area di interesse

Sezione di Input

Format Header File

Solo in modalità [progetto esistente]

Elevation Vector File	Nome del file vettoriale con le coordinate dei vertici delle isoipse e/o dei punti quotati.
Watershed Mask Grid File	Solo in modalità [progetto esistente] . Nome di una grid utilizzata per definire la forma e l'estensione della superficie da elaborare (bacino idrografico). Qualsiasi cella con valore diverso da <code>[nodata_value]</code> viene considerata appartenente all'area valida.

Sezione di Output

Elevation Grid File (DEM)	Nome da assegnare alla grid dell'altimetria (.grd)
Slope Grid File	Nome da assegnare alla grid della pendenza (.grd)
Aspect Grid File	Nome da assegnare alla grid dell'esposizione (.grd)
Smoothing Factor	Fattore di "smussatezza" del modello altimetrico calcolato. Un basso valore di <code>[Smoothing Factor]</code> produce grid morfometriche "spigolose" con possibilità di repentine variazioni delle tre grandezze anche tra celle contigue. Al contrario un valore elevato produce grid "dolci", senza brusche variazioni. I valori ammessi vanno da 3 a 500. Il valore di default è 10 che risulta adatto alla maggior parte dei casi. L'effetto del parametro varia, di fatto, in funzione del rapporto tra la densità locale dei punti quotati e la dimensione del pixel. Default: 10
Meridian Convergence	La "convergenza del meridiano" è l'angolo medio che l'asse verticale (Y) del sistema di riferimento adottato forma con il relativo meridiano nella zona del bacino. Tale valore, utilizzato per definire con maggiore precisione l'esposizione delle celle, nel caso di coordinate UTM a latitudini medie (45°) varia da -2.2 a +2.2 gradi circa e in tal caso, data la modesta correzione, la sua eventuale omissione non pregiudica la validità del risultato. La convergenza viene sottratta al valore di esposizione riferito all'asse verticale quindi sarà positiva quando il sistema di coordinate metriche è ruotato in senso antiorario rispetto al sistema geografico. Default: 0.0 gradi

Parametri del progetto – solo per modalità [\[progetto nuovo\]](#)

LowerLeftCorner Easting	Coordinata X del vertice Sud-Ovest
LowerLeftCorner Northing	Coordinata Y del vertice Sud-Ovest
Number of Columns	Numero di colonne
Number of Rows	Numero di righe
Pixel Size	Dimensione del lato del pixel quadrato, normalmente in m. Default: 10.0 m
Maximum search kernel	Raggio massimo, in pixel, della finestra quadrata (kernel) per la ricerca dei punti quotati. Un pixel viene definito con <code>[nodata_value]</code> se intorno ad esso non vi sono punti quotati all'interno del kernel massimo. Default: 20.0 pixel

HyGrid2k2 – Reference Guide

Value of external pixels	[nodata_value] qualsiasi numero reale valido per identificare i pixel che non appartengono al bacino. Deve essere un valore non confondibile con valori validi Default: -9999.00
Value of undefined pixels	[undef_value] qualsiasi numero reale valido per identificare i pixel cui non è stato possibile assegnare pendenza ed esposizione (aree piatte). E' impiegato molto raramente. Deve essere un valore non confondibile con valori validi Default: -8888.00

PIT REMOVER*Descrizione funzionale*

Elimina le depressioni locali dal modello grid dell'altimetria.

Descrizione analitica

La mappa grid delle elevazioni può contenere pixel la cui quota è inferiore alla quota di tutti gli otto pixel circostanti. Tale depressione locale viene definita con il termine "pit" (buca) e può essere reale (è il caso ad esempio di un lago o di doline in zona carsica) oppure derivare sia dalla approssimazione indotta dal metodo statistico di regressione delle superfici (vedi "DEM") ad esempio nel caso di valli molto strette, sia da errori commessi in fase di restituzione numerica delle isoipse e dei punti quotati. La presenza di un certo numero di pit non inficia, di norma, la validità del modello altimetrico ma in certe applicazioni si rileva esiziale. È ad esempio il caso della definizione dei percorsi idrologici ("Upslope Area") nei bacini idrografici: qualora il percorso cadesse in una depressione non avrebbe più modo di uscire.

Il programma produce una grid delle elevazioni in cui tutte le depressioni sono state rimosse mediante escavazione di un canale d'uscita.

Nel caso in cui vengano omesse le coordinate grid della sezione di chiusura il programma considera qualsiasi pixel adiacente ad un pixel esterno [nodata_value] come possibile sezione di chiusura, ovvero come pixel di quota minima di un gruppo. Tale modalità risulta indispensabile quando si parta da un DEM che copre una superficie arbitraria, non definita da uno spartiacque idrografico. Il successivo impiego di "UpslopeArea" e di "Watershed" consentirà di definire automaticamente i limiti del bacino sotteso da una definita sezione di chiusura.

Quando i limiti del DEM dato in input coincidono con lo spartiacque idrografico è preferibile assegnare le coordinate grid della sezione di chiusura. In tal caso il programma elimina tutte le depressioni del bacino considerando la sola sezione di chiusura assegnata che deve essere la cella di quota minima dell'intero DEM.

Il programma registra le operazioni effettuate in un file di testo <pitremover.log>. Per ciascuna depressione (pit) rilevata si riportano:

- numero sequenziale del pit, quota iniziale, colonna, riga, numero di pixel adiacenti esterni al bacino, iterazione;
- quota modificata, leggermente inferiore a quella più bassa delle otto circostanti;
- quota e coordinate del "solver", il pixel più vicino a quota inferiore;
- quota e coordinate dei pixel "scavati": canale d'uscita fino al "solver".

	no.	elev	col	row	ext	iter
pit	44	2190.161	182	224	0	1
elevation		2190.407				
solver		2190.276	178	220		
channel		2190.291	179	220		
channel		2190.306	180	220		
channel		2190.320	181	220		
channel		2190.335	180	221		
channel		2190.350	181	221		
channel		2190.364	180	222		
channel		2190.379	180	223		
channel		2190.394	181	223		

Eccezionalmente si verificano situazioni in cui il programma non riesce a risolvere una depressione. In tal caso viene segnalato un messaggio di errore e viene prodotto anche un file di testo supplementare <pitremover.ker> che riporta i valori di quota dei pixel circostanti il pit in una finestra 7x7. Esempi di casi insolubili sono:

- non esiste un solver entro una cornice di 500 pixel di raggio;
- la quota del pit è inferiore a quella della sezione di chiusura assegnata;

Non esiste una soluzione semplice ed algoritmica al problema dei pit non risolvibili. La sola possibilità è data da un intervento manuale sul DEM originale volto a modificare la quota della depressione e/o dei pixel ad essa vicini. Se il DEM è stato prodotto con il modulo “Dem” da dati vettoriali può risultare conveniente intervenire sui dati vettoriali, magari aggiungendo qualche tratto di isoipsa intermedia nella zona della depressione, e quindi produrre una nuova versione del DEM.

Sezione di Input

Format Header File	
Elevation Grid File (DEM)	Nome del file grid delle quote (Digital Elevation Model) da cui rimuovere le depressioni.

Sezione di Output

Unpitted DEM grid file	Nome da assegnare alla grid dell’altimetria con le depressioni rimosse
Pits Map Grid File	Opzionale. Nome da assegnare all’eventuale grid con la posizione delle depressioni rimosse. Nel caso il campo sia lasciato in bianco il file mappa non viene prodotto.
Outlet Column	Opzionale. Posizione della sezione di chiusura in coordinate grid: numero della colonna a partire da sinistra (da 1 a [no _columns])
Outlet Row	Opzionale. Posizione della sezione di chiusura in coordinate grid: numero della riga a partire dal basso (da 1 a [no _rows])

UPSLOPE AREA

Descrizione funzionale

Individua la superficie drenata a monte di ogni pixel.

Descrizione analitica

Sulla base della sola mappa delle elevazioni (DEM) priva di depressioni è possibile ricavare i percorsi del deflusso superficiale che collegano ciascun pixel della grid alla sezione di chiusura. L'insieme dei percorsi può essere interpretato, mediante opportuna filtratura con i moduli "AreaHydroNet" o "SlopeAreaHydroNet", come un reticolo idrografico di sintesi. E' possibile scegliere uno di quattro distinti modelli che simulano il comportamento del deflusso superficiale nella scelta della direzione del proprio percorso.

D8 Classic: è l'algoritmo tradizionale di calcolo. Viene calcolato il gradiente di quota (pendenza) verso gli otto pixel circostanti sulla base della differenza di quota e della distanza tra i centri dei pixel ($[cellsize]$ per le direzioni cardinali e $\sqrt{2} \times [cellsize]$ per le direzioni diagonali). Si suppone quindi che il deflusso scelga la direzione della massima pendenza. Il file azimuth, se richiesto, riporta l'angolo di direzione del deflusso da ciascun pixel. L'angolo è vincolato ai multipli di 45° , in senso antiorario con origine in direzione Est (semiasse orizzontale destro).

Multiple Flow: calcolati i gradienti (come in "D8 Classic") il deflusso teorico viene suddiviso tra tutti i percorsi possibili (quelli con gradiente negativo) con percentuali diverse date da un fattore di pesatura ricavato dai gradienti stessi. La quantità più elevata di deflusso viene assegnata alla pendenza massima, ecc. Questo modello (Quinn et al. 1991) genera mappe di reticolo più sfumate, apparentemente più realistiche, ma l'elevata dispersione del deflusso su percorsi multipli concorrenti non ne consente un uso generalizzato. Con il nome del file di azimuth viene prodotta, se richiesto, una grid del grado di dispersione intorno a ciascun pixel, dato dal numero di pixel adiacenti tra cui viene suddiviso il deflusso.

D infinite: modello proposto da Tarboton (1997) in cui il gradiente di quota viene calcolato su otto "facets" triangolari, di ampiezza 45° , ciascuna costituita da tre vertici di diversa quota. Due facets adiacenti condividono ovviamente il pixel centrale e un pixel del kernel. I tre vertici individuano univocamente un piano inclinato la cui pendenza ha una specifica direzione. Degli otto piani si sceglie quello con pendenza massima e la relativa direzione costituisce l'azimuth cercato. L'angolo è compreso tra 0 e 360° , in senso antiorario con origine a destra. Se l'angolo non coincide con una direzione cardinale o diagonale il deflusso viene suddiviso tra due pixel adiacenti secondo una proporzione dettata in rapporto all'azimuth. Anche questo modello comporta una certa dispersione del deflusso, sia pure minore di quella di "Multiple Flow", che non ne consente un uso generalizzato. Il file azimuth, se richiesto, riporta l'angolo di direzione del deflusso da ciascun pixel.

D8 Facets: costituisce una variante del modello "D8 Classic" in cui l'azimuth viene calcolato a "facets" con le stesse modalità di "D infinite" ma forzato ad assumere un valore multiplo di 45° . Il file azimuth, se richiesto, riporta l'angolo di direzione del deflusso da ciascun pixel. L'angolo è vincolato ai multipli di 45° , in senso antiorario con origine a destra.

Alla sezione di chiusura viene assegnato, nella grid dell'azimuth, un codice pari a -100. In tutti i modelli è possibile "guidare" la direzione del deflusso verso la topologia del reticolo idrografico standard, se disponibile, detto "blue lines". In tal caso il programma

costruisce una grid temporanea in cui ciascun pixel viene classificato se è attraversato da un tronco di rete. Al momento del calcolo dell'azimuth i pixel del kernel classificati vengono abbassati di una quota pari a [Bluelines Weight Factor]. In tal modo aumenta la probabilità che la pendenza massima vada proprio nella direzione di un pixel corrispondente al reticolo standard.

Nella grid dell'area drenata ("upslope area") i valori vanno da uno, per tutte i pixel "sorgente" che drenano solo se stessi, al numero totale di pixel del bacino per la sezione di chiusura. Nel caso di deflussi ripartiti (MF e Dinf.) il valore può essere razionale, negli altri casi è sempre intero.

La distanza idrografica è la lunghezza del percorso del deflusso superficiale da ciascun pixel alla sezione di chiusura. I valori, espressi in unità [cellsize], sono sempre razionali per la pari presenza di tratti cardianli e diagonali. Nel caso di deflussi ripartiti la lunghezza del percorso viene calcolata come media pesata tra le lunghezze dei percorsi possibili.

Direzione del deflusso (Azimuth)

135° - Nord Ovest	90° - Nord	45° - Nord Est
180° - Ovest		0° - Est
225° - Sud Ovest	270° - Sud	315° - Sud Est

Sezione di Input

Format Header File	
Elevation Grid File	Nome del file grid delle quote (Digital Elevation Model) privo di depressioni prodotto da "pit remover".
Bluelines Vector File	Opzionale. File vettoriale del reticolo idrografico standard.
Bluelines Weight Factor	Opzionale. Fattore di pesatura, espresso in metri. Valori più grandi forzano una maggiore aderenza del reticolo sintetico alle bluelines. Default: 100.00 m

Sezione di Output

Select an Algorithm	Selezione dell'algoritmo da utilizzare. Default: D8 Classic
Upslope Area Grid File	Nome da assegnare alla grid dell'area drenata a monte di ciascun pixel. L'area è espressa in numero di pixel.
Flow Direction Grid File	Opzionale. Nome da assegnare alla grid con la direzione del deflusso da ciascun pixel (azimuth). Nel caso il campo sia lasciato in bianco l'azimuth, comunque calcolato, non viene scritto su file. La misura è espressa in gradi sessagesimali misurati in verso antiorario dalla direzione Est.
Flow Distance Grid File	Opzionale. Nome da assegnare alla grid con la distanza idrografica di ciascun pixel dalla sezione di chiusura. La misura è espressa in metri. Da non richiedere se il raster è un rettangolo base o comunque se l'area presenta più sezioni di chiusura (tipicamente prodotte da PitRemover se non si è assegnata la sezione di chiusura).

AREA HYDRO NET*Descrizione funzionale*

Identifica il reticolo idrografico di sintesi mediante area di soglia.

Descrizione analitica

Il programma utilizza la grid dell'area drenata prodotta da "Upslope Area" per identificare il reticolo idrografico di sintesi sulla base di un valore di soglia [`Channel Threshold`]. Tutti i pixel con area drenata maggiore del valore di soglia vengono considerati appartenenti al reticolo. Tutti gli altri vengono classificati come versante. La suddivisione risulta importante quando si considerino i meccanismi di trasporto del deflusso superficiale. Infatti il deflusso sul versante (overland flow) ed il deflusso canalizzato (channel flow) hanno caratteristiche idrauliche ben diverse e velocità di riferimento che possono differire anche di due ordini di grandezza. Le modalità di calcolo consentono di utilizzare esclusivamente reticoli "single flow", senza dispersione di deflusso. Si possono utilizzare quindi le grid prodotte da "Upslope Area" con i modelli "D8 Classic" e "D8 Facets". Il modello "Multiple Flow" non è utilizzabile in quanto non produce una grid della direzione del deflusso (azimuth) mentre il modello "D infinite" può dare risultati imprevedibili dato che gli azimuth vengono comunque ridotti, in "Area Hydro Net" alle direzioni cardinali o alle diagonali (multipli di 45°). Altrettanto imprevedibili possono essere i risultati se, per errore, si utilizzassero grid dell'area drenata, dell'azimuth e della distanza prodotte con modelli diversi.

La grid del reticolo sintetico è una mappatura raster di un elemento che è, almeno concettualmente, vettoriale, prodotta al solo scopo di rendere in qualche misura confrontabile il reticolo di sintesi con il reticolo classico (blue lines) anche per verificarne l'attendibilità. Il reticolo di sintesi è sempre connesso.

La lunghezza idrografica del percorso sul versante è espressa in metri (più propriamente espressa nella medesima unità di misura in cui è espressa [`cellsize`]) e rappresenta la distanza, misurata lungo le linee di deflusso, tra un pixel ed il punto (idrograficamente) più vicino del reticolo idrografico. Vale zero per tutti i pixel classificati "reticolo".

La lunghezza del percorso in alveo rappresenta, per ciascun pixel, la distanza tra il relativo punto di accesso al reticolo (fine del percorso sul versante) e la sezione di chiusura. Il valore è uguale per tutti i pixel che accedono al reticolo idrografico nel medesimo punto.

La scelta di una appropriata area di soglia è una decisione che influisce significativamente sulla definizione del reticolo di sintesi. La formazione naturale del reticolo è determinata da un certo livello di concentrazione del deflusso superficiale, la cui entità è legata alla dimensione della superficie sottesa. Al di là di tali grandezze primarie il fenomeno è indubbiamente connesso anche ad altre variabili, tra le quali, ad esempio, la permeabilità dei suoli e dei litotipi, le caratteristiche dell'uso del suolo o la presenza di peculiarità morfologiche locali. "Area Hydro Net" considera esclusivamente la dimensione della superficie sottesa, di conseguenza il reticolo di sintesi può differire significativamente da quello "naturale" e la sua espansione è in ogni caso uniforme sull'intero bacino. In letteratura si riscontrano numerosi approcci numerici e statistici atti ad oggettivizzare la scelta dell'area di soglia, tuttavia si ritiene che anche una semplice comparazione visuale tra i due reticoli possa condurre ad una scelta ragionevole del valore del parametro

Per convenienza il programma produce anche un file di testo con l'elenco delle coordinate raster (colonna e riga) dei nodi del reticolo, confluenze dei vari tronchi, associate all'ordine idrografico massimo dei tronchi sottesi al nodo, secondo la classificazione di Strahler.

Sezione di Input

Format Header File	
Upslope Area Grid File	File grid dell'area drenata a monte di ciascun pixel. Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8". L'area è espressa in numero di pixel.
Flow Direction Grid File	File grid della direzione del deflusso da ciascun pixel (azimuth). Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8".
Flow Distance Grid File	File grid della distanza idrografica di ciascun pixel dalla sezione di chiusura. Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8". La misura è espressa in metri.

Sezione di Output

Synth. Network Grid File	Nome da assegnare alla grid che riproduce il reticolo idrografico di sintesi.
Overland Distance Grid File	Nome da assegnare alla grid della lunghezza del percorso sul versante. Tale lunghezza vale zero per le celle classificate "reticolo". La misura è espressa in metri.
Channel Distance Grid File	Nome da assegnare alla grid della lunghezza del percorso in alveo. La misura è espressa in metri.
Knots List Text File	Nome da assegnare al file di testo che riporta l'elenco della coordinate grid dei nodi idrografici (confluenze) e l'ordine idrografico secondo Strahler del tronco sotteso.
Channel Threshold	Valore di soglia dell'area drenata, in numero di pixel. Pixel con area drenata maggiore o uguale al valore di soglia vengono classificati "reticolo". Default: 40 pixel

SLOPE AREA HYDRO NET*Descrizione funzionale*

Identifica il reticolo idrografico di sintesi.

Descrizione analitica

Il programma utilizza la grid dell'area drenata prodotta da "Upslope Area" per identificare il reticolo idrografico di sintesi.

Sezione di Input

Format Header File	
DEM (nopits) Grid File	Nome del file grid delle quote (Digital Elevation Model) privo di depressioni prodotto da "pit remover".
Upslope Area Grid File	File grid dell'area drenata a monte di ciascun pixel. Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8". L'area è espressa in numero di pixel.
Flow Direction Grid File	File grid della direzione del deflusso da ciascun pixel (azimuth). Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8".

Sezione di Output

Slope-Area Index Grid File	Nome da assegnare alla grid che riproduce il reticolo idrografico di sintesi.
Convergence Index Grid File	
Potential Sources Grid File	
Channel Network Grid File	Nome da assegnare alla grid che riproduce il reticolo idrografico di sintesi.
Slope-Area Threshold	Valore di soglia dell'area drenata, in numero di pixel. Default: 100 pixel
Multiplicative Scale Factor	Default: 1.00
Area Exponent	Default: 0.50
Slope Exponent	Default: 0.50

WATERSHED**Descrizione funzionale**

Identifica lo spartiacque del bacino sotteso.

Descrizione analitica

Il programma utilizza la grid della direzione del deflusso prodotta da “Upslope Area” con un modello privo di dispersione (“D8 classic” o “D8 facets”). L’uso del modello “D infinite” conduce a risultati imprevedibili dato che gli azimuth vengono comunque approssimati, in “Watershed” alle direzioni cardinali o alle diagonali (multipli di 45°).

Il programma produce un file di registrazione (.log) che riporta le informazioni fondamentali sul sottobacino identificato:

- numero di pixel e superficie in km²;
- posizione della sezione di chiusura ed estensione della finestra che contiene il bacino sia in coordinate raster (colonna e riga dal vertice SW) che in coordinate metriche (easting [x] e northing [y]).

Subwatershed definition -----		
Number of cells		4553.
Area	(km ²)	0.455300
Window definition - grid units -----		
Outlet position	196	161
Easting range	190	299
Northing range	112	177
Window definition - projection units-----		
Outlet position	2297355.00	5148324.00
Easting range	2297290.00	2298390.00
Northing range	5149680.00	5150340.00

Il programma produce una grid, delle stesse dimensioni di quella delle direzioni di deflusso, in cui ai pixel pertinenti al sottobacino identificato viene assegnato valore 10.0, a tutti gli altri valore esterno [nodata_value].

Sezione di Input

Format Header File	
Flow Direction Grid File	File grid della direzione del deflusso da ciascun pixel (azimuth). Prodotto da “Upslope Area” con un modello “D8”.

Sezione di Output

Watershed Mask Grid File	Nome da assegnare alla grid che classifica i pixel appartenenti al bacino.
Log File	File di testo che riporta una sintesi delle operazioni.
Outlet Easting (x)	Coordinata Est (x - orizzontale) della sezione di chiusura nel sistema di georeferenziazione adottato.
Outlet Northing (y)	Coordinata Nord (y - verticale) della sezione di chiusura nel sistema di georeferenziazione adottato.

ROUTING TIME**Descrizione funzionale**

Calcola i tempi di percorrenza del deflusso fino alla sezione di chiusura.

Descrizione analitica

Costruisce una mappa raster dei tempi di percorrenza del deflusso fino alla sezione di chiusura con tecnica puramente cinematica. Il programma utilizza la grid della direzione del deflusso e quella dell'area drenata prodotte da "Upslope Area" con un modello privo di dispersione ("D8 classic" o "D8 facets"). L'uso del modello "D infinite" conduce a risultati imprevedibili dato che gli azimuth vengono comunque approssimati, in "RoutingTime" alle direzioni cardinali o alle diagonali (multipli di 45°).

E' evidente che il tempo di propagazione è funzione sia della distanza che della velocità. Fissata la prima dalla geometria del bacino e dei percorsi, la seconda potrebbe essere influenzata da numerosi fattori quali tipo di moto, pendenza, tirante idrico, scabrezza, ecc.. Al fine di mantenere il modello entro un accettabile livello di semplicità di utilizzo si è ritenuto di considerare solo l'aspetto macroscopico del tipo di moto, distinguendo il moto sul versante dal moto della corrente in alveo.

I pixel vengono classificati "versante" o "reticolo" a seconda del risultato del confronto dell'area drenata [upslope_area] con un valore soglia [lower_threshold], in modo del tutto analogo a quanto avviene nel modulo "Area Hydro Net". Quindi i pixel "reticolo" vengono ulteriormente classificati "reticolo a velocità fissa" o "reticolo a velocità variabile" a seconda se l'area drenata sia inferiore oppure maggiore o uguale ad un secondo valore di soglia [upper_threshold]. Ne risulta una classificazione globale in tre categorie cui vengono assegnate diverse velocità di propagazione.

[upslope_area] > [upper_thr]	velocità = [channel_vel] · $\left(\frac{[upslope_area]}{[upper_thr]}\right)^{\text{exponent}}$
[upper_threshold]	
[upper_thr] > [upslope_area] > [low_thr]	velocità = [channel_velocity]
[lower_threshold]	
[low_thr] > [upslope_area]	velocità = [slope_velocity]

La velocità nel reticolo viene fatta variare secondo un'equazione esponenziale che eleva il rapporto tra l'area drenata della cella ed l'area di riferimento [upper_threshold] ad un dato esponente. Si parte dal presupposto che al di sopra di un certo valore la concentrazione dei deflussi sia tale da non rendere sempre del tutto trascurabile, o meglio mediabile, l'effetto di un progressivo e significativo aumento del tirante idraulico e quindi della velocità della corrente. A partire dalla velocità base scelta per il reticolo si simula quindi un progressivo aumento della velocità in relazione all'aumento dell'area drenata secondo un certo esponente (che tipicamente si ritiene compreso tra 0.04 e 0.10).

E' naturalmente possibile disinnescare la procedura a velocità variabile semplicemente selezionando un valore di [upper_threshold] maggiore del numero totale di pixel del bacino. In questo caso si ritorna ad una più tradizionale applicazione cinematica sulla base di due sole velocità medie di valore costante relative a versante e reticolo. Si fa notare che il

valore di default pari ad un milione è tale per cui la procedura risulta normalmente inibita. Considerando che la procedura venga perlopiù utilizzata per bacini montani di modesta estensione si ritiene che una velocità media della corrente in alveo, considerando tutti i livelli del reticolo e in condizioni di piena, possa indicativamente essere fissata tra 1.0 e 4.0 m/s. La velocità di scorrimento sul versante è tipicamente, sia pure in condizioni di acclività piuttosto elevata, di un paio di ordini di grandezza inferiore, ovvero dell'ordine di 0.01-0.05 m/s.

Una volta definita la velocità di propagazione sul pixel viene calcolato il tempo di attraversamento del pixel stesso, tenendo conto sia della dimensione del pixel sia del fatto che, in funzione dell'azimuth, il deflusso può seguire una direzione cardinale oppure una diagonale. Il tempo di propagazione di ciascun pixel è dato dalla sommatoria dei tempi di attraversamento di tutti i pixel lungo il percorso idrografico fino alla sezione di chiusura.

Particolarmente interessante può essere la realizzazione, con "frequency distribution", della curva "area-tempo" che descrive la frazione di bacino che progressivamente, all'aumentare della durata della precipitazione, concorre alla formazione del deflusso.

Sezione di Input

Format Header File	
Upslope Area Grid File	File grid dell'area drenata a monte di ciascun pixel. Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8". L'area è espressa in numero di pixel.
Flow Direction Grid File	File grid della direzione del deflusso da ciascun pixel (azimuth). Prodotto da "Upslope Area" con un modello "D8".

Sezione di Output

Routing Time Grid File	Nome da assegnare alla grid con i tempi di propagazione da ciascun pixel alla sezione di chiusura, in ore.
Velocity Grid File	Nome da assegnare alla grid con la velocità di propagazione su ciascun pixel, in m/s.
Upper Threshold (pixels)	Valore di soglia superiore dell'area drenata, in numero di pixel. Pixel con area drenata maggiore o uguale a "Upper Th." vengono classificati "reticolo a velocità variabile". Default: 1.000.000 pixel
Lower Threshold (pixels)	Valore di soglia inferiore dell'area drenata, in numero di pixel. Pixel con area drenata minore di "Lower Th." vengono classificati "versante". Default: 40 pixel
Channel velocity	Velocità in m/s da assegnare sui pixel classificati "reticolo a velocità fissa" con area drenata compresa tra le due soglie. Default: 2.0 m/s
Slope velocity	Velocità in m/s da assegnare sui pixel classificati "versante" con area drenata minore della soglia inferiore. Default: 0.03 m/s
Speed Function Exponent	Esponente della funzione di velocità da applicare ai pixel classificati "reticolo a velocità variabile" con area drenata maggiore o uguale al valore di soglia superiore. Default: 0.07

CURVE NUMBER*Descrizione funzionale*

Costruisce la grid del CN combinando i gruppi idrologici e gli usi del suolo mediante una tabella a due entrate.

Descrizione analitica

Il significato idrologico del CN è illustrato nella descrizione del modello Clem, infatti il CN viene tipicamente impiegato nella modellazione dei deflussi con il metodo del Soil Conservation Service. Tuttavia esso può rivestire anche un importante ruolo quale indicatore della attitudine di un complesso suolo-soprassuolo a produrre deflusso diretto. Esso è costituito da un numero compreso tra 0 e 100, dove lo zero rappresenta situazioni in cui non si ha mai produzione di deflusso e il 100 aree perfettamente impermeabili. In realtà le situazioni estreme sono puramente teoriche in quanto ben difficilmente realizzabili e, dato che il CN è un indicatore non lineare, in pratica il range di variabilità è compreso tra circa 15 e valori prossimi a 100. L'assegnazione di un preciso valore ad una combinazione suolo-soprassuolo è normalmente il frutto dell'interpretazione delle classiche tabelle reperite in letteratura sulla base delle peculiarità idrologiche locali. Da ciò si evince che l'utilizzo del CN come indicatore assoluto richiede una taratura regionale da effettuare sulla base di dati sperimentali di precipitazione e relativi volumi di piena rilevati su alcuni bacini. Tuttavia, anche in assenza di un affinamento regionale, il CN rimane un ottimo indicatore quantomeno in termini relativi. In tabella I sono riportati alcuni valori indicativi del CN per le categorie di uso del suolo più frequentemente presenti sul territorio alpino.

Uso del suolo	Classe di permeabilità			
	A	B	C	D
Fustaia di conifere densa	22	25	35	39
Fustaia mista densa	30	34	40	45
Fustaia di conifere rada	36	40	47	52
Fustaia di latifoglie	45	48	54	59
Ontani	52	55	61	66
Mughi	52	55	61	66
Arbusti	52	55	61	66
Prati e Colture	68	70	78	81
Rupi vegetate	70	72	80	83
Piste da sci	74	76	83	85
Improduttivo	75	77	84	86
Aree urbane	92	94	96	98
Corsi d'acqua e Laghi	99	99	99	99

Sulla base delle esperienze maturate i valori suggeriti in tabella presentano alcune modifiche di carattere sostanziale rispetto a quelli della tabella "ufficiale" del SCS (National Engineering Handbook-4, 1972), che è nata in ambiente agrario:

- Normalmente non è disponibile una buona carta della pedologia, di conseguenza nella maggior parte dei casi le informazioni sulla permeabilità dei suoli vengono

dedotte dalla reinterpretazione di una base cartografica geolitologica, conservando sempre un margine di dubbio anche quando determinate con grande accuratezza. Le categorie di uso del suolo sono, al contrario, rilevabili con certezza essendo ben visibili sul terreno, sulle classiche foto aeree e sulle ortofotocarte. Per tale motivo si ritiene opportuno assegnare minore enfasi alle caratteristiche pedologiche, riducendo la differenza di CN tra i vari gruppi idrologici di una stessa categoria di uso del suolo.

- Nelle applicazioni sui bacini alpini è ormai consolidato l'uso di un coefficiente di perdite iniziali pari a 0.1 al posto del classico 0.2, e un valore diverso del coefficiente comporta, per ragioni implicite al metodo stesso, la rivisitazione della tavola dei CN.
- Alcune categorie di uso del suolo non esistono nelle tavole originali e i corrispondenti valori sono stati ricavati mediante interpolazione tra i valori di categorie che si ritiene abbiano analoga propensione alla produzione di deflusso.

Sempre sulla base delle esperienze maturate si ritiene di suggerire un'ipotesi di massima per la conversione dei litotipi in classi di permeabilità, sempre da verificare sulla base dei tipi geolitologici locali, riportata in tab. II.

Tabella II - Categorie di permeabilità e litotipi

GRUPPO "D"	Rocce eruttive (o magmatiche) intrusive –graniti, sieniti dioriti, gabbri;
	Rocce eruttive (o magmatiche) effusive – porfidi trachiti, lipariti, fonoliti, porfiriti, andesiti, basalti, tefriti, leucititi;
	Rocce argillose – argilloscisti, argille varie, depositi argillosi di origine lacustre, banchi argillosi di origine fluviale intercalati spesso nei sedimenti alluvionali, depositi eluviali (ferretto, terra rossa) e colluviali argillosi che possono coprire sottostanti rocce permeabili rendendo così impermeabile il terreno;
	Rocce metamorfiche – gneiss, micascisti, quarziti, filladi, scisti anfibolici, talcascisti, e scisti di natura silicea;
GRUPPO "C"	Rocce sedimentarie compatte – dolomie, marne, arenarie , tufi cementati, pomici, alternanza di argille e arenarie, di argille e calcari;
	Rocce dolomitiche compatte;
	Rocce calcaree compatte;
	Rocce tipo fratturate;
GRUPPO "B"	Morene ed in generale depositi glaciali;
	Coltri eluviali e colluviali – costituite prevalentemente da sabbie e limi con minori quantità di ghiaie, variamente mescolati fra loro;
	Conglomerati, breccie, sabbioni e sabbie cementate (ciottoli, ghiaie, sabbie e limo a vari gradi di cementazione);
	Rocce tipo molto fratturate
GRUPPO "A"	Tufi incoerenti, pozzolane, ceneri, scorie, lapilli (si presentano in strati e banchi, dune, depositi sabbiosi di origine eolica a ridosso di spiagge);
	Rocce calcaree (calcari dolomitici, c. marnosi, travertini, calcareniti, breccie calcaree, calcari organogeni) fossilifere, organogene, molto fratturate, gessi salgemma;
	Limi, sabbie, ghiaie, ciottoli, (formano depositi alluvionali di origine fluviale o lacustre, tali materiali formano le pianure alluvionali, i coni di deiezione, i terrazzi fluviali);
	Falde e coni di detrito, macerati, composti da cumuli di frammenti rocciosi, di solito angolosi, talora più o meno cementati (breccie di pendio), si trovano ai piedi dei versanti montuosi ripidi e presentano tracce più o meno evidenti di stratificazione.

Il programma genera anche un file di testo, con estensione [.log], che riporta una sintesi delle caratteristiche della grid del CN generata. Per ogni valore del CN presente si riportano il numero di pixel (frequenza) e l'area in km². La riga finale riporta il CN medio,

il numero totale di pixel e l'area totale.

class	frequency	area(km2)

25.00000	1168	0.116800
27.00000	276	0.027600
.
95.00000	425	0.042500

62.81335	51004	5.100400

Sezione di Input

Format Header File	
Land Use Grid File	File grid dell'uso del suolo. Ciascuna categoria di uso del suolo è classificata con un numero razionale. Più categorie simili possono essere gestite come unica categoria quando sono classificate con numeri contigui.
Soil Group Grid File	File grid dei gruppi idrologici del suolo. Ciascun gruppo idrologico è classificato con un numero razionale o con un intervallo di valori.

Sezione di Output

Curve Number Grid File	Nome da assegnare alla grid del CN. Con lo stesso nome viene generato il file [.log].
<i>Sezione ripetuta per quattro gruppi idrologici</i>	
Soil Group	Commento. Etichetta del gruppo idrologico. Default: Group A - Group D
From Value	Valore inferiore dell'intervallo di numeri razionali assegnato al gruppo idrologico nella relativa grid. Valore compreso.
To Value	Valore superiore dell'intervallo di numeri razionali assegnato al gruppo idrologico nella relativa grid. Valore escluso.
<i>Sezione ripetuta per un massimo di sedici categorie di uso del suolo</i>	
Land Use	Commento obbligatorio. Etichetta della categoria di uso del suolo. Il programma cerca l'ultima riga con etichetta per contare il numero di categorie di uso del suolo utilizzate.
From Value	Valore inferiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria di uso del suolo nella relativa grid. Valore compreso.
To Value	Valore superiore dell'intervallo di numeri razionali che identificano la categoria di uso del suolo nella relativa grid. Valore escluso.
CN Group A	Valore del CN da assegnare alla combinazione uso del suolo – primo gruppo idrologico
CN Group B	Valore del CN da assegnare alla combinazione uso del suolo – secondo gruppo idrologico
CN Group C	Valore del CN da assegnare alla combinazione uso del suolo – terzo gruppo idrologico
CN Group D	Valore del CN da assegnare alla combinazione uso del suolo – quarto gruppo idrologico

CLEM - Cinematic Local Excess Model

Descrizione funzionale

Simula l'idrogramma di piena.

Descrizione analitica

CLEM è un modello ad evento realizzato al fine di ricostruire l'idrogramma di piena per assegnate precipitazioni di progetto su piccoli bacini montani. Il modello combina le equazioni del Soil Conservation Service per il calcolo della pioggia efficace distribuita, il metodo cinematico per la propagazione alla sezione di chiusura ed un serbatoio lineare per la simulazione del deflusso di base. Si ritiene che una superficie di 250 km² costituisca il limite superiore per l'utilizzabilità del modello. Su bacini di dimensioni superiori, infatti, potrebbero diventare importanti fattori non previsti dalla simulazione, quali ad esempio una distribuzione non uniforme della precipitazione o la necessità di ricorrere ad una simulazione più raffinata dei meccanismi di trasporto. Il modello si è rivelato efficace anche nella simulazione di eventi di piena registrati, condizione essenziale per una taratura dei vari parametri, ma non prevede meccanismi di "moisture accounting" e di conseguenza non è in grado di simulare in modo adeguato eventi di lunga durata con più massimi di precipitazione distanziati nel tempo.

La simulazione è indipendente su ciascun pixel, non vi è, infatti, interazione alcuna tra i vari pixel, che sono quindi considerati alla stregua di sottobacini i cui effetti si integrano solo alla sezione di chiusura.

Definizione della precipitazione di input

L'input al modello è dato da una precipitazione uniformemente distribuita sul bacino. La scelta della forma e della durata dello ietogramma è un elemento fondamentale per la validità della simulazione. Clem consente di scegliere tra un pluviogramma "qualsiasi", descritto in un file di precipitazione ed un pluviogramma sintetico, generato dal modello stesso. Il modello prevede cinque diversi profili dello ietogramma di sintesi:

- precipitazione costante
- pluviogramma "Wallingford"
- pluviogramma triangolare
- pluviogramma a blocchi alterni
- pluviogramma ad intensità istantanea

In ciascun caso l'altezza totale della precipitazione $[h]$ di durata complessiva $[t]$ viene determinata dai due parametri, $[a]$ ed $[n]$ dati in input, della classica curva di possibilità pluviometrica, detta "italiana":

$$h = at^n$$

E' noto, in via sperimentale, che statisticamente l'intensità della precipitazione è inversamente proporzionale alla durata della stessa, essendo l'esponente $[n]$ minore di uno. La precipitazione è dunque un fenomeno che va scemando, in termini di intensità, nello stesso tempo in cui il deflusso va cinematicamente interessando superfici via via crescenti. E' possibile che due curve monotone con pendenza inversa si incrocino ed è possibile che in tale punto si trovi la situazione critica. Le due curve sono ovviamente quella dell'intensità di pioggia (decrescente) e quella dell'area contribuyente (crescente) rispetto al tempo, e la situazione critica è data dal punto in cui la precipitazione produce la

massima portata alla sezione di chiusura. E' quindi possibile svincolare il concetto di precipitazione critica sia dall'idea di tempo di corrivazione sia dall'area totale del bacino in quanto è possibile che la portata massima sia il prodotto del deflusso su una sola quota parte del bacino stesso. La durata della pioggia critica, ovvero della pioggia che produce la massima portata, è piuttosto funzione di una distribuzione di frequenza dell'area del bacino, della pendenza della curva di probabilità pluviometrica, della forma dello ietogramma e del modello adottato per la trasformazione afflussi-deflussi. Una volta scelta la forma dello ietogramma la durata della pioggia critica verrà dunque identificata per tentativi.

Dal punto di vista della determinazione della pioggia critica è possibile identificare due famiglie di ietogrammi: quelli in cui l'intensità massima decresce col tempo e quelli in cui l'intensità massima rimane costante (per un dato tempo di ritorno).

Nel **primo tipo** rientrano ad esempio, oltre alla pioggia costante, il pluviogramma triangolare ed i pluviogrammi adimensionali (Wallingford). Con distribuzioni di questo tipo è di norma possibile determinare una durata critica che produce una portata massima. Nel **secondo tipo** rientrano, ad esempio, il pluviogramma a Blocchi Alterni e quello ad Intensità Istantanea. Secondo queste ipotesi di distribuzione per quanto si aumenti la durata della pioggia esiste sempre, in un qualche punto verso la metà del pluviogramma, un intervallo in cui l'intensità rimane sempre la stessa. Ne consegue che, indipendentemente dal modello, la portata massima aumenta indefinitivamente all'aumentare della durata della pioggia con un andamento di tipo logaritmico:

$$Q_{\max}(h_t) = a + b \log(t)$$

Data la forma monomia della curva di probabilità pluviometrica "italiana" se l'intervallo di discretizzazione dei tempi è piccolo l'intensità massima risulta estremamente elevata e quindi, in particolare utilizzando un modello non lineare, la portata massima può essere sensibilmente influenzata anche dal grado di discretizzazione dei tempi.

L'opzione **precipitazione costante** genera un pluviogramma rettangolare che costituisce l'ipotesi abituale di precipitazione di progetto. Una precipitazione costante di durata illimitata genera, come è noto, un idrogramma ad "S" con la portata che diventa costante da un certo momento in poi, ovvero da quando tutto il bacino concorre a produrre contemporaneamente il massimo deflusso efficace. Poichè l'intensità della pioggia probabile decresce con la durata della stessa utilizzando un modello non distribuito è possibile calcolare analiticamente la durata della pioggia critica. Tale operazione diventa irragionevolmente complessa con un modello distribuito, in ogni caso solo la distribuzione costante della precipitazione di progetto consente una scelta della durata basata su solide considerazioni di carattere analitico, tenuto conto anche del fatto che tutta la precipitazione si colloca nella fase di crescita dell'idrogramma.

La distribuzione adimensionale "**Wallingford**", benché non supportata da basi teoriche, sembra essere meritevole di attenzione con finalità progettuali. Si tratta di una distribuzione simmetrica adimensionale di tipo gaussiano in cui il valore del j -esimo di emme intervalli è dato (nella fase crescente) da:

$$p_j = 0.35 + \exp\left(-4.2 + 11.0 \frac{j-1}{m-1}\right)$$

La precipitazione totale viene quindi rapportata al peso dei diversi intervalli. Una distribuzione non costante della precipitazione prevede necessariamente un periodo, o un

impulso, di massima intensità e la portata massima risulta sempre maggiore di quella generata da una pioggia costante. Adottando la distribuzione “Wallingford” spesso accade che la portata massima, causata dal picco centrale di precipitazione, si verifichi prima della fine della precipitazione stessa. Benché teoricamente non giustificabile, l'idrogramma prodotto tuttavia è da ritenersi attendibile, e critico, se il picco si verifica quando la precipitazione cumulata è prossima al totale a meno di pochi punti percentuali.

Nel **pluviogramma triangolare** il massimo di precipitazione si colloca a circa il 45% della durata totale. Fissata la durata e l'altezza totale della precipitazione risulta assai semplice distribuire la stessa in forma triangolare.

Nel **pluviogramma a blocchi alterni** il massimo di precipitazione si colloca nel punto centrale della durata. Il modello di precipitazione consiste in una redistribuzione degli incrementi di pioggia che si ottengono dalla curva di possibilità pluviometrica aumentando la durata di step in step. Dato l'intervallo $[step]$ delle precipitazioni (in ore):

- dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le precipitazioni relative a $[1 \times step]$, $[2 \times step]$, $[3 \times step]$, ecc. ore, fino alla durata massima;
- per differenza tra valori successivi si ricavano gli incrementi di pioggia;
- gli incrementi vengono riordinati per dimensione crescente;
- il valore massimo viene assegnato all'intervallo centrale $[m/2]$;
- il secondo valore all'intervallo $[m/2-1]$, il terzo a $[m/2+1]$, il quarto a $[m/2-2]$, il quinto a $[m/2+2]$, ecc.

Anche il **pluviogramma ad intensità istantanea** si basa sulla progressiva diminuzione di intensità della pioggia con l'aumento della durata. L'intensità istantanea è data dalla derivata dell'altezza di pioggia rispetto al tempo:

$$i = \frac{dh}{dt} = \frac{d(at^n)}{dt} = ant^{(n-1)}$$

il programma calcola l'intensità istantanea per ciascun minuto di precipitazione, per durate crescenti in modo simmetrico a partire dal minuto centrale, che ha dunque intensità massima. L'intensità, opportunamente accorpata per $[step]$ di precipitazione, costituisce il fattore di pesatura per la distribuzione della pioggia nei vari intervalli. Il pluviogramma risulta quasi simmetrico rispetto ad un intervallo centrale con valore massimo.

Il metodo del Soil Conservation Service

Lo schema funzionale del modello S.C.S. è molto semplice ed è illustrato in fig. 1, mentre il significato dei parametri illustrati nello schema è riportato in tab. I.

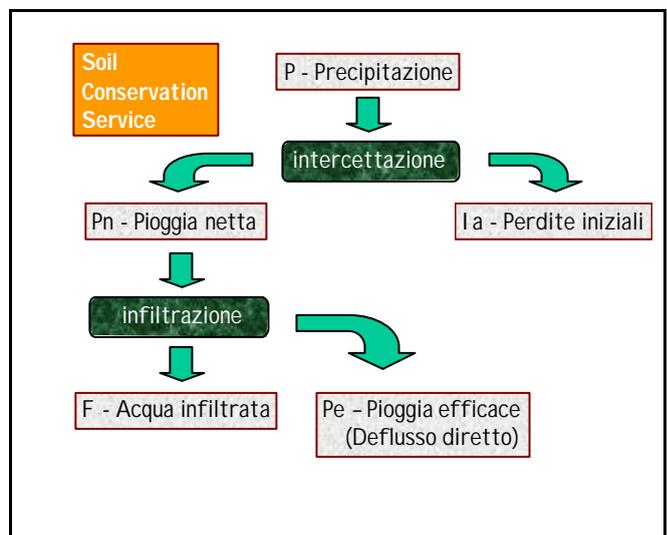


fig. 1 – La formazione del deflusso con il modello SCS

tab. I – I parametri del modello Soil Conservation Service

P		precipitazione totale
I _a		perdite iniziali – frazione di precipitazione intercettata dai vegetali, che bagna il terreno e riempie le cavità superficiali, ecc.
P _n	P _n =P-I _a	pioggia netta – frazione di precipitazione che giunge al suolo
F	F=P _n -P _e	volume specifico infiltrato – frazione di pioggia netta che si infiltra nel suolo
P _e	P _e =P _n -F	pioggia efficace o volume specifico di deflusso diretto – frazione di pioggia netta che produce il deflusso diretto

Si assume che ogni tipo di terreno sia caratterizzato da un **volume specifico di saturazione** (S) che può essere stimato sulla base delle caratteristiche del suolo e del soprassuolo. Il **volume specifico infiltrato** (F) può essere, al massimo pari ad S. Allo stesso modo il **volume specifico di deflusso diretto** (P_e) può, al massimo, essere pari alla **pioggia netta** (P_n).

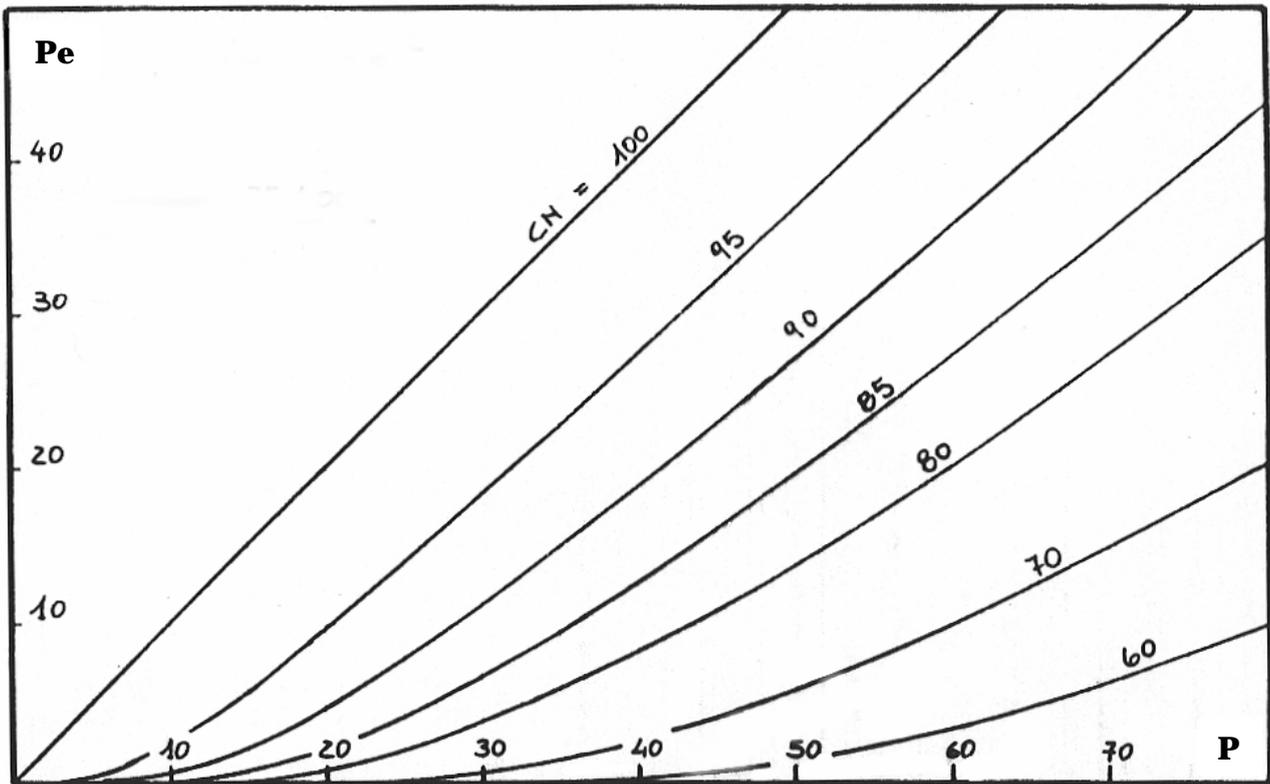
Si ipotizza che i rapporti tra le due grandezze reali e le due potenziali (massime) siano sempre uguali tra loro.	$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P_n}$
La proporzione può essere riscritta come:	$P_e = P_n \frac{F}{S}$
e dato che:	$P_n = P - I_a$
e:	$F = P_n - P_e = P - I_a - P_e$
si ricava l'equazione:	$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$
La stima del volume specifico di saturazione (S) [mm], che è caratteristico di ciascun complesso suolo-soprassuolo, può essere semplificata introducendo un indice:	$CN = \frac{1000}{10 + S/S_0}$
è quindi possibile ricavare S da valori noti o stimati di CN:	$S = S_0 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$

S₀ è un fattore di scala che riflette le unità di misura adottate e che, per valori di S, F e P misurati in mm, è pari a 25.4 mm - ovvero 1 inch. Le perdite iniziali I_a vengono di norma assunte pari ad una frazione di S e nella formulazione classica è I_a=0.2S. Sulla base delle esperienze maturate sui bacini montani in Clem si è optato per la relazione I_a=0.1S.

La relazione tra S e CN è tale per cui al variare del primo tra zero ed infinito il secondo varia tra cento e zero, risultando così più facile da tabellare. Tenendo presente che i valori limite sono puramente teorici:

S	CN		
0	100	Deflusso totale	suolo assente superfici impermeabili specchi d'acqua
∞	0	Deflusso nullo	suoli con elevatissima capacità e conducibilità idrica

L'equazione del S.C.S. rappresenta una famiglia di curve parametriche, sul piano P-Pe, che possono essere enumerate utilizzando il parametro CN – **Curve Number** (ovvero Numero della Curva):



CN varia in funzione di 4 diverse classificazioni:

1. classificazione della infiltrabilità del suolo in quattro classi A, B, C e D, gruppi idrologici del suolo
2. uso del suolo (colture disposte a file, pascoli, boschi, etc.), sistemazione della superficie (solchi dritti, solchi a reggipoggio, solchi a reggipoggio e terrazzamenti)
3. condizione di drenaggio (cattiva, discreta, buona)
4. condizioni iniziali di saturazione dei suoli (AMC - Antecedent Moisture Condition, condizione iniziale di saturazione)

tab. II – I gruppi idrologici del suolo

A	Bassa capacità di deflusso – suoli con elevata infiltrabilità anche se completamente saturi – sabbie o ghiaie profonde ben drenate – notevole conducibilità idrica
B	Suoli con moderata infiltrabilità se saturi – discretamente drenati e profondi – tessitura medio-grossolana – conducibilità idrica media
C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi – uno strato impedisce la percolazione verticale – suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità – conducibilità idrica bassa
D	Capacità di deflusso elevata – suoli con infiltrabilità ridottissima in condizioni di

saturazione – suoli ricchi di argilla rigonfianti – suoli con strato argilloso superficiale – suoli poco profondi su substrato impermeabile – conducibilità idrica estremamente bassa

Sulla base del gruppo idrologico, della tipologia di sistemazione e dell'uso del suolo viene assegnato uno specifico valore di CN. In letteratura sono reperibili numerose tabelle adattate alle diverse tipologie regionali, sia nell'originale ambito agrario, sia in ambito forestale ed urbano. Un esempio è riportato in tab. II.

tab. II – CN assegnato ai complessi suolo-soprassuolo

Tipo di copertura			Classe del suolo			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi dritti	–	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi dritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi dritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi dritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi dritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi dritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi dritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		–	59	74	82	86
Strade sterrate		–	72	82	87	89
Str. pavimentate		–	74	84	90	92

Esistono tre diverse condizioni AMC (AMC-I - secca, AMC-II - normale e AMC-III - critica), definite in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento. Normalmente le tabelle fanno riferimento alle condizioni normali di AMC-II.

tab. II – Relazione tra AMC e precipitazione

AMC categoria	Altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti (mm)
---------------	---

	Stagione di riposo	Stagione vegetativa
AMC-I	< 13 mm	< 36 mm
AMC-II	13 – 28 mm	36 – 53 mm
AMC-III	> 28 mm	> 53 mm

Per passare dalle condizioni normali a quelle secche o critiche si utilizzano due diverse equazioni:

AMC-I	AMC-III
$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)}$	$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$

Nel modello si è preferito consentire una variazione continua di AMC utilizzando una sola equazione, opportunamente parametrizzata mediante regolarizzazione dei valori sperimentali, che, a partire da CN_{II} (ovvero AMC-II) restituisce CN per qualsiasi valore razionale positivo di AMC:

$a = 2.08454 \cdot \exp(0.80709 AMC) - 0.47225$	$b = \frac{(a - 4.2)}{100} - 0.058$
$CN(AMC) = \frac{a \cdot CN_{II}}{10 + b \cdot CN_{II}}$	

In tal modo AMC diventa in pratica un parametro di taratura quando si vogliono simulare piene registrate. Si tenga tuttavia presente che il modello è stato messo a punto solo per la generazione di idrogrammi di progetto, anche se, nella pratica, si è rivelato in molti casi efficace nella simulazione di eventi reali. E' tecnicamente possibile assegnare ad AMC anche un valore che esca dal range dei valori ammessi [da 1 a 3], anche se l'operazione deve essere giustificata alla luce di dati sperimentali. A partire da AMC = 18 tutti i valori del CN vengono portati a 100.

Calcolo della pioggia efficace

Con il termine “pioggia efficace” si intende quella frazione di precipitazione che contribuisce direttamente al deflusso diretto, dato dal deflusso superficiale e dalla frazione più rapida del deflusso ipodermico.

La precipitazione, da file o sintetica, viene interpolata alla scansione interna di calcolo Δt , che è posta pari al tempo di attraversamento di un pixel versante alla velocità di 0.1 m/s (assunta come limite superiore dei valori ammessi), e quindi sommata in una curva integrale. Dalla curva integrale della precipitazione il modello applica l'equazione del S.C.S. a ciascun intervallo temporale di calcolo, ottenendo prima una curva integrale della pioggia efficace, quindi una serie di valori differenziali della stessa. La pioggia efficace viene trasformata in portata (deflusso diretto) rapportandola alla dimensione del pixel ed alla durata dell'intervallo di calcolo interno:

$$Q_{dir} = \frac{1000 \cdot P_e \cdot AreaPixel}{\Delta t}$$

E' implicito nella logica del modello S.C.S. che un'areola cominci a produrre pioggia efficace solo dopo che siano saturate le perdite iniziali I_a . Poiché queste ultime sono correlate alla capacità idrica del suolo S , e quindi al CN , è possibile che, anche in eventi di una certa importanza, su pixel con CN basso non si produca affatto pioggia efficace e quindi deflusso.

Propagazione del deflusso "diretto"

La propagazione del deflusso alla sezione di chiusura avviene in modo cinematico, sulla base dei tempi assegnati a ciascun pixel nella mappa prodotta con "Routing Time". Molto semplicemente ciascun impulso di pioggia efficace prodotto su di un dato pixel viene traslato alla sezione di chiusura e sommato a tutti gli altri con un ritardo pari al tempo di propagazione assegnato al pixel. Alla sezione di chiusura giunge quindi una serie numerosa (numero di celle per numero di intervalli di calcolo) di impulsi di portata che vengono semplicemente sommati, tenendo conto che ciascuno di essi ha una precisa collocazione temporale, ottenendo l'idrogramma del deflusso diretto.

Il deflusso di base

La quota di precipitazione residua, esclusa dunque la pioggia efficace, viene globalmente cumulata in un unico serbatoio che si esaurisce in modo lineare a produrre deflusso di base. L'esaurimento è controllato da un parametro $[alpha]$ che ha le dimensioni del reciproco di un tempo ed è espresso in s^{-1} . Poiché il valore di $[alpha]$ risulta sempre molto piccolo e difficile da maneggiare si preferisce fornire in input il valore del parametro moltiplicato per 10^6 . L'esaurimento del serbatoio lineare si basa molto semplicemente sull'aggiornamento in due tempi dell'equazione di continuità:

$$Outflow_j = \alpha \cdot Storage_{j-1} \quad \text{e quindi} \quad Storage_j = Storage_{j-1} + Inflow_j - Outflow_j$$

dove $Storage$ rappresenta il volume immagazzinato il cui valore iniziale è dato in funzione della portata iniziale (parametro di input). $Outflow$ è il volume di deflusso restituito in ciascun intervallo j , ed $Inflow$ è la differenza tra la pioggia totale e la pioggia efficace. I valori consueti vedono α oscillare tra 1×10^{-6} e $15 \times 10^{-6} s^{-1}$.

Schema sintetico di funzionamento

1. Si definisce l'intervallo interno di calcolo Δt , posto pari al tempo di attraversamento di un pixel versante alla velocità di 0.1 m/s;
2. la precipitazione viene cumulata e quindi interpolata all'intervallo di calcolo Δt ;
3. per ciascun pixel e per ciascun intervallo di calcolo:

- a) calcola la pioggia efficace $Pe = \frac{(P - 0.1S)^2}{(P + 0.9S)}$ dove $S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$;

- b) trasforma la pioggia efficace (mm) in portata (m^3/s): $Q = \frac{1000Pe \cdot AreaPixel}{\Delta t}$;

- c) somma il contributo di portata al vettore finale in corrispondenza del tempo di propagazione del pixel

- d) somma la precipitazione residua ($Inflow_j = P_j - Pe_j$) in un serbatoio (unico);

4. la portata finale viene interpolata all'intervallo richiesto per l'output;
5. si calcola il contributo del deflusso di base esaurendo il serbatoio in modo lineare con velocità *alfa* (si ricordi che il valore dato in input viene diviso per 10^6):
 - a) $Outflow_j = alfa \cdot Storage_{j-1}$
 - b) $Storage_j = Storage_{j-1} + Inflow_j - Outflow_j$
7. la portata di base viene sommata alla portata da deflusso diretto e viene prodotto l'output, numerico e grafico.

Il formato dei file di input ed output

Per i file di testo con i dati di input e di output si è adottato un unico formato con dati incolonnati, in certa misura ridondante ma facile da importare in un foglio elettronico anche per l'eventuale produzione di grafici di qualità:

- la prima riga è un commento.
- la seconda riga contiene le intestazioni delle colonne
- dalla terza riga in poi i dati in campi di dieci caratteri preceduti dalla data e dall'ora

La data e l'ora sono state incorporate nel formato solo per compatibilità con altri software, infatti, poichè non ha senso parlare di data e ora di un evento di progetto la data viene presa dal clock del computer e l'ora incrementata a partire dalle 00:00.

I file di pioggia data e pioggia sintetica sono identici ma nei secondi vengono riportati la precipitazione totale ed il tipo di pluviogramma nel primo record di commento. La data e l'ora nei file di precipitazione predisposti non vengono lette, l'intervallo temporale è quello assegnato in input.

60.61 - 2 Walligford non-dim									
yr	m	d	h	m	s	Rainfall			
2001	09	23	00	30	00	2.81			
2001	09	23	01	00	00	3.42			
2001	09	23	01	30	00	7.22			
2001	09	23	02	00	00	30.99			
2001	09	23	02	30	00	7.22			
2001	09	23	03	00	00	3.42			
2001	09	23	03	30	00	2.81			
2001	09	23	04	00	00	2.72			

Il file di output principale oltre alla data e all'ora riporta seti colonne di dati, tutti espressi in millimetri, che sono:

1. Qtot - Portata totale (deflusso diretto + deflusso di base);
2. Qdir - Portata da deflusso diretto;
3. Qbas - Portata da deflusso di base;
4. Ptot - Precipitazione totale;
5. Pexc – Precipitazione efficace;
6. Stor – Volume immagazzinato nel serbatoio lineare.

CLEM - Cinematic Local Excess Model -----											
yr	m	d	h	m	s	Qtot	Qdir	Qbas	Ptot	Pexc	Stor
2001	09	23	00	00	00	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	32.677
2001	09	23	00	30	00	1.001	0.001	1.000	2.810	0.001	35.133
2001	09	23	01	00	00	1.124	0.049	1.075	3.420	0.051	38.123
2001	09	23	01	30	00	1.758	0.592	1.167	7.220	0.423	44.508
2001	09	23	02	00	00	14.073	12.711	1.362	30.990	7.098	67.919
2001	09	23	02	30	00	14.966	12.887	2.078	7.220	2.673	71.732
2001	09	23	03	00	00	7.141	4.945	2.195	3.420	1.372	73.005
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	omissis

Il file di output di sintesi [.log] riporta alcune informazioni riassuntive:

***** Simulation Log			
CN file		_C:\Progetti\Cordon\Gis\HyGIS2k\crvnbr.ras	
Routing time raster		_C:\Progetti\Cordon\Gis\HyGIS2k\rouvertime.ras	
Base flow parameter	_	6.000	
Antec.Moisture Condition	_	2.000	
Appearing CN	_	67.507	
Contributing area	(%)_	96.259	

SIMULATED FLOW		Direct	Base Total

Rainfall	(mm)_	13.719	46.641 60.610
Initial discharge	(m3/s)_	0.000	1.000 1.000
Maximum discharge	(m3/s)_	12.887	2.283 14.966
Average discharge	(m3/s)_	3.534	1.578 2.035
Time to peak	(hr)_	2.500	4.500 2.500
Duration	(hr)_	5.500	42.500 42.500
Number of cycles	_	11	85 85

Nella prima parte del file:

- File grid utilizzati nella simulazione;
- parametro [alfa] di esaurimento del deflusso di base;
- parametro AMC;
- valore del CN apparente, ovvero valore che dovrebbe essere assegnato al CN del bacino in caso di modello non distribuito per ottenere lo stesso volume di pioggia efficace;
- percentuale di area che contribuisce effettivamente a produrre deflusso;

Nella seconda parte alcuni valori di sintesi sono specifici del deflusso diretto, di quello di base e della somma dei due.

- Precipitazione: efficace, immagazzinata nel serbatoio, totale;
- portata iniziale;
- portata massima (discretizzata sull'intervallo di output);
- portata media;
- ritardo della portata massima (tempo al picco);
- durata dell'idrogramma;
- numero di intervalli temporali (di output).

L'output grafico

Al termine dell'esecuzione viene proposta una semplice rappresentazione grafica dell'idrogramma di piena. La precipitazione compare come istogramma rovesciato sull'asse superiore, con scala di riferimento a destra. In verde la pioggia totale, in rosso la pioggia efficace. La portata, con scala di riferimento a sinistra, è totale, verde, da deflusso diretto, rossa, e di base, azzurra.

Modalità operative

Sono previste due distinte modalità operative attivabili mediante due pulsanti alternativamente attivi:

Input Precipitation by File

[\[da file\]](#) legge un file di precipitazione dato in input

Synthetic Input Precipitation

[\[sintetica\]](#) calcola una pioggia sintetica**Sezione di Input**

Format Header File	
Routing Time Grid File	File grid dei tempi di propagazione da ciascun pixel alla sezione di chiusura (ore).
Curve Number Grid File	File grid del CN del S.C.S.
Input Precipitation File	[da file] nome del file di precipitazione dato in input
Hyetograph Duration	[sintetica] Durata della precipitazione in ore Default: 6.00 ore
$h = at^n \rightarrow a$	[sintetica] parametro “a” della curva di possibilità pluviometrica Default: 40.0
$h = at^n \rightarrow n$	[sintetica] parametro “n” della curva di possibilità pluviometrica Default: 0.30
Hyetograph Shape	[sintetica] scelta della forma del pluviogramma Default: Precipitazione Costante

Sezione di Output

Simulation Output File	File di testo con i risultati della simulazione. L'estensione proposta è [.sim]. Viene prodotto anche un file, con lo stesso nome ma con estensione [.log] che riporta gli elementi essenziali della simulazione. L'eventuale pioggia sintetica viene memorizzata, per convenienza, in un terzo file con lo stesso nome ed estensione [.pre].
Maximum Discharge Grid File	Opzionale. File grid che riporta la portata massima specifica ($m^3/s/km^2$) prodotta su ciascun pixel.
Antecedent Moisture Condition	Parametro AMC che definisce lo stato di imbibizione iniziale del suolo. In condizioni critiche va posto pari a 3. Default: 2.0
Initial Discharge	Valore della portata all'inizio della simulazione. Se è pari a zero non viene effettuata la simulazione del deflusso di base. Default: 0.00 m^3/s
Recession Parameter	Coefficiente di scarico [<i>alfa</i>] del serbatoio lineare del deflusso di base. Se è pari a zero non viene effettuata la simulazione del deflusso di base. Default: 0.00 s^{-1}
Input Time Step	Intervallo in minuti dei dati di input. E' lo [<i>step</i>] dei dati di precipitazione sia da file che sintetica. Default: 30.0 minuti
Output Time Step	Intervallo in minuti richiesto per i dati di output. Default: 30.0 minuti