



Autorità di Bacino del Fiume Arno

**CONVENZIONE CON L'AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI BARBERINO
DI MUGELLO: “APPROFONDIMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO
RELATIVO ALLA PERICOLOSITA' IDRAULICA DELLE AREE POSTE NEL
TERRITORIO COMUNALE DI BARBERINO DI MUGELLO LUNGO LE
ASTE FLUVIALI”, DA ATTUARE A CURA DELL'AUTORITA' DI BACINO
DEL FIUME ARNO**

DECRETO DEL SEGRETARIO GENERALE N.63 DEL 28/07/2009

APPENDICE 1 - ANALISI IDROLOGICA

INDICE

1 ANALISI IDROLOGICA	2
----------------------------	---

1 ANALISI IDROLOGICA

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia, di tipo puntuale (registrazioni pluviometriche) sull'area d'interesse, che dovranno essere, in generale, interpolate per ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo, in termini di afflussi per unità di area.

La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- eventi meteorici sintetici uniformemente distribuiti sul bacino;
- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (Tr evento di pioggia = Tr idrogramma di piena).

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)* dove i parametri in gioco sono stati ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un *Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico* di cui vengono riportate di seguito le linee principali. Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello proposto da Nash.

L'input meteorico è rappresentato da uno "*ietogramma sintetico ad intensità costante*" con il quale si assume che l'intensità di precipitazione sia costante durante l'intera evoluzione del fenomeno e pari al valor medio fornito dalle curve di possibilità climatica (o pluviometrica, di seguito *CPP*) illustrate in seguito. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sulla base del metodo dell'*evento critico*, individuando la durata di pioggia efficace che massimizza il valore al colmo dell'onda di piena fornita dal modello di trasformazione afflussi - deflussi.

Le *CPP* consentono di rappresentare il regime delle piogge di breve durata e forte intensità in una certa zona. Per la loro determinazione è necessaria un'analisi delle serie pluviometriche disponibili dalla rete di telemisura presente sul territorio a partire dall'esame dei topoi, o reticoli di Thiessen. Dall'analisi statistica delle precipitazioni estreme, assumendo sia distribuzione Gumbel che TCEV, si perviene appunto alla determinazione delle *CPP*, che stabiliscono un legame tra le altezze di pioggia e la durata dell'evento piovoso, in funzione della probabilità di accadimento dell'evento stesso.

Il valore della pioggia lorda deve essere depurato delle perdite. La trasformazione afflussi-deflussi adottata prevede l'adozione di un "approccio asintotico a soglia" che richiede la stima di due parametri: la *perdita iniziale*, schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con *la*) che il terreno assorbe completamente durante i primi

istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento $t=0$ all'istante $t=ta$) e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una *infiltrazione cumulata costante a saturazione* (indicata con K_s).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{ta} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < ta$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t \geq ta$$

dove:

- $P(t)$ intensità di precipitazione lorda sul bacino [mm/h];
- $P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];
- $I_a(t)$ volume unitario di perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];
- $I_a = I_a(ta)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];
- K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

I valori di I_a e K_s , nel lavoro di regionalizzazione, sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

$$K_r = 1 - \exp(\alpha t^\beta) + \exp(\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

L'*Idrogramma Istantaneo Unitario* rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotizzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$, supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra idrogramma di pioggia efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata defluente;
- $p(t) = A i(t)$, con A area del bacino e $i(t)$ intensità di pioggia netta raggugliata sul bacino;
- $U(t)$ è l'idrogramma unitario

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases} \quad \int_0^\infty U(t) dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione $U(t)$, che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e

stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino. Uno dei più diffusi modelli concettuali utilizzati per determinare la forma della funzione $U(t)$ è quello basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari disposti in serie. L'espressione dell'idrogramma istantaneo unitario che ne deriva per un singolo serbatoio lineare è:

$$U(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove k è la costante del serbatoio che rappresenta il tempo caratteristico di svuotamento del serbatoio.

Supponendo che il bacino si comporti come una serie di n serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico k , la portata in uscita dall'intero bacino come risposta ad un input impulsivo distribuito sul bacino rappresenterà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, nota come *Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash*:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

dove la funzione $\Gamma(n)=(n-1)!$.

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine viene detto *tempo di ritardo (lag) Tl* ed è dato da:

$$Tl = \int_0^{\infty} U(t)t dt$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario). I parametri n, k dell'IUH di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29(Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07}$$

$$k = 0.7(Ra/(Rb \cdot Rl))^{0.48} Lc/v$$

in unità congruenti, dove:

Rb = rapporto di biforcazione;

Rl = rapporto di lunghezza;

Ra = rapporto di area;

Lc = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici sopra elencati permettono di rappresentare lo sviluppo della rete idrografica mediante una descrizione gerarchica e possono quindi essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo il metodo di gerarchizzazione e classificazione geomorfologica di Horton e Strahler.

La gerarchizzazione di una rete idrografica si esegue attribuendo un ordine a ciascun segmento fluviale; un'asta che non nasce dalla confluenza di altre due è di primo ordine; un'asta di ordine n e un'asta di ordine $n-1$ congiungendosi danno origine a un'asta di ordine n ; due aste di ordine n congiungendosi danno origine a un'asta di ordine $n+1$. Per ogni bacino idrografico esiste una relazione fra il numero dei rami fluviali aventi un certo ordine e l'ordine stesso: in genere, il valore del primo diminuisce all'aumentare del secondo.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi che definiscono la geometria del reticolo idrografico e il suo grado di organizzazione gerarchica. Il parametro di base è il rapporto di biforcazione R_b , che esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali di un certo ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo. Considerando invece la lunghezza media delle aste di un certo ordine si ottiene il rapporto fra le lunghezze, R_l . Analogamente, si definisce anche il rapporto fra le aree, R_a .

I tre parametri appena descritti vengono determinati sulla base delle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} N_u &= R_b^{\omega-u} \\ \bar{L}_u &= \bar{L}_1 R_l^{u-1} \\ \bar{A}_u &= \bar{A}_1 R_a^{u-1} \end{aligned}$$

dove

ω è l'ordine massimo del reticolo;

N_u il numero delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

L_u la lunghezza media delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

A_u l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$.

Lo studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di Tl ed i parametri geomorfologici:

$$Tl = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad [h]$$

dove A è l'area del bacino espressa in [kmq] e Lmc la lunghezza del reticolo in [km], calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici.

Per la definizione dell'idrogramma unitario e degli ietogrammi lordi e netti del F.so di Badia è stato utilizzato il metodo del Soil Conservation Service (SCS-CN) [S.C.S., 1972].

Di seguito vengono brevemente descritti gli elementi essenziali di queste note metodologie, rimandando invece per i dettagli direttamente alla documentazione ufficiale citata.

S.C.S.-CN

L'idrogramma unitario assunto è quello standard U.S.-S.C.S. [op. cit.], predefinito nella forma, e funzione del solo parametro cinematico tempo di ritardo t_l [h]. Lo ietogramma di progetto è stato assunto uniforme, mentre le perdite per infiltrazione sono state computate step by step con il metodo del CN.

Per il calcolo del valore medio di CN per ciascun bacino sono stati utilizzati i tematismi Corine Land Cover e Permeabilità della Regione Toscana, adottando le associazioni di suolo e CN cui in Tab. 1, Tab. 2 e Tab. 3.

La perdita di precipitazione iniziale è assunta pari a $\beta \times S$ (0.1-0.3 range dei valori di β). Per quanto riguarda la fondamentale scelta delle condizioni iniziali di suolo in eventi pluviometrici critici (CN I,II,III), è noto come le indicazioni generali originarie del SCS non risultino offrire particolare affidabilità per la realtà italiana [ad es. Borselli, 1989; Busoni et al., 1990; ...]. La procedura standard utilizzata prevede l'adozione delle condizione medie AMC II; inoltre è stato adottando lo standard SCS anche per l'idrogramma unitario [SCS, 1986; USACE, 1998], definito in funzione della sola area di bacino e del tempo di ritardo (t_l), qui stimato con la formula della Regione Toscana ($A < 10 \text{ km}^2$), i.e.:

$$t_l = 0,5 * A^{0,32}$$

CODICE	Descrizione	CN II			
		A	B	C	D
111	Tessuto urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto urbano discontinuo	57	72	81	86
121	Aree industriali o commerciali	89	90	94	94
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
123	Aree portuali	89	92	94	94
124	Aeroporti	81	88	91	93
131	Aree esrattive	46	69	79	84
132	Discariche	46	69	79	84
133	Cantieri	46	69	79	84
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminitavi in aree non irrigue	70	80	86	90
212	Seminitavi in aree irrigue	85	90	92	94
213	Risaie	100	100	100	100
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Uliveti	45	66	77	83
231	Prati stabili	30	58	71	78
241	Colture annuali associate e colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	58	73	82	87
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	52	70	80	84
244	Aree agroforestali	58	73	82	87
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
322	Brughiere e cespuglieti	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilia	49	69	79	84
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie	76	85	89	91
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
334	Aree percorse da incendi	77	86	91	94
335	Ghiacciai e nevi perenni	100	100	100	100
411	Paludi interne	100	100	100	100
412	Torbiere	100	100	100	100
421	Paludi salmastre	100	100	100	100
422	Saline	100	100	100	100
423	Zone intertidali	100	100	100	100
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100	100	100	100
512	Bacini d'acqua	100	100	100	100
521	Lagune	100	100	100	100
522	Estuari	100	100	100	100

Tab. 1. Tabella di associazione Codice Corine Land Cover-Curve Number in funzione delle classi di permeabilità del suolo.

Nome	Lito	Perm
Area non rilevabile o non classificabile	NRC	NRC
Calcari ad aptici	LS3	II
Diaspri	LC4	II
Argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere (Argil	LP2	IM
Argille sabbiose e limi	LP1	1
Limi e sabbie con livelli di lignite	LS2	1
Calcarea selcifero di Limano	LC4	IV
Calcarea massiccio	LC2	V
Conglomerati marini poligenici (Conglomerati di Gambassi Terme)	LS1	C
Calcareniti e calciruditi bioclastiche (Calcareniti di S. Mariano)	LC4	II
Sabbie e arenarie gialle (Sabbie di S. Vivaldo)	LS2	3
Marne a Posidonomya	LS3	I
Calcari e marne a Rhaetavicula contorta	LC6	III
Rosso ammonitico	LC4	III
Frane in evoluzione (attiva s.s. riattivata sospesa quiescente)	LI1	2
Frane senza indizi di evoluzione (stabilizzate paleofrane relitte)	LI1	2
Depositi di versante (Olocene)	LI1	2
Depositi alluvionali attuali	LI4	3
Depositi eluvio-colluviali (Olocene)	LI5	2
Depositi colluviali (Olocene)	LI5	2
Depositi alluvionali (Olocene)	LI3	5
Depositi alluvionali (Olocene)	LI4	3
Depositi alluvionali (Olocene)	LI4	2
Travertini (Pleistocene)	LC2	D

Tab. 2. Legenda di codifica delle caratteristiche di permeabilità [op. cit., R.T.].

Cod	Permeabili	Tipol_perm	Suolo_SCS
1	Permeabilità' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità')	C
2	Permeabilità' medio-bassa	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità')	C
3	Permeabilità' media	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità')	B
4	Permeabilità' medio-alta	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità')	B
5	Permeabilità' alta	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità')	A
A	Permeabilità' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' MISTA	C
B	Permeabilità' medio-bassa	PERMEABILITA' MISTA	C
C	Permeabilità' media	PERMEABILITA' MISTA	B
D	Permeabilità' medio-alta	PERMEABILITA' MISTA	B
E	Permeabilità' alta	PERMEABILITA' MISTA	A
I	Permeabilità' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	C
II	Permeabilità' medio-bassa	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	C
III	Permeabilità' media	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	B
IV	Permeabilità' medio-alta	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	B
V	Permeabilità' alta	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	A
IM	Impermeabile	IMPERMEABILE	D
NRC	Aree non rilevate o non classificate	AREE NON RILEVATE o NON CLASSIFICATE	D

Tab. 3. Tabella di associazione permeabilità-tipologia suoli secondo la catalogazione S.C.S.