



Acea Elabori SpA

---

LG 006 – Ed. 2 - Rev. 1

## Redazione della verifica di compatibilità idraulica

Linea Guida

Validità: 16 settembre 2019

---

REDAZIONE		VERIFICA		APPROVAZIONI	
Responsabile Competenza Idraulica	Centro di Modellistica Eugenio Benedini	Responsabile Sistema Gestione Qualità	Laura CAPUANI	Rappresentante della Direzione del Sistema Integrato Qualità, Ambiente e Sicurezza	Paolo MORICONI

---

## INDICE

<b>1 MODALITÀ DI DISTRIBUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2 SCOPO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 CAMPO DI APPLICAZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>4 DEFINIZIONI.....</b>	<b>3</b>
<b>5 MODALITÀ OPERATIVE .....</b>	<b>3</b>
<b>5.1 FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO .....</b>	<b>5</b>
5.1.2 LOCALIZZAZIONE DELL’AREA DI INTERESSE .....	5
5.1.3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	5
5.1.3 INQUADRAMENTO VINCOLISTICO .....	5
<b>5.2 FASE 2 – ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>5</b>
5.2.1 CARATTERISTICHE BACINO DI RIFERIMENTO .....	6
5.2.2 ASPETTI CLIMATICI .....	6
5.2.3 TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI .....	8
5.2.4 ANALISI DELLA PORTATA AL COLMO DI PIENA .....	12
<b>5.3 FASE 3 – VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>14</b>
5.3.1 DEFINIZIONE DEL TIPO DI INTERFERENZA.....	14
5.3.2 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI CRITICHE.....	15
5.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE.....	15
<b>6 REDAZIONE DELLA “RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA” .....</b>	<b>19</b>
<b>7 ELENCO MODULI.....</b>	<b>19</b>

## **1 MODALITÀ DI DISTRIBUZIONE**

La distribuzione avviene tramite pubblicazione su rete intranet aziendale.

## **2 SCOPO**

La presente linea guida ha lo scopo di definire i contenuti tipici e le modalità di redazione delle relazioni di verifica di compatibilità idraulica di tutte le opere che determinino interferenza con corsi d'acqua e corpi idrici, previsti nell'ambito delle attività affidate alla Società

## **3 CAMPO DI APPLICAZIONE**

Il presente documento si applica alle attività svolte nell'ambito del Centro di Competenza "Modellistica Idraulica" (CdC MID) della Soc. ACEA Elabori SpA e deve quindi essere applicata da tutto il personale coinvolto in tale attività, al fine di standardizzare le modalità di verifica di compatibilità idraulica e di redazione della "Relazione di verifica di compatibilità idraulica".

I criteri descritti in questa linea guida devono essere estesi anche agli eventuali Consulenti Specialistici esterni, qualora la documentazione da loro prodotta diventi parte integrante dei documenti progettuali, senza ulteriori elaborazioni da parte dei tecnici del citato CdC.

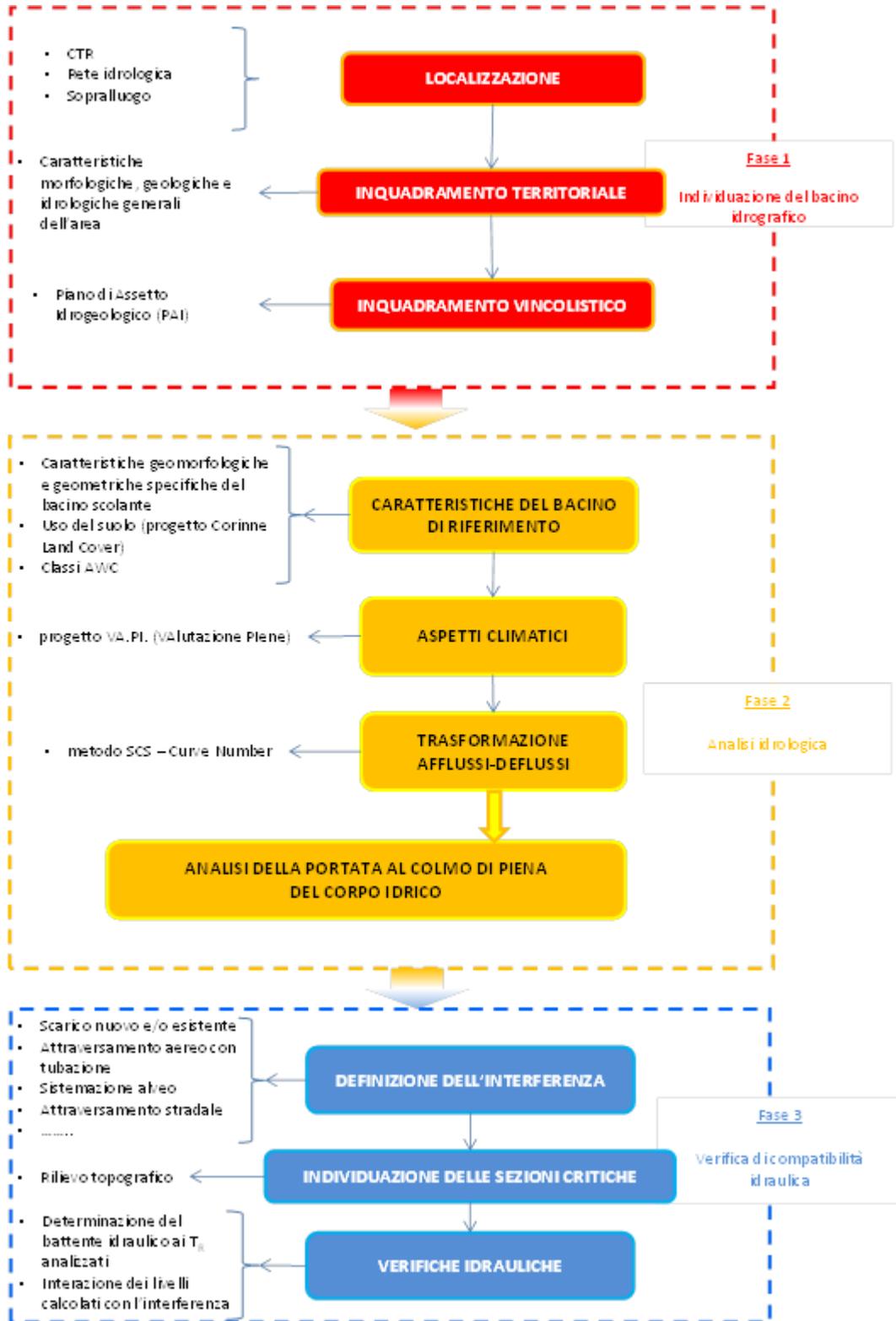
## **4 DEFINIZIONI**

L'analisi di compatibilità idraulica è necessaria ogniqualvolta si progetta la realizzazione di opere che comportano modifiche all'idraulica del territorio ed affronta gli aspetti inerenti la possibilità che il livello di rischio idraulico possa essere aumentato dall'intervento previsto al punto di creare criticità idrauliche dove prima non ve ne erano.

La **verifica di compatibilità idraulica** ha quindi lo scopo fondamentale di analizzare le interferenze che un intervento (scarico nuovo o esistente, sistemazione dell'alveo, attraversamenti aerei con tubazioni, attraversamenti stradali, ecc.) determina sul naturale deflusso del corpo idrico interessato nonché le possibili alterazioni del regime idraulico.

## **5 MODALITÀ OPERATIVE**

La metodologia adottata è sinteticamente rappresentata nel diagramma di seguito riportato:



## 5.1 FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

### 5.1.2 Localizzazione dell'area di interesse

Individuazione dell'area in cui ricade l'intervento da un punto di vista geografico ed amministrativo mediante la localizzazione su:

- Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000);
- Google Earth;
- Ortofoto.

### 5.1.3 Inquadramento territoriale

Una volta definita la sezione di chiusura, ovvero la sezione del corso d'acqua in corrispondenza della quale è situata l'interferenza, si dovrà generare un **poligono georeferenziato** rappresentativo del bacino drenante del corso d'acqua di interesse.

Si individua il sottobacino di appartenenza e se ne descrivono le caratteristiche geografiche generali, quali:

- Quote medie, minime e massime;
- Acclività;
- Caratteristiche geologiche generali dell'area
- Idrologia generale dell'area.

Per tale individuazione è preferibile operare in ambiente GIS per facilitare l'analisi idrologica descritta nella fase 2.

### 5.1.3 Inquadramento vincolistico

Inquadramento dell'assetto idraulico dell'area, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione, mediante l'analisi degli strumenti vincolistici disponibili (ad esempio i **Piani stralcio di Assetto Idrogeologico** e le **Carte di Rischio Idraulico**).

## 5.2 FASE 2 – ANALISI IDROLOGICA

Lo studio idrologico è articolato nelle seguenti fasi:

- analisi delle caratteristiche morfologiche del bacino idrografico, pervenendo alla determinazione della superficie del bacino e del coefficiente di deflusso;
- individuazione del tempo di corrivazione in funzione delle suddette caratteristiche morfologiche del bacino;
- elaborazione dei dati di precipitazione disponibili per giungere alla individuazione delle curve di probabilità pluviometrica per diversi valori delle probabilità di non superamento (tempi di ritorno);

- valutazione delle portate al colmo prevedibili nella sezione di chiusura del bacino, in funzione dei diversi tempi di ritorno investigati.

### 5.2.1 Caratteristiche bacino di riferimento

Individuazione delle specifiche caratteristiche del bacino drenante individuato, quali:

- lunghezza e pendenza media dell'asta;
- quota minima, media e massima dell'asta;
- superficie e pendenza media del bacino scolante.

Lunghezza massima asta	Pendenza media asta	Quota minima asta	Quota massima asta	Quota media asta	Pendenza med bacino	Area
m	%	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	%	kmq

Tabella 1 – Dati principali relativi al bacino considerato.

Relativamente all'analisi del bacino scolante considerando le sue caratteristiche geomorfologiche e geometriche al fine di determinare il/i coefficiente/i di afflusso e le aree che contribuiscono alla generazione degli afflussi sono analizzate le tipologie di suoli presenti e la distribuzione dell'uso del suolo relativo (progetto Corinne Land Cover CLC) dell'Unione Europea, basato su immagini satellitari SPOT-4 HRVIR, SPOT 5 HRG e/o IRS P6 LISS III.

Relativamente alle caratteristiche dei suoli è presa in considerazione la propensione all'immagazzinamento dell'acqua rappresentata dal parametro AWC.

### 5.2.2 Aspetti climatici

Ai fini dell'individuazione delle curve di probabilità pluviometrica ai vari tempi di ritorno si procede alla valutazione degli eventi piovosi estremi mediante la procedura VA.PI. (VALutazione PIene) elaborata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR.

La metodologia utilizzata fa riferimento a quella proposta su scala nazionale dal progetto VA.PI. del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI).

E' adottato il modello probabilistico a doppia componente (**TCEV**) che interpreta i massimi annuali come il risultato di elaborazioni di due popolazioni differenti: massimi ordinari ed eventi massimi straordinari.

Le elaborazioni relative all'applicazione di tale modello fanno riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica in cui i parametri sono stati valutati per scale regionali differenti.

Il modello TCEV costituisce una generalizzazione del modello di Gumbel risultando di fatto costituito dal prodotto di due leggi di Gumbel, la prima per l'interpretazione dei massimi ordinari, la seconda per l'interpretazione dei massimi straordinari.

Il modello ha generica forma

$$Id(Tr) = K_t (Tr) \mu_{id}$$

con:  $I_d(Tr)$ : intensità di pioggia di durata  $d$  e tempo di ritorno  $Tr$

$K_t(Tr)$ : coeff. di crescita dipendente dal tempo di ritorno  $Tr$

$\mu_{id}$ : media annuale delle intensità di pioggia di durata  $d$

Il coefficiente di crescita  $K_t$  si calcola in base a delle elaborazioni statistiche effettuate sui dati al primo e secondo livello di regionalizzazione che, per la zona considerata fa riferimento al rapporto del GNDCI per l'Italia centrale (Sezioni idrografiche di Roma-Pescara).

Per il calcolo dell'intensità di pioggia in dipendenza della durata e del tempo di ritorno si utilizza la formula seguente:

$$i_d = K_T \mu_{i0} \left( \frac{b}{b+d} \right)^m$$

Il primo livello riguarda l'Italia Centrale che è stata a sua volta suddivisa in tre regioni omogenee:

zona A -Tirrenica

zona B -Appenninica

zona C -Adriatica

Ciascuna zona della regionalizzazione (A, B o C) è caratterizzata come coefficiente di crescita per tempi di ritorno dalla evoluzione nella tabella seguente:

TR (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
Kt (zona A)	0,89	1,22	1,49	1,84	1,97	2,29	2,45	2,98	3,52	4,23	4,77
Kt (zona B)	0,96	1,25	1,45	1,64	1,70	1,83	1,89	2,07	2,26	2,51	2,70
Kt (zona C)	0,9	1,29	1,59	1,9	2,01	2,22	2,2	2,4	2,6	3,8	3,70

Per il calcolo del valor medio si utilizzano i parametri del terzo livello di regionalizzazione, quindi è necessario individuare la sottozona all'interno della quale ricade il bacino in esame.

Ad esempio se l'area rientra nella sottozona A4 ed è caratterizzata da una quota media del bacino di 50 m slm i coefficienti della regionalizzazione risultano essere:

$$c = 0,03390 \text{ [mm/m]}$$

$$b = 0,17049 \text{ [h]}$$

$$m = 0,78811$$

$d = 67,67126$  [mm]

$\mu_{i0} = 164,137$  [mm/h]

### 5.2.3 Trasformazione afflussi - deflussi

Per la trasformazione degli afflussi in deflussi viene applicato il metodo cinematico o metodo del tempo di corrivazione.

Le assunzioni su cui detto metodo si basa sono le seguenti:

- la formazione della piena è dovuta unicamente ad un trasferimento della massa liquida
- ogni goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende solo dal punto in cui è caduta
- la velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce
- la portata defluente è data dalla somma delle portate elementari provenienti dalle diverse parti del bacino, che si presentano nello stesso istante alla sezione di chiusura

Con queste ipotesi si può affermare che si ha il massimo contributo di tutto il bacino alla formazione della piena nel momento in cui tutte le gocce cadenti su ogni punto del bacino hanno raggiunto la sezione di chiusura. Questo avviene solo dopo un tempo pari al tempo di corrivazione del punto più lontano (detto tempo di corrivazione del bacino o semplicemente tempo di corrivazione). Le piogge critiche saranno quindi quelle i cui eventi intensi hanno durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

Per il calcolo della portata che defluisce in alveo in seguito all'evento di pioggia si adotta il metodo del **SCS – Curve Number**, metodo che prevede l'attivazione del processo di ruscellamento al superamento della capacità di infiltrazione del suolo, consente di tenere in considerazione le differenze di ruscellamento in caso di suolo secco (condizioni estive), umido e saturo (sequenza ravvicinata di afflussi giornalieri). In base a tale approccio, i dati di pioggia vengono depurati dalle perdite che si hanno a causa dell'infiltrazione e dell'accumulo temporaneo negli strati superficiali del suolo.

Il metodo dei Curve Number è un metodo empirico (Rallison e Miller, 1981) basato sulla seguente equazione:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)}$$

in cui  $Q_{surf}$  Ruscellamento accumulato o eccesso di precipitazione

$R_{day}$  Precipitazione giornaliera

$I_a$  Assorbimento d'acqua iniziale (include l'immagazzinamento superficiale, l'intercettazione e l'infiltrazione)

$S$  Parametro di ritenzione

Per il calcolo della portata di ruscellamento si suppone che l'assorbimento d'acqua iniziale, sia funzione delle perdite massime ammissibili e quindi esprimibile come:

$$I_a = \alpha S$$

Con  $\alpha$  che assume, per la realtà italiana, valori compresi tra 0,1 e 0,3 (per i calcoli seguenti verrà utilizzato 0,2 come valore).

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura litologica e pedologica del terreno e dall'uso del suolo. L'equazione proposta dal SCS è rappresentabile sul piano  $P - P_e$ , con un numero infinito di curve comprese tra la bisettrice dove  $S$  è uguale a zero, e l'asse delle ascisse dove  $S$  assume il teorico valore infinito. Data la notevole variabilità del parametro  $S$ , si fa ricorso ad un artificio con il quale si determina il Curve Number (CN) utilizzando la seguente equazione che rappresenta sul piano  $P - P_e$  e una famiglia di curve:

$$CN = 25400 / (254 + S)$$

Dove  $S$  è espresso in mm

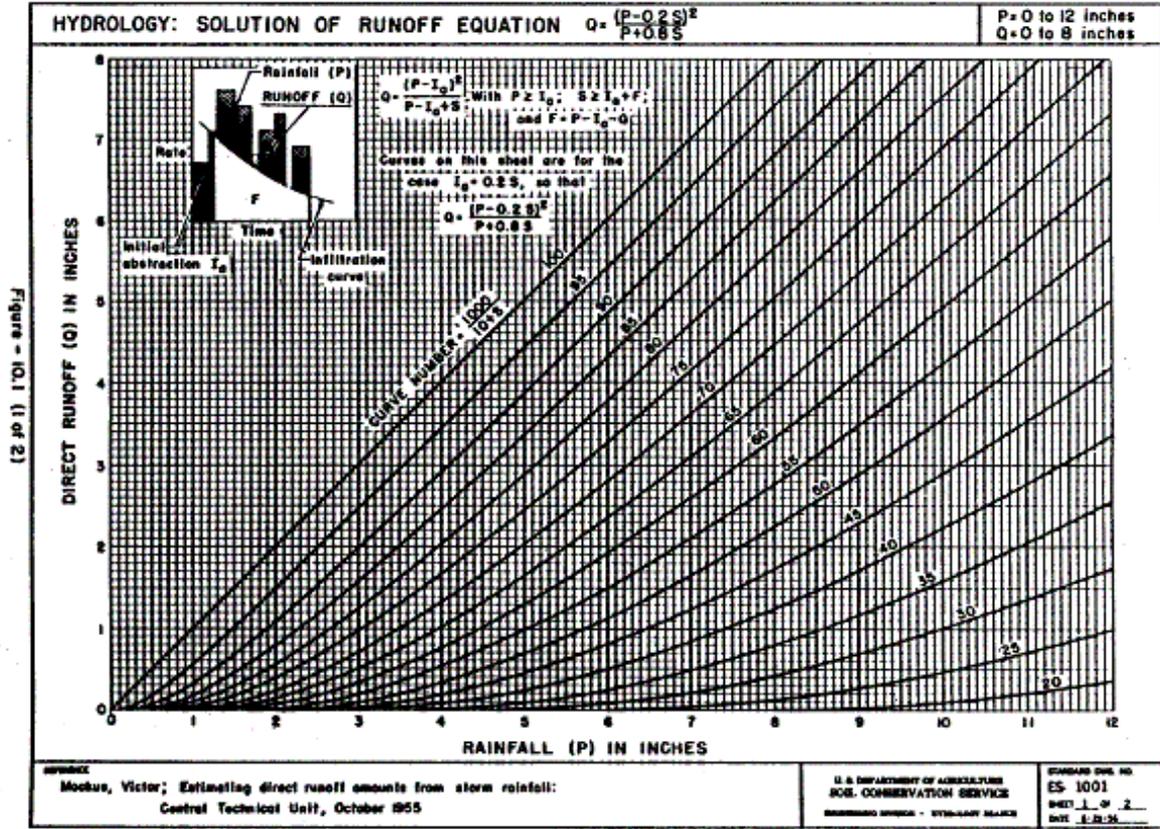
Esplicitando  $S$  si ha

Il parametro di ritenzione è una funzione del tipo di suolo, del tipo di uso del suolo, della pendenza, della gestione del territorio (pratiche agricole) e delle variazioni temporali di contenuto d'acqua del suolo; e può essere calcolato mediante la:

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui CN rappresenta il curve number.

La figura seguente mostra una soluzione grafica per la equazione precedente.



I curve number sono funzioni di differenti combinazioni di tipo di suolo, tipo di copertura, pendenza e condizioni idrauliche, ed i valori di riferimento per ciascuna di queste combinazioni sono riassunti nelle tabelle seguenti.

Cover			Hydrologic Soil Group			
Land Use	Treatment or Practice	Hydrologic Condition	A	B	C	D
Fallow	Straight Row	---	77	86	91	94
		Poor	72	81	88	91
Row Crops	Straight Row	Good	67	78	85	89
		Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
		Poor	66	74	80	82
	Terraced	Good	62	71	78	81
		Poor	65	76	84	88
Small Grain	Straight Row	Good	63	75	83	87
		Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
		Poor	61	72	79	82
	Terraced	Good	59	70	78	81
		Poor	61	72	79	82

Cover			Hydrologic Soil Group			
Land Use	Treatment or Practice	Hydrologic Condition	A	B	C	D
Close-seeded Legumes or Rotation Meadow	Straight Row	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	Terraced	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80
Pasture or Range	Natural	Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
		Fair	25	59	75	83
		Good	6	35	70	79
Meadow	Natural	Good	30	58	71	78
Woods	Natural	Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads	---	---	59	74	82	86
Roads	(dirt)	---	72	82	87	89
	(hard surface)	---	74	84	90	92

I Gruppi Idrologici che compaiono nelle tabelle rappresentano una attitudine maggiore o minore del suolo al ruscellamento come di seguito evidenziato.

Gruppo di appartenenza	Comportamento
Gruppo Idrologico A	Bassa propensione al ruscellamento
Gruppo Idrologico B	Media propensione al ruscellamento
Gruppo Idrologico C	Discreta propensione al ruscellamento
Gruppo Idrologico D	Alta propensione al ruscellamento

I valori dei CN espressi nella tabella precedente valgono in condizioni di terreno umido, il metodo applicato consente infatti una variazione del valore dei CN in funzione delle condizioni idrauliche (terreno secco, umido o saturo).

I CN si modificano quindi in base alle relazioni seguenti:

Per terreno secco

$$CN_s = CN - \frac{20(100 - CN)}{(100 - CN + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN)])}$$

Per terreno saturo

$$CN_{sat} = CN \times \exp[0.00673(100 - CN)]$$

Il metodo proposto è applicabile su pendii con acclività non superiori al 5%, è stato quindi introdotto per pendenze maggiori un CN modificato (CN<sub>2</sub>):

$$CN_2 = \frac{(CN_{sat} - CN)}{3} \times [1 - 2 \exp(-13.86 \text{Acclività})] + CN$$

La stima del tempo di corrivazione viene effettuata mediante il metodo VAPI in cui viene valutata sia la formula di Kirpich per superfici inferiori ad 1 km<sup>2</sup> e la formula di Giandotti per superfici maggiori di 75 km<sup>2</sup>, nella tabella seguente sono indicate le formule utilizzate:

Tabella - Tempo di Corrivazione

Giandotti	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\bar{h} - h_s}}$	<i>t<sub>c</sub></i> : Tempo di corrivazione in ore <i>A</i> : area del bacino in km <sup>2</sup> <i>L</i> : lunghezza asta principale in km $\bar{h}$ : quota media del bacino <i>h<sub>s</sub></i> : quota della sezione di chiusura
Kirpich	$t_c = 0.93 \left( \frac{L}{\sqrt{\frac{h_{max}}{L}}} \right)^{0.77}$	<i>t<sub>c</sub></i> : Tempo di corrivazione in ore <i>L</i> : lunghezza asta principale in km <i>h<sub>max</sub></i> : quota massima del bacino
VAPI	$t_c = \begin{cases} t_{bK}, & \text{per } A < 1 \text{ km}^2 \\ t_{bG} \frac{(A-1)}{74} + t_{bK} \frac{(75-A)}{74}, & \text{per } 1 \leq A \leq 75 \text{ km}^2 \\ t_{bG}, & \text{per } A > 75 \text{ km}^2 \end{cases}$	<i>t<sub>bK</sub></i> : Tempo di corrivazione con Kirpich <i>t<sub>bG</sub></i> : Tempo di corrivazione con Giandotti <i>A</i> : area del bacino in km <sup>2</sup>

#### 5.2.4 Analisi della portata al colmo di piena

La valutazione delle portate al colmo di piena viene effettuata mediante il metodo SCS (Soil Conservation Service). La piena viene semplificata con un idrogramma triangolare asimmetrico. Infatti nelle numerose piene che costituiscono la base sperimentale il SCS ha rilevato che mediamente i 3/8 (ovvero il 37.5%) del deflusso diretto transitano durante la fase di concentrazione della portata (ramo ascendente dell'idrogramma) e i restanti 5/8 durante la fase di esaurimento.

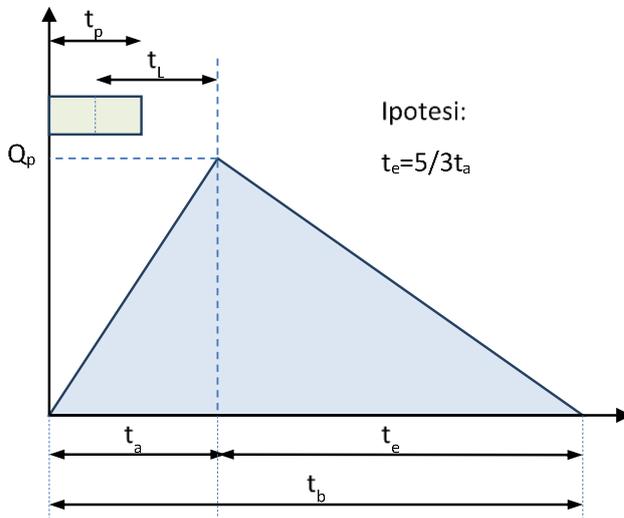


Figura 1 - Esempificazione della piena nel metodo SCS

$$Q_p = 0.208 \frac{P_e A}{t_a}$$

Dove

$Q_p$  Portata al colmo di piena in  $m^3 s^{-1}$

$P_e$  Pioggia efficace in  $mm$

$A$  Area del bacino in  $km^2$

$t_a$  Tempo di accumulo in ore

In modo geometrico, nell'ipotesi di una pioggia di intensità costante,  $t_a$  vale

$$t_a = 0.5 t_p + t_L$$

Dove

$t_p$  Durata dell'evento meteorico in ore

$t_L$  Tempo di ritardo in ore (distanza fra il baricentro dello ietogramma e il picco dell'idrogramma triangolare)

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Dove

- |     |   |
|-----|---|
| $s$ | È la pendenza del bacino espressa in %  |
| $L$ | È la lunghezza dell'asta principale prolungata fino allo spartiacque espressa in km |
| CN  | E' il curve number  |

La formulazione classica suggerisce una durata critica legata al tempo di corrivazione  $t_c$  mediante la relazione

$$t_p = 2\sqrt{t_c}$$

Valida per  $t_L > 1.67$  ore

Per  $t_L < 1.67$ , una soluzione pratica è quella di adottare una durata di pioggia pari al doppio del tempo di ritardo

In via cautelativa, si può assumere il tempo di pioggia uguale al tempo di corrivazione.

Sulla base delle precedenti considerazioni vengono calcolate le portate di colmo per i tempi di ritorno ( $T_r$ ) considerati.

**La determinazione delle portate al colmo di piena deve essere effettuata con tempo di ritorno almeno due-centennale ( $T_r = 200$  anni).**

## 5.3 FASE 3 – VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

### 5.3.1 Definizione del tipo di interferenza

Viene specificato il tipo di interferenza oggetto di studio e se ne definiscono le caratteristiche tecniche e geometriche che possono determinare le criticità idrauliche, quali ad esempio:

- Quota e posizione dell'interferenza;
- Portata massima prevista dallo scarico;
- Dimensioni dell'attraversamento;
- Variazioni di sezione dovute ad interventi di rimodellazione dell'alveo;
- Materiali di rivestimento dell'alveo;
- ...

### 5.3.2 Individuazione delle sezioni critiche

Per la verifica della compatibilità idraulica del corso d'acqua analizzato sarà realizzato il **rilievo topografico** del tratto di fosso individuato in modo da evidenziare le sezioni critiche per le quali è necessario verificare la capacità di deflusso.

Tra queste vanno necessariamente inserite:

- Sezione in corrispondenza dell'interferenza;
- Sezioni particolarmente significative e critiche (attraversamenti e ponti stradali, restringimenti naturali o meno; manufatti idraulici; variazioni di pendenza, ecc.)
- Sezioni a monte e/o a valle dell'interferenza che caratterizzano in maniera rilevante il deflusso del corso d'acqua.

Le principali caratteristiche geometriche delle sezioni rilevate vengono riepilogate in una tabella, dove saranno riportati la dimensione della sezione in mq, il perimetro bagnato corrispondente al massimo tirante nella sezione in m e la pendenza media del tratto di alveo corrispondente alla sezione.

Ad esempio:

Sezione	$\Omega$ (mq)	B (m)	i (m/m)
Sezione 1	27,1	15,8	0,001515
Sezione 2	35,8	18,5	0,001318
Sezione 3	40,6	20,3	0,001501
Sezione 4	45,5	22,3	0,001501
Sezione 5	54,6	23,0	0,009037

### 5.3.3 Verifiche idrauliche

Una volta individuate le sezioni critiche si procede alla determinazione del battente idrico determinato dal passaggio delle portate calcolate ai vari Tr.

Nel caso si stia effettuando la verifica di compatibilità idraulica finalizzata all'ottenimento dell'autorizzazione allo scarico, si deve tenere presente che la verifica dovrà essere effettuata sia in condizioni naturali (considerando solo le portate al colmo ottenute nell'analisi di cui a paragrafi precedenti) sia tenendo in considerazione il contributo di portata massima dello scarico da autorizzare.

La verifica idraulica può essere eseguita o utilizzando la formula di Chézy valida per deflussi di correnti a pelo libero in moto uniforme assolutamente turbolento oppure con l'ausilio di un software specifico (es. Infoworks ICM o HEC-RAS). Nel proseguo si considera l'applicazione del software open-source HEC-RAS, sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC), utilizzato per la

modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS), ipotizzando condizioni di moto permanente con portata costante.

La verifica idraulica eseguita utilizzando la formula di Chézy è valida per deflussi di correnti a pelo libero in moto uniforme assolutamente turbolento:

$$V = \chi \sqrt{Ri}$$

con: V = velocità di deflusso nel canale (m/s)

$\chi$  = parametro di Chezy (coefficiente di conduttanza)

R = raggio idraulico (m)

i = pendenza del canale

Il coefficiente di conduttanza  $\chi$  viene determinato mediante la formula empirica di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s R^{\frac{1}{6}}$$

con:  $K_s$  = coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler ( $m^{1/3}/s$ )

R = raggio idraulico (m)

Il **coefficiente di scabrezza  $K_s$**  assumerà valore diverso in funzione delle caratteristiche e del grado vegetativo della superficie del fondo e delle sponde dell'alveo, in base alla seguente tabella:

tipo di superficie	Ks ( $m^{1/3}/s$ )	
	Minimo(*)	Massimo(**)
<i>canali rivestiti in</i>		
cls liscio	91	67
cls grezzo	71	50
pietrame ben sistemato con giunti stilati	67	50
pietrame con giunti stilati	59	42
blocchi in cls ben accostati	50	33
<i>canali con fondo in ghiaia e sponde in</i>		
cls	59	40

tipo di superficie	Ks (m <sup>1/3</sup> /s)	
	Minimo(*)	Massimo(**)
<i>canali rivestiti in</i>		
cls lisciato	91	67
pietrame con giunti stilati	50	38
scogliera	43	28
<i>canali in terra non rivestiti</i>		
non vegetati	63	40
non vegetati, con ghiaia	45	33
poco inerbiti, rare alghe	45	30
con sezione interamente occupata da alghe	20	8
con rare alghe e sponde mediamente cespugliate	22	9
con alghe e sponde fortemente cespugliate	13	7
<i>alvei in terra regolarizzati (o rogge)</i>		
non vegetati	43	33
poco inerbiti, rare alghe	40	30
molto vegetati, molte alghe	36	29
con sponde in pietrame	36	29
con sponde ben inerbite	40	25
con fondo in ciottoli e sponde non vegetate	33	20
<i>alvei in roccia</i>		
con sezione ben regolarizzata	20	25
irregolari	29	20

(\*)Minimo = assolutamente rispondente alla descrizione.

(\*\*)Massimo = in condizioni limite per passare ad una tipologia "peggiore". Ad es. cls deteriorato, mal realizzato, con qualche inerbimento, ecc...

Nella modellazione idraulica svolta con il software HEC RAS le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle, a seconda che il regime sia rispettivamente supercritico o subcritico, risolvendo, con la procedura iterativa dello standard step method, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H$$

dove i pedici 1 e 2 si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

$h_1$  e  $h_2$  sono le altezze idriche;

$z_1$  e  $z_2$  sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;

$V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;

$\Delta H$  è la perdita di carico tra le due sezioni.

La perdita di carico tra le due sezioni viene valutata come la somma di due termini: una componente di attrito  $h_f$ , dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning, e una componente  $h_0$  che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico:

$$\Delta H = h_f + h_0 = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right|$$

con

$\bar{S}_f$ : cadente della linea dei carichi totali;

C : coefficiente di contrazione/espansione

HEC-RAS possiede quattro diverse modalità per la valutazione della cadente media:

1. Trasporto medio valutato tra le sezioni 1,2:  $\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)$  (utilizzata nella presente relazione di calcolo)
2. Media aritmetica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2
3. Media geometrica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2
4. Media armonica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni

Tramite la formula di Chezy viene infine calcolato il valore delle *conveyance* K (Capacità di deflusso):

$$Q = K S_f^{1/2} \text{ e } K = 1/n A \cdot R^{2/3}$$

Con

K *conveyance* espressa in  $m^3/s$ ;

n coefficiente di scabrezza di Manning espressa in  $m^{1/3}/s$ ;

A area relativa al deflusso espressa in  $m^2$ ;

R raggio idraulico espresso in m

Le condizioni al contorno sono quelle proprie di moto permanente, calcolate in automatico dal programma mediante le formule di Manning. Non essendo noto a priori il tipo di corrente che si instaura nei tratti oggetto della verifica si inseriscono i valori di "Normal depth" ovvero della pendenza del fondo del canale sia nella sezione di monte che nella sezione di valle. Nei vari scenari di calcolo viene assegnata la portata valutata.

Successivamente, dall'analisi dei risultati e in particolare dal valore assunto dal Numero di Froude si può riconoscere se, il regime che si instaura nel particolare tratto di compluvio verificato, è di corrente lenta o di corrente veloce a seconda che il suddetto coefficiente assuma rispettivamente un valore inferiore o superiore all'unità.

## 6 REDAZIONE DELLA "RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA"

### Contenuti minimi

La documentazione tecnica minima deve contenere tutti gli argomenti analizzati nelle tre fasi operative:

- la localizzazione, l'inquadramento territoriale e vincolistico del bacino idrografico sotteso alla sezione in corrispondenza della quale è localizzata l'interferenza;
- l'analisi idrologica per la determinazione delle portate al colmo di piena con tempo di ritorno almeno due-centennale;
- le verifiche idrauliche in corrispondenza delle sezioni critiche e l'analisi dei livelli idrici individuati.

### Indice

In base i contenuti minimi sopra esposti, l'indice dovrà contenere i seguenti capitoli:

- Cap. 1 Premessa
- Cap. 2 Localizzazione (limiti geografici ed amministrativi)
- Cap. 3 Bacino idrografico di interesse (descrizione dell'inquadramento territoriale e vincolistico del bacino individuato)
- Cap. 4 Analisi Idrologica (caratteristiche del bacino idrografico, aspetti climatici, trasformazione afflussi- deflussi e calcolo della portata al colmo)
- Cap. 5 Verifiche di compatibilità idraulica

### Allegati grafici minimi

- Carte di inquadramento territoriale e vincolistico
- Rilievo della planimetria e delle sezioni di verifica
- Rappresentazione grafica delle verifiche idrauliche

## 7 ELENCO MODULI

Titolo modulo	Codice modulo
Check List - Relazione di verifica di compatibilità idraulica	MD LG006A