

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA:

MANDANTE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI, TRATTA NAPOLI-CANCELLO, IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014**

IDROLOGIA E IDRAULICA

GENERALE

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO PIATTAFORMA FERROVIARIA

APPALTATORE	PROGETTAZIONE	
DIRETTORE TECNICO	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	
Ing. M. PANISI	Ing. A. CHECCHI	

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV SCALA:

I	F	0	E	0	0	E	Z	Z	R	G	I	D	0	0	0	2	0	0	1	B	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE	DI PLACIDO	14/06/18	MARTUSCELLI	15/06/18	D'ANGELO	15/06/18	MARTUSCELLI	
B	EMISSIONE PER RdV	DI PLACIDO	10/09/18	MARTUSCELLI	11/09/18	D'ANGELO	11/09/18		
									12/09/18

File: IF0E.0.0.E.ZZ.RI.ID.00.0.2.001-A

n. Elab.:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 2 di 70

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROLOGICO DELLE AREE NEI CONFRONTI DELLE PIOGGE DI BREVE DURATA E NOTEVOLE INTENSITÀ .....</b>	<b>6</b>
3.1	CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICHE E LORO SIGNIFICATO .....	6
3.2	PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA DETERMINAZIONE DI $\xi_{h_d}$ E $K_T$ .....	6
3.3	SCELTA DEL MODELLO PROBABILISTICO E DEL PARAMETRO $\xi_{h_d}$ .....	8
3.4	INDIVIDUAZIONE DELL'ESPRESSIONE $\xi_{h_d} = \xi_{h_d}(d, z)$ DA PRENDERE A RIFERIMENTO .....	12
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME CHE POSSONO PERVENIRE DALLA PIATTAFORMA FERROVIARIA A CAUSA DI PIOGGE INTENSE E CHE POSSONO ESSERE SUPERATE, MEDIAMENTE, OGNI T ANNI .....</b>	<b>21</b>
4.1	GENERALITÀ SUL MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE AFFLUENTI AI COLLETTORI .....	21
4.2	MODALITÀ CON LE QUALI È POSSIBILE PORTARE IN CONTO LA DURATA DELLA PIOGGIA E IL COSIDDETTO "EFFETTO AREA" .....	23
4.3	VALORI ASSEGNATI AI COEFFICIENTI DI AFFLUSSO RELATIVI ALLE DIVERSE AREE DRENATE	24
4.4	VALORE ASSEGNATO AL VOLUME SPECIFICO DEI PICCOLI INVASI.....	24
4.5	DETERMINAZIONE DELL'ESONENTE $\alpha$ DELLA SCALA DI DEFLUSSO .....	25
4.6	MODALITÀ DI APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA PROPOSTA DA CIMORELLI ET AL. (2015)	25
<b>5</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DEI FOSSI DI GUARDIA POSTI AL PIEDE DEI RILEVATI FERROVIARI .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME ISTANTANEE E DEI MASSIMI VOLUMI DI PIENA AFFLUENTI AI FOSSI DRENANTI, UBICATI RISPETTIVAMENTE, IN SX E IN DX DEL TRATTO IN RILEVATO, E VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI TALI FOSSI DRENANTI AD ACCOGLIERE SENZA ESONDAZIONI, PER TUTTI GLI EVENTI METEORICI CARATTERIZZATI DA UN PERIODO DI RITORNO <math>T=100</math> ANNI, SIA LE ACQUE DI PIATTAFORMA CHE QUELLE PROVENIENTI DALLE AREE IMMEDIATAMENTE LATISTANTI ALLA STESSA .....</b>	<b>31</b>
6.1	PROBLEMATICHE DA AFFRONTARE E RISOLVERE .....	31
6.2	STIMA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PORTATE ISTANTANEE E DELLE PORTATE MEDIE IN PREASSEGNATE DURATE $D$ E CORRISPONDENTI AD ASSEGNATI PERIODI DI RITORNO $T$ CHE POSSONO AFFLUIRE ALLE SEZIONI INIZIALI DEI FOSSI DISPERDENTI.....	31
6.3	APPROCCIO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE, SU BASE PROBABILISTICA, DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PORTATE AL PICCO E DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PORTATE MEDIE IN ASSEGNATE DURATE $D$ (APPROCCIO "MASSIMIZZANTE" O "VARIAZIONALE").....	34

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 3 di 70

6.3.1.1	<i>Necessità di applicazione di un approccio “variazionale” (o “massimizzante”)</i> .....	34
6.3.1.2	<i>Modalità di sviluppo dell'approccio variazionale</i> .....	37
6.3.1.3	<i>Elaborazioni preliminari necessarie per l'applicazione dell'approccio variazionale</i> .....	39
6.4	<b>VALUTAZIONE DEL FATTORE DI RIDUZIONE AREALE</b> .....	40
6.5	<b>IL MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI → DEFLUSSI</b> .....	42
6.5.1.1	<i>Generalità</i> .....	42
6.5.1.2	<i>Valutazione del tempo di corrivazione dei vari bacini presi a riferimento</i> .....	44
6.5.1.3	<i>Valutazione, attraverso il metodo della corrivazione, degli idrogrammi di piena conseguenti a piogge, uniformemente distribuite su un bacino, di preassegnato andamento nel tempo</i> .....	47
6.5.1.4	<i>Valutazione del coefficiente di afflusso</i> .....	55
6.6	<b>VERIFICA IDROLOGICO-IDRAULICA DEL FOSSI DISPERDENTI</b> .....	56
6.6.1.1	<i>Generalità</i> .....	56
6.6.1.2	<i>scale di efflusso dei fossi disperdenti (con efflusso causato dalla sola infiltrazione dal fondo e dalle pareti laterali del fosso)</i> .....	57
6.6.1.3	<i>Effetto di laminazione esercitato dai fossi disperdenti FD09 e FD10</i> .....	59
6.6.1.4	<i>Impostazione del problema</i> .....	59
6.6.1.5	<i>Modello di simulazione del comportamento idraulico di una capacità temporanea di accumulo (invaso, vasca, trincea drenante, fosso disperdente, ecc.)</i> 59	
6.6.1.6	<i>Approccio variazionale</i> .....	61
6.6.1.7	<i>Valutazione dell'effetto di laminazione esplicito dai fossi disperdenti</i> ...	63
6.6.1.8	<i>Modalità di realizzazione e manutenzione dei fossi disperdenti</i> .....	63
7	<b>DIMENSIONAMENTO/VERIFICA, SU BASI PROBABILISTICHE, DELLE CANALETTE E DEGLI ATTRAVERSAMENTI A SERVIZIO DEI TRATTI IN RILEVATO</b> .....	65
7.1	<b>PROBLEMATICHE DA AFFRONTARE E RISOLVERE</b> .....	65
7.2	<b>MODALITÀ DI ANALISI UTILIZZATE PER I CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO/VERIFICA</b> .....	65
7.3	<b>APPLICAZIONE DEL METODO ITALIANO DELL'INVASO NON LINEARE ALLE CONDOTTE</b> .....	65
8	<b>RISULTATI</b> .....	68

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>													
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>													
<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>													
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0E</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>RG</td> <td>ID.00.02.002</td> <td>A</td> <td>4 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	4 di 70
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	4 di 70								

## 1 **PREMESSA**

Il presente documento fa parte degli elaborati tecnici a corredo della "Progettazione esecutiva della Linea Ferroviaria Napoli-Bari, tratta Napoli-Cancello, in variante tra le PK. 0+000 e PK 15+585".

Scopo della presente relazione è il dimensionamento idraulico dei manufatti atti al collettamento ed allo smaltimento delle acque di drenaggio di piattaforma del nuovo tracciato ferroviario in progetto.

In particolare, le opere oggetto del presente documento sono costituite dalle canalette trapezoidali che corrono ai piedi dei rilevati ferroviari, sul lato sinistro e destro degli stessi.

In questa relazione vengono esposti i criteri che portano alla definizione degli eventi pluviometrici critici considerati per il dimensionamento dei manufatti e, successivamente, il dimensionamento idraulico degli stessi.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGIO S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>												
<b>PROGETTISTA:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<b>ASTALDI S.p.A.</b> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b> <b>ROCKSOIL S.p.A.</b>												
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAGINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0E</td> <td>0.0.E.ZZ</td> <td>RG</td> <td>ID.00.02.002</td> <td>A</td> <td>5 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	5 di 70
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA								
IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	5 di 70								

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015) - Legge. 2 febbraio 1974, n. 64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- RFI - Manuale di progettazione delle opere civili. Codifica: RFI DTC SI MA IFS 001 A.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 6 di 70

### 3 INQUADRAMENTO IDROLOGICO DELLE AREE NEI CONFRONTI DELLE PIOGGE DI BREVE DURATA E NOTEVOLE INTENSITÀ

#### 3.1 Curve di probabilità pluviometriche e loro significato

Allo scopo di dimensionare correttamente le varie tubazioni pluviali previste nel progetto esecutivo, risulta necessario individuare, nel modo più accurato, le massime portate di origine meteorica che possono affluire nelle diverse sezioni del collettore. A tale scopo, è di norma necessario individuare le cosiddette “*curve di probabilità pluviometrica*”, la cui determinazione costituisce lo specifico obiettivo della presente parte della Relazione.

Le “*curve di probabilità pluviometrica*” rappresentano, come noto, l'espressione grafica della legge  $h_{d,T} = h_{d,T}(d, T)$  con cui il massimo annuale  $h_d$  dell'altezza di pioggia che può affluire al suolo in un intervallo di tempo di durata  $d$ , varia con la durata e il periodo di ritorno  $T$ , dove per periodo di ritorno è da intendersi il numero medio di anni che bisogna attendere prima che il valore  $h_d$  assunto a base dei calcoli di dimensionamento/verifica venga superato.

E' possibile dimostrare che, indipendentemente dal tipo di modello probabilistico adottato, il valore  $h_{d,T} = h_{d,T}(d, T)$  può essere stimato, per ciascuna durata  $d$ , attraverso un'espressione del tipo:

$$h_{d,T} = \xi_{h_d} \cdot K_T \quad (1)$$

nella quale  $\xi_{h_d}$  rappresenta un parametro centrale della distribuzione di probabilità delle  $h_d$  (ad esempio, la media o il valore modale), dipendente solo dalla durata  $d$ , mentre il fattore  $K_T$ , definito in gergo tecnico come “*coefficiente di crescita col periodo di ritorno T*”, viene a dipendere, oltre che da  $T$ , dallo specifico modello probabilistico utilizzato e dallo specifico parametro centrale preso a riferimento.

#### 3.2 Problematiche connesse alla determinazione di $\xi_{h_d}$ e $K_T$

In generale, come si è già accennato in precedenza, la forma del legame:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. PAGINA <b>A 7 di 70</b>

$$K_T = K_T(T) \quad (2)$$

dipende, per una data regione omogenea rispetto ai massimi annuali dell'altezza di pioggia, solo dal particolare modello probabilistico adottato e dallo specifico parametro  $\xi_{h_d}$  preso a riferimento. In particolare, mentre per ogni  $T$  il valore di  $K_T$  risulta praticamente costante, dal punto di vista statistico, su zone molto ampie del territorio (dell'ordine anche delle migliaia di Km<sup>2</sup>), il valore di  $\xi_{h_d}$  varia fortemente da zona a zona, per cause di natura climatica e, soprattutto, per effetto dell'orografia regionale. Qualora, per ciascuna delle aree di transito della TAV NA-BA, si avessero a disposizione delle misure "dirette", in base alle quali ricavare i valori dei massimi annuali dell'altezza di pioggia in assegnate durate, una stima sufficientemente attendibile del parametro  $\xi_d$  potrebbe essere effettuata, a causa della sua scarsa variabilità campionaria, già in base a pochi anni di osservazione. Viceversa, l'affidabilità della stima dei parametri contenuti nell'espressione di  $K_T$  e, quindi, l'attendibilità stessa della stima di  $K_T$ , risulta fortemente condizionata dal ridotto numero di dati di norma a disposizione. Di conseguenza, mentre la valutazione di  $K_T$  può essere di norma effettuata solo in base ad un'analisi regionale, condotta su due distinti livelli (I e II Livello di analisi regionale), la valutazione del parametro  $\xi_d$  va effettuata, in assenza di dati pluviografici dedotti in base ad osservazioni effettuate direttamente in sito, tenendo conto, soprattutto, delle peculiarità proprie della specifica area presa in esame. In pratica, le alternative tecnicamente possibili per la stima di  $\xi_{h_d}$  risultano essere due:

- nel caso in cui risulti disponibile un congruo numero di dati (almeno una decina), si può effettuare la stima di  $\xi_{h_d}$  a partire direttamente da tali dati;
- nel caso, quale quello in esame, in cui non esistono misure dirette di altezze di pioggia in assegnate durate, si può ricorrere ad una Analisi Regionale, basata sull'utilizzazione delle informazioni pluviografiche disponibili in un certo intorno dell'area di interesse e sulle caratteristiche orografiche del territorio.

Nello specifico caso preso a riferimento, non sono disponibili misure pluviografiche direttamente eseguite in ciascuno dei siti di interesse. Nel territorio circostante la tratta della TAV NA-BA oggetto della presente Progettazione Esecutiva risultano, tuttavia, disponibili i dati provenienti da numerose stazioni di misura, sia pluviografiche che pluviometriche poste a distanza non troppo elevata dall'area di interesse. Tali dati possono essere utilizzati

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 8 di 70

nell'ambito di un'analisi regionale di III livello volta a determinare come il parametro  $\xi_{h_d}$  va variando, da sito a sito, soprattutto in relazione alla quota sul livello del mare.

Tanto premesso, in quanto segue viene dapprima illustrata, brevemente, la metodologia utilizzata per la determinazione del coefficiente di crescita  $K_T$  a partire dai dati pluviometrici e pluviografici disponibili per l'intera Regione Campania. Dopodiché, a partire da dati pluviometrici a disposizione in una vasta area circostante il territorio comunale, viene illustrato l'approccio utilizzato per l'individuazione del legame di regressione esistente tra il parametro centrale  $\xi_{h_d}$  e la durata. Infine, sono riportate le espressioni delle curve di probabilità pluviometriche relative a diversi periodi di ritorno  $T$ .

### 3.3 Scelta del Modello Probabilistico e del Parametro $\xi_{h_d}$

La stima dei massimi delle altezze di pioggia in preassegnate durate  $d$  e corrispondenti ad assegnati valori del periodo di ritorno  $T$ ,  $h_{d,T}$ , può essere effettuata con diversi tipi di approcci. Tra questi, vengono spesso utilizzati i modelli di Gumbel e il modello T.C.E.V.

Il primo (*Modello di Gumbel*), molto diffuso in campo tecnico per la sua capacità di prestarsi abbastanza efficacemente all'analisi dei massimi di una qualsiasi grandezza, quando applicato all'analisi dei massimi annuali delle altezze di pioggia e delle portate al colmo di piena tende, di norma, a sottostimare i valori più elevati osservati nel passato (valori corrispondenti ai periodi di ritorno più elevati). Pertanto, la sua utilizzazione può dare luogo a qualche insuccesso allorquando sono da stimare valori di  $h_{d,T}$  corrispondenti a periodi di ritorno di gran lunga superiori al periodo di osservazione.

Il modello T.C.E.V. (*Two-Components Extreme Value* - Rossi & al., 1995), adottato ormai quasi a livello istituzionale dal Dipartimento di Protezione Civile, dagli organi di consulenza del Consiglio Nazionale delle Ricerche e dalle Autorità di Bacino Nazionali, interregionali e regionali, risolve, di fatto, una serie di inconvenienti resisi evidenti nell'utilizzazione del modello di Gumbel e, pertanto, risulta maggiormente rispondente alle esigenze di un'attenta valutazione dei massimi annuali delle altezze di pioggia e delle portate al colmo di piena che possono defluire nei vari tronchi di un corso d'acqua.

Il modello T.C.E.V. costituisce, di fatto, una generalizzazione del modello di Gumbel.

Esso risulta, infatti, costituito dal prodotto di due leggi di Gumbel, la prima delle quali destinata ad interpretare e descrivere, in chiave probabilistica, i massimi valori di piena ordinari (vale a dire: tecnicamente possibili allorquando valutati alla luce di un normale modello di Gumbel) e, la seconda, quelli extra-ordinari (aventi, secondo il classico modello

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>9 di 70</b>

di Gumbel, una probabilità di superamento inferiore al 5% e, quindi, talmente scarsa dal punto di vista tecnico da potersi ritenere, in base al modello di Gumbel, come eccezionali).

In base a tale modello, il massimo annuale dell'altezza di pioggia nella durata  $d$  e corrispondente ad un assegnato valore del periodo di ritorno  $T$ ,  $h_{d,T}$ , può trarsi dall'espressione:

$$T = \frac{1}{1 - \exp \left[ - \Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\eta K_T / \Theta} \right]} \quad (3)$$

nella quale:

$$K_T = \frac{h_{d,T}}{\mu_{h_d}} \quad (4)$$

è il fattore di crescita col periodo di ritorno  $T$ , definito come il rapporto tra il massimo annuale  $h_{d,T}$  corrispondente all'assegnato periodo di ritorno  $T$  e la media  $\mu_{h_d}$  della distribuzione di probabilità della variabile  $h_d$ ; mentre  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  sono parametri adimensionali dipendenti solo dal coefficiente di asimmetria e, pertanto, stimabili solo sulla base di un'indagine regionale ad amplissima scala (Analisi regionale di I Livello),  $\Lambda_1$  è il numero medio di eventi meteorici intensi indipendenti, di tipo ordinario, che si determinano nella zona (e, pertanto, è una caratteristica climatica di una zona idrologicamente omogenea rispetto ai massimi annuali delle altezze di pioggia di durata  $d$ , che può essere valutata, una volta noti  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , attraverso un'analisi regionale di II Livello), ed  $\eta$  è un parametro strettamente dipendente da  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , attraverso un funzionale apparentemente semplice ma che, in realtà, coinvolge tutta una serie di considerazioni relative alle tecniche di stima dei parametri che non sembra qui opportuno richiamare per motivi di brevità ma che possono essere dedotti dalla vasta letteratura esistente nello specifico settore.

In virtù della (4), risulta

$$h_{d,T} = \mu_{h_d} \cdot K_T \quad (5)$$

Dal confronto della (5) con la (1) risultano, in definitiva:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>10 di 70</b>

$$\xi_{h_d} \equiv \mu_{h_d} \quad (6)$$

e

$$K_T = K_T(T, \Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1) \quad (7)$$

I valori di  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  validi per i bacini idrografici italiani risultano essere, con riferimento alla variabile idrologica  $h_d$ , i seguenti (cfr. la Tabella 6.1 del citato Studio VAPI, alla pag. 218):

$$\Lambda_* = 0.224 \quad (8)$$

e

$$\Theta_* = 2.536 \quad (9)$$

Per i bacini idrografici ricadenti nella regione Campania, il valore di  $\Lambda_1$  relativo alle portate al colmo di piena è dato da (Rossi & Villani, 1995):

$$\Lambda_1 = 37 \quad (10)$$

mentre il valore di  $\eta$  è dato da:

$$\eta = 4.909 \quad (11)$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>11 di 70</b>

I valori del coefficiente di crescita  $K_T$  sono riportati, per differenti periodi di ritorno  $T$ , nella successiva Tabella 1 e nella

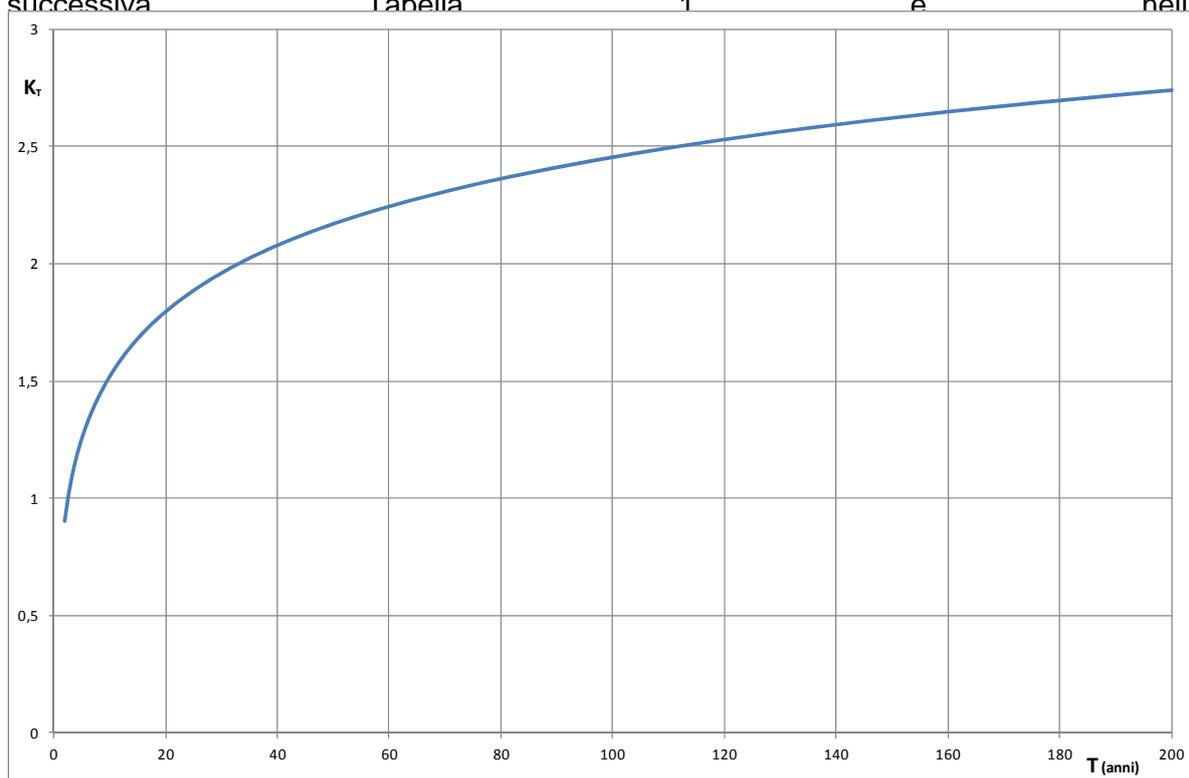
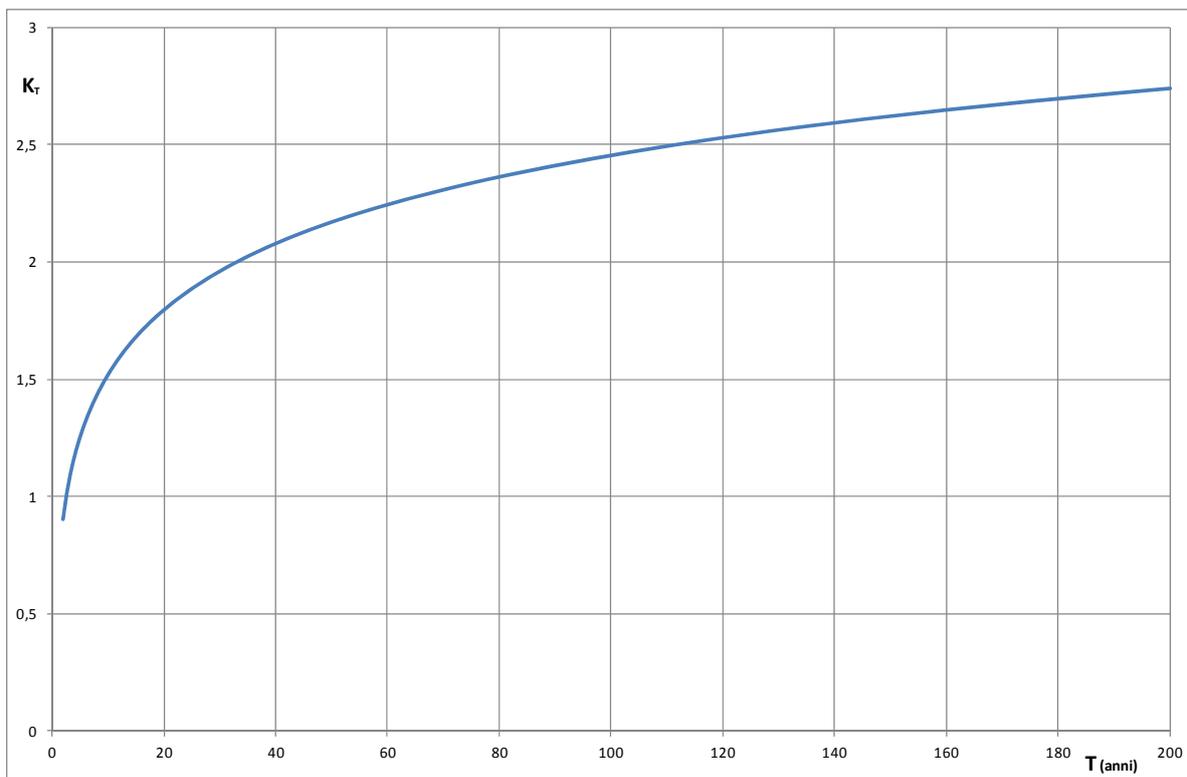


Figura :

*Tabella 1 - Coefficiente di crescita  $K_T$  dei massimi annuali delle altezze di pioggia nella durata  $d$  per differenti valori del periodo di ritorno  $T$*

$T$	2	5	10	20	30	50	100	200
$K_T$	0.902	1.248	1.517	1.795	1.960	2.169	2.454	2.740

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b> PAGINA <b>12 di 70</b>



**Figura 1 – Variazione del coefficiente di crescita  $K_T$  col periodo di ritorno  $T$  relativo ai massimi annuali delle piogge di breve durata in Campania**

### 3.4 Individuazione dell'espressione $\xi_{h_d} = \xi_{h_d}(d, z)$ da prendere a riferimento

Il tratto della TAV NA-BA oggetto della presente progettazione esecutiva viene a ricadere all'interno di un territorio che, fino al 17.02.2017, era di competenza dell'Autorità di Bacino regionale della Campania Centrale e che, a seguito di modifiche normative, è oggi di pertinenza del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale.

L' Autorità di Bacino regionale della Campania Centrale, tra le tante attività svolte, aveva anche provveduto a redigere, per le aree di sua competenza, il Piano Stralcio per la Difesa dalle Alluvioni, andando ad individuare, tra le altre, le sottozone pluviometriche omogenee in cui viene a ricadere la tratta della TAV NA-BA di specifico interesse per il presente Progetto Esecutivo.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 13 di 70	

Tali sottozone sono state individuate allo scopo di avere delle valutazioni più affidabili e puntuali delle modalità con cui la media dei massimi annuali dell'intensità media di pioggia nella durata  $d$  va variando con  $d$  e con la quota  $z$  sul livello del mare. Per la loro individuazione la competente Autorità di Bacino (AdB) ha fatto riferimento ai dati provenienti da una serie di stazioni pluviografiche e pluviometriche che, proprio perché ricadono nell'area più prossima al territorio attraversato dalla TAV NA-BA, possono fornire notizie preziose circa i valori massimi delle intensità medie di pioggia nella durata  $d$ .

A tale scopo, la competente AdB ha fatto riferimento all'espressione:

$$\mu_{hi_d} = \frac{I_o \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+Dz}} \quad (12)$$

che presenta, rispetto alle forme di tipo monomio, notevoli vantaggi, quali:

- per durate  $d \rightarrow 0$ , il rapporto media  $\mu_{i_d} = \mu_{hi_d} / d \rightarrow I_o$  tende a valori finiti dell'intensità media di pioggia nella durata  $d$ ;
- la derivata di  $\mu_{i_d}$  rispetto a  $d$  si presenta derivabile in tutto l'intervallo di durate, il che la rende molto più duttile nella ricerca, con approcci variazionali, della cosiddetta "durata critica";
- compare direttamente la quota  $z$  sul livello del mare;

Poiché l'area di interesse ai fini delle presenti attività di Progettazione Esecutiva ricadono, in parte (lato Sud), all'interno della sottozona pluviometrica "C2", e, nella rimanente parte (lato Nord), all'interno della sottozona pluviometrica "C3" così come individuate (cfr. la successiva Figura 5) nella Relazione Idrologica a corredo del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015) a seguito dei lavori della Conferenza Programmatica alla quale hanno partecipato i Comuni e le Province interessate, ai sensi della normativa vigente in materia, i valori dei parametri  $I_o$ ,  $C$ ,  $D$  e  $d_c$  possono ritenersi noti (cfr. la Tabella 5.5 riportata nel Volume 1 del suddetto Studio), risultando, rispettivamente:

- per la Sottozona Pluviometrica C2:

$$I_o = 123.96 \text{ mm/ora}, C = 0.7310, D = -0.000144 \text{ m}^{-1}, \text{ e } d_c = 0.0956 \text{ ore.}$$

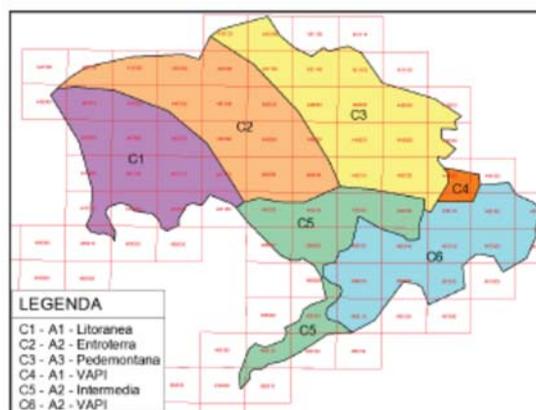
APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGIO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	14 di 70

- per la Sottozona Pluviometrica C3:

$$I_o = 86.07 \text{ mm/ora}, C = 0.7580, D = -0.000024 \text{ m}^{-1}, \text{ e } d_c = 0.1980 \text{ ore.}$$

Area omogenea	M(l)	$d_c$	C	$D \cdot 10^5$
C1	68.81	0.2842	0.7580	-14.5
C2	123.96	0.0956	0.7310	-14.4
C3	86.07	0.1980	0.7580	-2.4
C4	77.10	0.3661	0.7995	3.6077
C5	85.00	0.3034	0.7621	9.6554
C6	83.80	0.3312	0.7031	7.7381

T:	10	20	50	100	200	300
$K_r$ :	1.63	2.03	2.61	3.07	3.55	3.82



**Figura 2 – Sottozone pluviometriche omogenee individuate dall’Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale**

Pertanto, in definitiva, le espressioni del legame  $\mu_{h_d} = \mu_{h_d}(d,z)$  da utilizzare nelle successive elaborazioni saranno

- per la Sottozona Pluviometrica C2:

$$\mu_{h_d} = \frac{123.96 \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{0.0956}\right)^{0.7310 - 0.000144z}} \quad (13)$$

- per la Sottozona Pluviometrica C3:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IFOE	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 15 di 70	

$$\mu_{h_d} = \frac{86.07 \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{0.1980}\right)^{0.7580 - 0.000024z}} \quad (14)$$

Parallelamente, le leggi con cui la media dei massimi annuali dell'intensità media di pioggia nella durata  $d$ ,  $\mu_{i_d} = \mu_{i_d}(d,z)$  varia con la durata stessa assumeranno le forme:

- per la Sottozona Pluviometrica C2:

$$\mu_{i_d} = \frac{123.96}{\left(1 + \frac{d}{0.0956}\right)^{0.7310 - 0.000144z}} \quad (15)$$

- per la Sottozona Pluviometrica C3:

$$\mu_{i_d} = \frac{86.07}{\left(1 + \frac{d}{0.1980}\right)^{0.7580 - 0.000024z}} \quad (16)$$

Tali espressioni possono essere facilmente trasposte in una forma più snella, definita "monomia", sovente utilizzata per la messa a punto di metodi di calcolo specifici quali, ad esempio, il ben noto "Metodo Italiano dell'Invaso Non Lineare".

La cosiddetta "forma monomia della curva di probabilità pluviometrica", sia essa relativa a un determinato punto o a una determinata sottozona pluviometrica omogenea, è la seguente:

$$\mu_{h_d} = a d^n \quad (17)$$

In tal caso, potranno porsi, rispettivamente:

$$h_{d,T} = \xi_{h_d} \cdot K_T = (a d^n) K_T = (a K_T) d^n = a_T d^n \quad (18)$$

e

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>16 di 70</b>	

$$i_{d,T} = \xi_{i_d} \cdot K_T = \frac{\xi_{h_d}}{d} \cdot K_T = \frac{(a d^n)}{d} K_T = (a d^{n-1}) K_T = (a K_T) d^{n-1} = a_T d^{n-1} \quad (19)$$

Per l'individuazione dei parametri  $a$  e  $n$  contenute nelle espressioni (18) e (19), potrebbero seguirsi, in linea di principio, due strade alternative, ma che condurrebbero, di fatto, a risultati del tutto equivalenti dal punto di vista tecnico:

- a) procedere, a partire direttamente dai dati pluviografici e pluviometrici effettivamente disponibili in una data area (la sottozona pluviometrica omogenea), all'applicazione di tecniche di analisi regionale finalizzate a individuare i valori (o le espressioni) dei parametri  $a$  e  $n$  validi per quell'area;
- b) rielaborare altre espressioni, già dedotte mediante un' "analisi regionale dei massimi annuali delle altezze di pioggia in assegnate durate", in modo da calibrare, a partire dalla necessità di riprodurre al meglio i valori  $\mu_{h_d}$  forniti da tali espressioni, i valori dei parametri  $a$  e  $n$  da utilizzare per quell'area.

Poiché, nel caso in esame, l'AdB competente per territorio ha, già da tempo, profuso un notevole sforzo per l'individuazione delle espressioni più idonee per la stima delle medie  $\mu_{h_d}$  dei massimi annuali delle altezze di pioggia in preassegnate durate, e tali stime sono fornite, rispettivamente:

- per la Sottozona Pluviometrica C2, dall'espressione (15);
- per la Sottozona Pluviometrica C3, dall'espressione (16),

si è qui preferito fare ricorso alla seconda delle due alternative sopra indicate, provvedendo a calibrare i valori dei parametri  $a$  e  $n$  da utilizzare per ciascuna di queste due sottozone pluviometriche a partire da regressioni condotte sui valori delle coppie  $(d, \mu_{h_d})$  dedotte, relativamente a determinati intervalli di durate, proprio dalle espressioni (15) o, a seconda delle circostanze, (16).

A tale scopo, basta infatti osservare:

1), che l'espressione  $\mu_{h_d} = a d^n$  può essere facilmente posta nella forma:

$$\log_{10}(\mu_{h_d}) = \log_{10}(a d^n) \quad (20)$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>17 di 70</b>

e, quindi, nella forma

$$\log_{10}(\mu_{h_d}) = \log_{10}(a) + n \log_{10}(d) \quad (21)$$

dalla quale, posti:

- $Y = \log_{10}(\mu_{h_d})$
- $X = \log_{10}(d)$
- $A = \log_{10}(a)$ ,

risulta:

$$Y = A + n X \quad (22)$$

Pertanto, in un diagramma bi-logaritmico, nel quale si abbia avuto cura di riportare, per ciascun valore della durata  $d$  della pioggia:

- sulle ascisse  $X$ , il valore  $X = \log_{10}(d)$ ;
- sulle ordinate  $Y$ , il corrispondente valore  $Y = \log_{10}(\mu_{h_d})$  dedotto, a seconda della sottozona pluviometrica presa a riferimento, utilizzando l'espressione (15) o la (16),

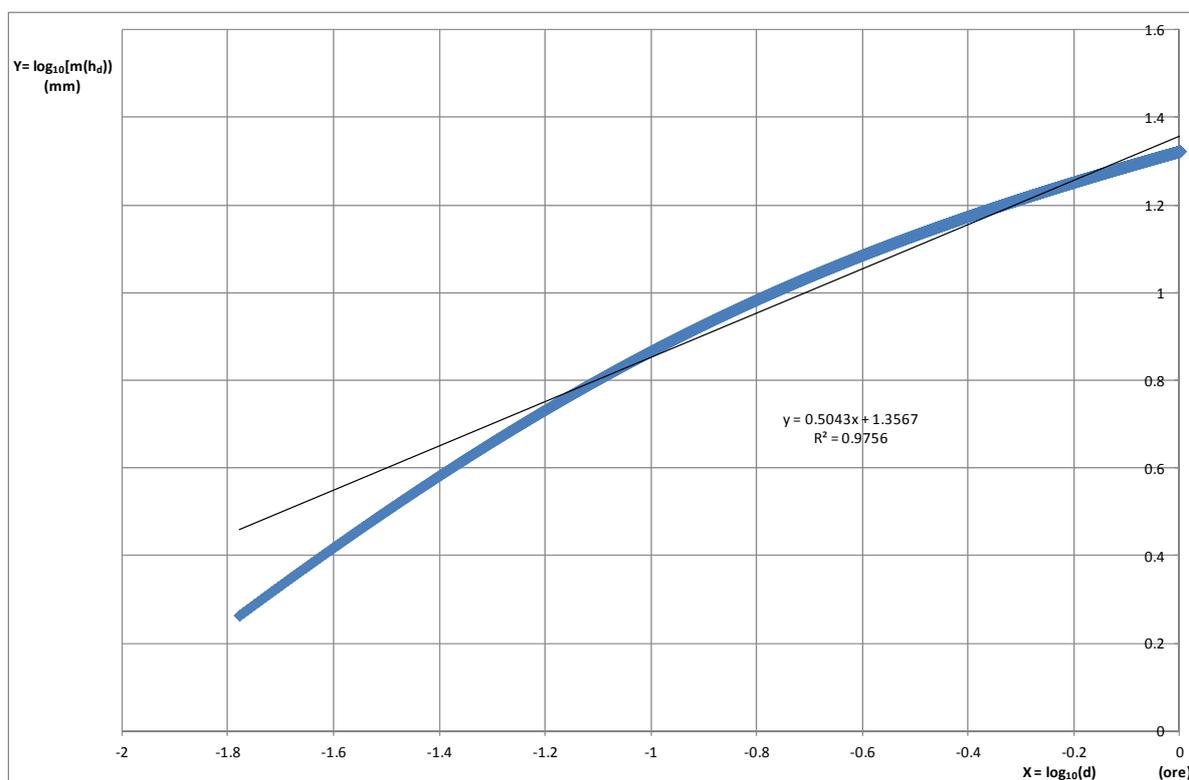
la (17) è rappresentata da una retta, avente coefficiente angolare proprio pari a  $n$  e intercetta  $A = \log_{10}(a)$

Di conseguenza, i valori dei parametri  $n$  e  $A = \log_{10}(a)$  potranno essere individuati, molto semplicemente, interpolando le coppie di valori  $(\log_{10}(d), \log_{10}(\mu_{h_d}))$  dedotte, a seconda delle circostanze (vale a dire, a seconda della sottozona pluviometrica da prendere a riferimento), mediante l'espressione (15) o la (16).

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b> PAGINA <b>18 di 70</b>

L'andamento dei grafici così ottenuti, con le espressioni di regressione ottenute e i corrispondenti valori del quadrato della stima del coefficiente di correlazione sono riportati:

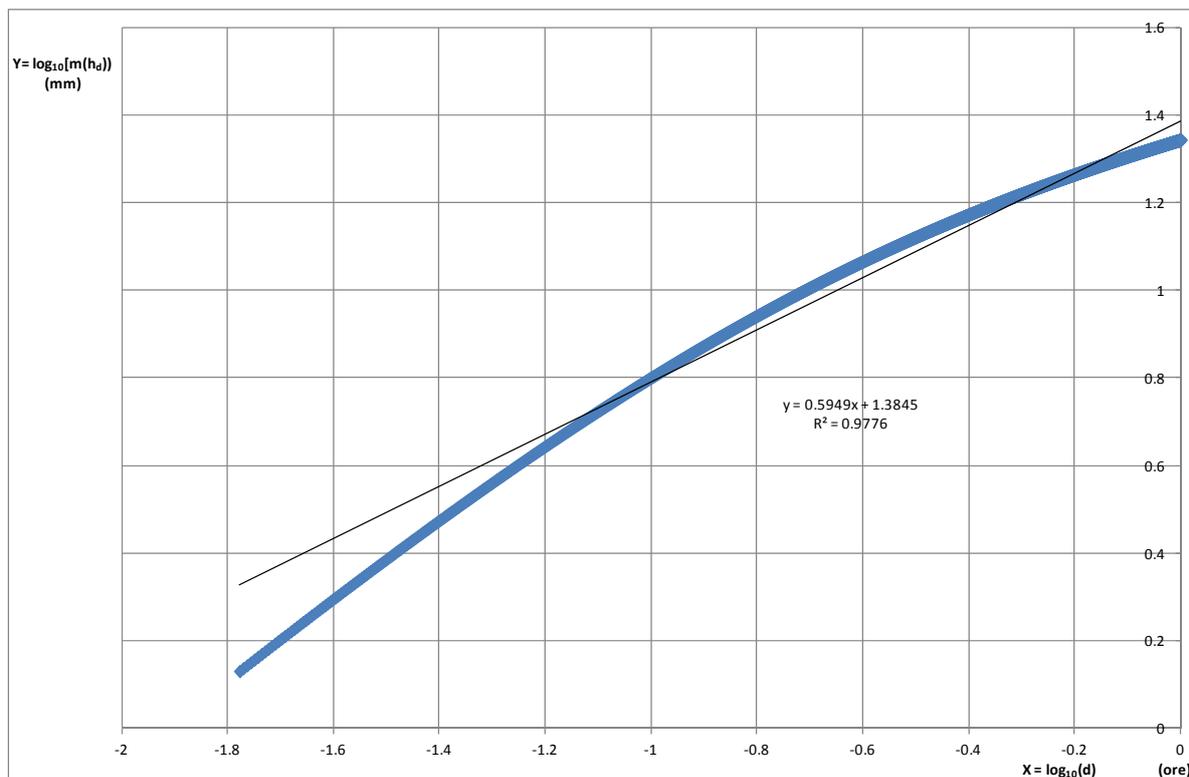
- per la Sottozona Pluviometrica C2, nel sottostante grafico di Figura 6:



**Figura 3 – Interpolazione delle coppie di valori  $(\log_{10}(d), \log_{10}(\mu_{h_d}))$  dedotte mediante l'espressione (15)**

- per la Sottozona Pluviometrica C3, nel sottostante grafico di Figura 7:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>		REV. <b>A</b>



**Figura 4 – Interpolazione delle coppie di valori  $(\log_{10}(d), \log_{10}(\mu_{h_d}))$  dedotte mediante l'espressione (16)**

Alla luce delle valutazioni effettuate, potrà dunque assumersi:

- per la Sottozona Pluviometrica C2:

$$a = 10^A = 10^{1.3567} = 22.74 \text{ mm}$$

$$n = 0.5043$$

- per la Sottozona Pluviometrica C3:

$$a = 10^A = 10^{1.3845} = 24.24 \text{ mm}$$

$$n = 0.5949$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>20 di 70</b>

Di conseguenza, considerando un periodo di ritorno  $T = 100$  anni, le espressioni utilizzabili saranno le seguenti:

- per la Sottozona Pluviometrica C2:

$$h_{d,100} = 55.80 d^{0.5043} \quad (23)$$

- per la Sottozona Pluviometrica C3:

$$h_{d,100} = 59.48 d^{0.5949} \quad (24)$$

Si fa osservare che i fossi di guardia disperdenti con codice che va dal FD03 al FD21 e dal FD28 al FD31 (inclusi i valori agli estremi) ricadono nella sottozona pluviometrica omogenea C2 mentre i fossi con codice che va dal FD22 al FD25 ricadono nella sottozona pluviometrica C3.

Di conseguenza, i fossi che ricadono nei suddetti intervalli sono stati dimensionati/verificati con le relative espressioni delle curve di probabilità pluviometrica sopra riportate.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>21 di 70</b>		

#### **4 VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME CHE POSSONO PERVENIRE DALLA PIATTAFORMA FERROVIARIA A CAUSA DI PIOGGE INTENSE E CHE POSSONO ESSERE SUPERATE, MEDIAMENTE, OGNI T ANNI**

##### **4.1 Generalità sul modello di calcolo utilizzato per la valutazione delle portate affluenti ai collettori**

Il calcolo delle portate di origine meteorica occorrenti per il dimensionamento delle canalizzazioni poste al piede dei rilevati ferroviari è stato condotto, con riferimento a piogge di periodo di ritorno  $T = 100$  anni, utilizzando la procedura nota, in letteratura tecnico-scientifica, come "*Metodo razionale del volume di invaso*", altrimenti noto col nome di "*Metodo Italiano dell'Invaso non lineare*", nella forma proposta da Puppini, poi semplificata da Supino anche allo scopo di rendere il calcolo delle portate affluenti ad un preassegnato tronco della rete del tutto autonomo da quello delle portate affluenti ai tratti a monte, e dalle dimensioni e caratteristiche dei tronchi stessi e, più recentemente, raffinata da Cimorelli et al. (2015).

Secondo tale metodo, la portata pluviale defluente in un generico collettore a seguito di un evento meteorico può essere calcolata tramite l'espressione:

$$Q = u \cdot A \quad (25)$$

in cui:

- $Q$  = portata di origine meteorica affluente dal bacino posto a monte della sezione di calcolo (in  $m^3/s$ );
- $u$  = coefficiente udometrico (in m/s);
- $A$  = area del bacino (in  $m^2$ ).

Nota l'espressione analitica della curva di probabilità pluviometrica relativa all'area in esame, per collettori prismatici a sezione trapezia, semipieni, il coefficiente udometrico è calcolabile attraverso la relazione:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>22 di 70</b>

$$u = g(\alpha, n) \cdot n \cdot \frac{(\varphi \cdot a')^{1/n}}{w^{n-1}} \quad (25)$$

dove il funzionale  $g(\alpha, n')$  assume espressioni diverse in relazione al livello di approssimazione che si vuole ottenere in base alle elaborazioni effettuate (Cimorelli et al., 2015).

Nel caso in esame, l'espressione utilizzata è la seguente:

$$g(\alpha, n') = (0.367183885 \cdot \alpha + 0.370305262) + (-0.443968814 \cdot \alpha + 0.572648095) \cdot n' + (0.149954151 \cdot \alpha - 0.033834358) \cdot n'^2 + (-0.035801969 \cdot \alpha - 0.12034333) \cdot n'^3 + (-0.03216295 \cdot \alpha + 0.187916648) \cdot n'^4 \quad (26)$$

che fornisce, rispetto alla reale soluzione analitica, errori massimi compresi nel *range*  $Err_{\max} = -0.00369609 \div 0.00799004$ .

Nelle suddette espressioni, i simboli hanno il seguente significato:

- $\varphi$  = valore del coefficiente di afflusso, mediato sull'area totale del bacino sotteso dalla sezione di calcolo, e relativo a piogge di durata pari a 1 ora;
- $n_0$  = valore dell'esponente della curva di probabilità pluviometrica espressa in forma monomia, opportunamente modificato allo scopo di poter eventualmente portare in conto il cosiddetto "effetto area" e la variabilità del coefficiente di afflusso con la durata della pioggia;
- $a'$  = valore del coefficiente moltiplicativo presente nella forma monomia della curva di probabilità pluviometrica, opportunamente modificato allo scopo di poter eventualmente portare in conto, oltre al periodo di ritorno  $T$  preso in esame, il cosiddetto "effetto area" e la variabilità del coefficiente di afflusso con la durata della pioggia;
- $\alpha$  = è un esponente che dipende dalla scala di deflusso della sezione del collettore, espressa nella forma  $q = \mu \omega^\alpha$ , e dal grado di riempimento iniziale e finale dello speco;
- $w$  = volume specifico, invasato nell'unità di superficie di bacino, dovuto sia ai volumi invasati all'interno dei condotti, sia al velo idrico superficiale (in  $m^3/m^2$ ).

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 23 di 70	

Per quanto riguarda il volume invasato specifico  $w$ , esso risulta definito dal rapporto:

$$w = \frac{W_p + W_o}{A} \quad (27)$$

dove

- $W_p$  = volume di acqua invasato all'interno delle canalizzazioni (in m<sup>3</sup>);
- $W_o$  = volume di acqua invasato sulle superfici del bacino (in m<sup>3</sup>), il cui valore specifico,  $w_o = W_o/A$ , è detto *volume dei piccoli invasi*.

#### 4.2 Modalità con le quali è possibile portare in conto la durata della pioggia e il cosiddetto "effetto area"

Per tener conto della variabilità della pioggia in funzione dell'area del bacino, per bacini di rilevante dimensione risulta spesso necessario, come già detto in precedenza, modificare opportunamente i valori di  $a_T$  e di  $n$  presenti all'interno delle espressioni monomie delle curve di probabilità pluviometrica.

Con i rilievi riportati dal Poggi, relativi alla fognatura di Milano, il Puppini ha determinato le seguenti equazioni per la modifica delle dette costanti:

$$a'' = a_T \cdot \left( 1 - 0.052 \cdot \frac{A}{100} + 0.002 \cdot \left( \frac{A}{100} \right)^2 \right) \quad (28)$$

e

$$n'' = n + 0.0175 \frac{A}{100} \quad (29)$$

Per considerare la variabilità del coefficiente di afflusso  $\varphi$  con la durata della pioggia, può invece assumersi, al posto di  $n''$ , il valore  $n'$ , valutabile in base alla semplice espressione:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 24 di 70

$$n' = \frac{4}{3} n'' \quad (30)$$

### 4.3 Valori assegnati ai coefficienti di afflusso relativi alle diverse aree drenate

Per quanto riguarda la scelta del coefficiente di afflusso  $\varphi$ , va considerato che esso varia sensibilmente a seconda delle caratteristiche dei terreni presenti nel bacino sotteso dalla sezione di calcolo nonché dell'andamento topografico, risentendo, altresì, dell'intensità e della durata della pioggia. Per definire il valore di  $\varphi$ , è prassi usuale riferirsi ai dati scaturiti da indagini sperimentali e contemplati nella bibliografia tecnica.

Nel progetto in esame, il valore di  $\varphi$  è stato valutato in base a una media pesata dei valori corrispondenti valori relativi alle aree di piattaforma e alle aree limitrofe ai fossi ma che, comunque, scaricano all'interno degli stessi le proprie acque di ruscellamento, con valori dedotti in base alle indicazioni del manuale di progettazione RFI/Italferr e da Progetto Definitivo.

### 4.4 Valore assegnato al volume specifico dei piccoli invasi

Il volume totale di invaso  $W$  corrispondente ad una certa sezione del generico tronco fognario si compone, come detto in precedenza, sia dei volumi di invaso di tutto il sistema di canalizzazioni che si trovano a monte della suddetta sezione, che delle capacità di accumulo presenti nel bacino e che vengono poi riempite dalle acque di origine meteorica. Queste ultime, in particolare, vengono portate in conto considerando, per unità di superficie, il già definito volume dei piccoli invasi ( $w_0$ ), a sua volta valutato ricorrendo, in genere, a valori sperimentali, tenendo conto che la sua scelta viene operata di concerto a quella effettuata per  $\varphi$ , in quanto laddove le aree sono meno impermeabili il valore di  $\varphi$  diminuisce mentre il valore di  $w_0$  aumenta.

Nel valore di  $w_0$  si dovrebbe comprendere il velo idrico distribuito su tutta la superficie colante.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>25 di 70</b>

Per quest'ultimo occorre, a parità di pendenza della superficie, prevedere valori maggiori per superfici irregolari e non pavimentati che non per superfici regolari e ben tenute.

Nel complesso, si può ritenere, quindi, che la somma del volume dei piccoli invasi e del velo superficiale sia proporzionale all'area colante.

Occorre, però, assumere valori che siano soprattutto in relazione alla pendenza media del bacino, perché con pendenze maggiori sarà minore lo spessore del velo di acqua superficiale e sarà anche minore il volume invasato nei canali ultimi della rete, specialmente per il fatto che il loro riempimento non è in generale sincrono con quello dei canali maggiori ed è tanto più autonomo quanto maggiori sono le pendenze.

Nel caso in esame, in base alle considerazioni su menzionate, attese le caratteristiche delle aree da drenare, caratterizzate da un notevole grado di impermeabilità, pendenze alquanto ridotte (al massimo, dell'ordine dell'1.2%) nei calcoli eseguiti è stato adottato, a vantaggio di sicurezza, il valore  $w_0 = 0.001$  m.

#### 4.5 Determinazione dell'esponente $\alpha$ della scala di deflusso

L'esponente  $\alpha$  che compare nell'espressione  $q = \mu \omega^\alpha$  della scala di deflusso, nella quale  $q$  rappresenta la portata defluente nel collettore in esame (in m<sup>3</sup>/s) e  $\omega$  è la corrispondente area della sezione idrica (in m<sup>2</sup>), viene a dipendere dalla forma della sezione del collettore, dalle sue dimensioni, dalla scabrezza delle pareti a diretto contatto con la corrente, dalla pendenza del collettore e dalla portata che vi transita.

Di conseguenza, il valore di  $\alpha$  viene valutato per tentativi, in modo tale da individuare il valore di  $\alpha$  "ottimale" ai fini di una corretta interpretazione della scala di deflusso in tutto il *range* di tiranti ricompreso tra il tirante idrico all'inizio del fenomeno di piena e quello massimo che si consegue durante il fenomeno.

Per sezioni trapezoidali compatte e per sezioni circolari semipiene, esso risulta dell'ordine di 1.4-1.5

#### 4.6 Modalità di applicazione della procedura proposta da Cimorelli et al. (2015)

Il volume specifico invasato  $w$ , come si vede dalla (27), risulta di norma funzione, oltre che del volume dei piccoli invasi, anche dell'*invaso proprio* che si determina all'interno dei collettori a monte della sezione di calcolo.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>26 di 70</b>

A sua volta, l'*invaso proprio* presente all'interno del collettore oggetto di calcolo può essere determinato solo dopo aver individuata la portata ivi defluente.

D'altro canto, per conoscere la portata  $Q$ , si deve preventivamente calcolare il coefficiente udometrico  $u$  che, in base alla (25), per un fissato valore dell'esponente  $\alpha$  della scala di deflusso, dipende a sua volta da  $w$ .

Di conseguenza, nella valutazione di  $w$ , si ha la necessità di adottare un metodo di calcolo per tentativi.

Tale calcolo, condotto col classico *metodo di Picard*, risulta, una volta implementato in un software, molto rapidamente convergente.

La procedura adottata per la valutazione simultanea di tutte le grandezze presenti nella (25) e nella (26) può essere così sintetizzata:

1. Si fissa un valore di primo tentativo per  $\alpha$ :  $\alpha = \alpha'$ ;
2. in base alla (26), si determina il valore assunto dal funzionale  $g(\alpha, n')$
3. si fissa un valore di primo tentativo per  $u$ :  $u = u'$ ;
4. si valuta un valore di primo tentativo della portata massima defluente nel collettore preso in esame:  $Q = Q' = u' A$ ;
5. nota la scala di deflusso del medesimo collettore, si individua il valore di primo tentativo del corrispondente tirante idrico e dell'area della sezione idrica:  $\omega = \omega'$ ;
6. si individua un valore di primo tentativo del volume proprio invasato nel collettore preso via via in esame:  $W_p = W_p' = \omega' L$ , nella quale  $L$  è la lunghezza del collettore preso in esame (in m);
7. si determina il valore di primo tentativo del volume specifico dell'invaso proprio  $w_p = W_p / A$  (in m<sup>3</sup>):  $w_p' = W_p' / A$ ;
8. si somma tale valore al volume specifico dei piccoli invasi  $w_0$ , determinando, in tal modo, un valore di primo tentativo del denominatore della (25):  $w' = w_0 + w_p'$
9. si applica la (25), ottenendo un secondo valore del coefficiente udometrico  $u$ :  
 $u = u''$ ;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>27 di 70</b>	

10. se tale valore differisce molto poco dal valore di primo tentativo  $u'$ , la procedura di iterazione sui valori di  $u$  ha termine. Altrimenti, riparte con un valore di secondo tentativo della portata massima defluente nel collettore preso in esame:  $Q = Q'' = u'' A$ , e si ripete il processo a partire dal punto 9;
11. Una volta definiti i valori di  $u$ , di  $Q$  e del corrispondente tirante idrico  $h_{\max}$ , si suddivide il range di valori tra 0 e  $h_{\max}$  in  $N$  parti uguali (ad esempio, ponendo  $N=100$ ) provvedendo, per ciascuno di questi  $N$  valori del tirante, a individuare, attraverso la reale scala di deflusso del collettore preso in esame,  $N$  coppie di valori  $(h, q)$  e, da questi,  $N$  coppie di valori  $(\omega, q)$ ;
12. a partire da queste  $N$  coppie di valori  $(\omega, q)$ , si determinano le corrispondenti  $N$  coppie di valori  $(\log_{10}(\omega), \log_{10}(q))$  la cui interpolazione fornirà il valore del coefficiente angolare della retta  $\log_{10}(q) = \log_{10}(\mu) + \alpha'' (\log_{10}(\omega))$ ;
13. se tale valore differisce molto poco dal valore di primo tentativo  $\alpha'$ , la procedura di iterazione sui valori di  $\alpha$  ha termine. Altrimenti, riparte con valore di secondo tentativo di  $\alpha$ , ripercorrendo tutti i punti del 2 al 13, fino a quando non si troverà anche il valore di  $\alpha$  consistente con i valori di  $u$ .

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 28 di 70

## **5 VALUTAZIONE DELLE CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DEI FOSSI DI GUARDIA POSTI AL PIEDE DEI RILEVATI FERROVIARI**

La valutazione delle portate massime convogliabili da una condotta di assegnata forma e dimensioni può essere facilmente effettuata in base a semplici considerazioni di carattere idraulico. In particolare, nell'ottica di una "procedura variazionale" o "estremante" o "massimizzante" quale quella implicitamente adoperata nell'ambito del "*Metodo Italiano dell'Invaso non lineare*" qui utilizzato per la valutazione della portata massima istantanea in arrivo a una determinata sezione di un bacino, per ogni durata di pioggia  $d$  può farsi senz'altro riferimento a condizioni stazionarie, caratterizzate da una portata meteorica efficace in ingresso al bacino costante nel tempo, valutando quale portata massima si realizza per ciascuna durata di pioggia e facendo poi variare la durata stessa, appare senz'altro possibile fare riferimento a condizioni di moto stazionarie, sebbene non uniformi.

Di conseguenza, a seconda che il tratto di condotta posto immediatamente a valle dell'immissione delle acque provenienti dalla piattaforma ferroviaria si comporti da "*alveo a debole pendenza*" o, viceversa, da "*alveo a forte pendenza*", nella sezione posta immediatamente a valle dell'immissione delle portate drenate dalla piattaforma ferroviaria si andranno a realizzare, rispettivamente:

- nel caso di comportamento "*ad alveo a debole pendenza*", condizioni di moto uniforme;
- nel caso di comportamento "*ad alveo a forte pendenza*", condizioni di stato critico (nelle quali la corrente liquida viene a defluire con il minimo contenuto di energia).

Pertanto, le condizioni da prendere a riferimento per la valutazione della massima capacità di convogliamento per generico collettore prismatico saranno:

- nel caso di comportamento "*ad alveo a debole pendenza*":

$$Q_{un.} = K_s R^{2/3} S^{1/2} \Omega \quad (31)$$

- nel caso di comportamento "*ad alveo a forte pendenza*":

$$Q_{cr.} = \sqrt{\left( g \frac{\Omega^3}{B_s} \right)} \quad (32)$$

I simboli presenti in tali espressioni hanno, come ben noto, il seguente significato:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. PAGINA A 29 di 70

$Q_{un.}$  = Portata convogliabile dalla tubazione in condizioni di moto uniforme (in m<sup>3</sup>/s);

$K_s$  = Parametro di conducibilità di Strickler (in m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup>, dipendente, in massima parte, dalla natura delle pareti interne della tubazione a diretto contatto con l'acqua);

$\Omega$  = Area della sezione idrica (in m<sup>2</sup>);

$R$  = Raggio idraulico (in metri), dato dal rapporto tra l'area della sezione idrica  $\Omega$  e il perimetro bagnato  $\chi$ ;

$s$  = Pendenza longitudinale del collettore (in m/m);

$Q_{cr.}$  = Portata convogliabile dalla tubazione in condizioni di stato critico (in m<sup>3</sup>/s);

$g$  = Accelerazione di gravità (assunta pari a 9.80665 in m s<sup>-2</sup>);

$B_s$  = Larghezza che la corrente defluente in condizioni di stato critico assume in corrispondenza del pelo libero (in m).

Alla luce di quanto sopra affermato, per decidere quale delle due espressioni (31) o (32) utilizzare per la valutazione della *capacità di convogliamento*, occorrerà preliminarmente verificare se la condotta, caratterizzata da assegnata forma e dimensioni, da determinati valori del parametro di scabrezza, della pendenza longitudinale e della portata in arrivo dal bacino, si comporterà come un "alveo a debole pendenza" o come un "alveo a forte pendenza".

Allo scopo di verificare tale modalità di comportamento, sarà utile verificare se, con l'assegnato valore della portata, in condizioni di moto uniforme la corrente si presenta "lenta" (o "ipocritica") o "veloce" ("ipercritica") e, quindi, individuare il valore del "Numero di Froude" della corrente in moto uniforme, definito come:

$$F_r = \frac{\left(\frac{Q}{\Omega}\right)}{\sqrt{g \frac{\Omega}{B_s}}} \quad (33)$$

In particolare, se, in corrispondenza del deflusso della portata  $Q = Q_{un.}$ , risulterà:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 30 di 70

- $F_r < 1$ , la corrente defluente nella tubazione in moto uniforme vi defluirà come “*corrente lenta*”, per cui, come ben noto dall’Idraulica, la tubazione si comporterà da “*alveo a debole pendenza*”. In tal caso, potrà quindi assumersi che, nella sezione della tubazione di raccolta posta immediatamente al di sotto dell’immissione concentrata della portata in arrivo dalla piattaforma ferroviaria, la corrente si muoverà in *condizioni di moto uniforme*, e la portata convogliata  $Q_{conv.}$  dovrà, per l’appunto, essere valutata mediante la (31);
- $F_r > 1$ , la corrente defluente nella tubazione in moto uniforme vi defluirà come “*corrente veloce*”, per cui, come ben noto dall’Idraulica, la tubazione si comporterà da “*alveo a forte pendenza*”. In tal caso, potrà quindi assumersi che, nella sezione della tubazione di raccolta posta immediatamente al di sotto dell’immissione concentrata della portata in arrivo dalla piattaforma ferroviaria, la corrente si muoverà in *condizioni di stato critico*, e la portata convogliata  $Q_{conv.}$  dovrà, per l’appunto, essere valutata mediante la (32);
- $F_r = 1$ , la corrente defluente nella tubazione in moto uniforme vi defluirà come “*corrente in stato critico*”, per cui, come ben noto dall’Idraulica, la tubazione si comporterà da “*alveo a pendenza critica*”. In tal caso, potrà quindi assumersi che, nella sezione della tubazione di raccolta posta immediatamente al di sotto dell’immissione concentrata della portata in arrivo dalla piattaforma ferroviaria, la corrente si muoverà, contemporaneamente, tanto in *condizioni di stato critico* che in *condizioni di moto uniforme*, e la portata convogliata  $Q_{conv.}$  potrà, per l’appunto, essere valutata, indifferentemente, mediante la (31) o la (32), in quanto esse forniranno lo stesso valore della portata.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	31 di 70

**6 VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME ISTANTANEE E DEI MASSIMI VOLUMI DI PIENA AFFLUENTI AI FOSSI DRENANTI, UBICATI RISPETTIVAMENTE, IN SX E IN DX DEL TRATTO IN RILEVATO, E VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI TALI FOSSI DRENANTI AD ACCOGLIERE SENZA ESONDAZIONI, PER TUTTI GLI EVENTI METEORICI CARATTERIZZATI DA UN PERIODO DI RITORNO  $T=100$  ANNI, SIA LE ACQUE DI PIATTAFORMA CHE QUELLE PROVENIENTI DALLE AREE IMMEDIATAMENTE LATISTANTI ALLA STESSA**

**6.1 Problematiche da affrontare e risolvere**

Nella presente parte della relazione si procede al dimensionamento/verifica dei fossi drenanti ubicati, rispettivamente, in sx e in dx del tratto in rilevato, mostrando la capacità di tali fossi drenanti ad accogliere senza esondazioni, per tutti gli eventi meteorici caratterizzati da un periodo di ritorno  $T = 100$  anni, sia le acque di piattaforma che quelle provenienti dalle aree immediatamente latistanti alla stessa.

Nella prima parte, si valutano le portate massime e i volumi massimi che possono affluire alle sezioni iniziali dei fossi. Nella seconda, si procede al dimensionamento/verifica, su base probabilistica, di tali fossi disperdenti.

**6.2 Stima dei massimi annuali delle portate istantanee e delle portate medie in preassegnate durate  $D$  e corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno  $T$  che possono affluire alle sezioni iniziali dei fossi disperdenti.**

Si indichino:

- con  $Q_T$ , il massimo annuale della portata istantanea affluente a una determinata sezione di chiusura di un bacino superficiale e superabile, mediamente, una volta ogni  $T$  anni (con  $T =$  periodo di ritorno preso a riferimento);
- con  $Q_{D,T}$ , il massimo annuale della portata mediamente affluente alla medesima sezione di chiusura in un intervallo di tempo di durata  $D$  e superabile, mediamente, ogni  $T$  anni.

Osservato preliminarmente che, per  $D = 1$  secondo, risulta  $Q_{D,T} = Q_T$ , i due problemi precedentemente esposti, relativi, rispettivamente, alla stima dei massimi annuali delle

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 32 di 70

portate istantanee e delle portate medie in preassegnate durate e corrispondenti ad assegnati valori del periodo di ritorno  $T$ , si riconducono alla sola valutazione della legge con cui la grandezza  $Q_{D,T}$ , definita massimo annuale della portata media nella durata  $D$  e corrispondente al periodo di ritorno  $T$ , varia con  $D$  e  $T$ .

La rappresentazione grafica di tale legame o, meglio, del rapporto  $r_{D,T} = Q_{D,T}/Q_T$ , nota, in letteratura tecnica, come "curva di riduzione dei colmi di piena con la durata  $D$ ", fornisce, pertanto, nei confronti dei problemi di difesa dalle piene e, più in generale, del drenaggio delle acque di ruscellamento superficiale, un quadro sufficientemente esaustivo delle caratteristiche idrologiche dei bacini di volta in volta presi in esame.

In generale, i valori di  $Q_{D,T}$  possono essere stimati a partire da relazioni del tipo:

$$Q_{D,T} = \xi_{Q_D} \cdot K_T \quad (37)$$

essendo  $\xi_{Q_D}$  un parametro centrale della distribuzione di probabilità, rispettivamente, della variabile idrologica  $Q_D$ , massimo annuale della portata media nella durata  $D$  (ad esempio: la media, la mediana, il valore modale, ecc.) e  $K_T$  un coefficiente amplificativo, di norma indicato come coefficiente di crescita col periodo di ritorno  $T$ .

Può dimostrarsi (Silvagni, 1985) che la forma del legame:

$$K_T = K_T(T) \quad (38)$$

dipende, per una data regione omogenea rispetto alle portate al colmo di piena, solo dal particolare modello probabilistico adottato e dallo specifico parametro centrale preso a riferimento, mentre non dipende dalla specifica durata  $D$  presa a riferimento.

Pertanto, può porsi:

$$r_{D,T} = \frac{Q_{D,T}}{Q_T} = \frac{\xi_{Q_D} K_{D,T}}{\xi_Q K_T} = \frac{\xi_{Q_D}}{\xi_Q} = \xi_{r_D} \quad (39)$$

In particolare, mentre per ogni  $T$  e  $D$  il valore di  $K_T$  risulta praticamente costante, dal punto di vista statistico, su zone molto ampie del territorio (dell'ordine delle migliaia di Km<sup>2</sup>), il valore di  $\xi_{Q_D}$  varia, per un fissato valore della durata  $D$ , anche fortemente da punto a punto, sia in conseguenza della diversa estensione delle aree di volta in volta drenate, sia

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 33 di 70

per il loro grado di impermeabilizzazione, sia per cause di natura climatica, sia per effetto dell'orografia regionale e sia, soprattutto, per le differenti modalità con cui si sviluppano i processi di trasformazione degli *Afflussi meteorici* in *Deflussi di piena*.

D'altra parte, mentre una stima sufficientemente attendibile del parametro  $\xi_{Q_D}$  può essere effettuata, a causa della sua scarsa variabilità campionaria, già in base all'elaborazione delle serie storiche degli idrogrammi di piena registrati in pochi anni di osservazione (se fossero, eventualmente disponibili !), l'affidabilità della stima dei parametri contenuti nell'espressione di  $K_T$  e, quindi, l'attendibilità stessa della stima di  $K_T$ , risulta fortemente influenzata dal ridotto numero di dati di norma a disposizione.

Di conseguenza, mentre la valutazione di  $K_T$  può essere di norma effettuata solo in base ad un'analisi regionale, condotta su due distinti livelli (*I e II Livello di analisi regionale*), la valutazione del parametro  $\xi_{Q_D}$  va effettuata tenendo conto, soprattutto, delle peculiarità proprie degli specifici bacini di volta in volta presi in esame.

In pratica, per la scarsità dei dati di norma disponibili e per la molteplicità dei parametri da introdurre in eventuali legami di regressione tra il valore di  $\xi_{Q_D}$  e le caratteristiche climatiche e fisiografiche dei bacini, risulta, di norma, poco attendibile procedere, per tale parametro, a un'*analisi regionale di III Livello* in grado di portare in conto le varie variabili coinvolte nel fenomeno.

Le alternative tecnicamente possibili risultano essere due:

- nel caso in cui fosse disponibile la serie storica degli idrogrammi di piena registrati già in pochi anni di osservazione, si potrebbe effettuare la stima dei valori  $\xi_{Q_D}$  direttamente a partire dai dati a disposizione (Penta, 1983; Silvagni, 1985; Pianese e Rossi, 1986).
- nei casi, quali quelli presi in esame, in cui non esistono misure dirette di portata, ricorrendo ad una tecnica basata sull'accoppiamento di un processo di massimizzazione (*approccio "variazionale" o "estremante" o "massimizzante"*) con un adeguato modello di trasformazione Afflussi/Deflussi.

Nello specifico caso dei 2 bacini presi a riferimento nella presente parte della Relazione, mancano completamente misure di portata. Pertanto, non risulta possibile procedere ad una valutazione diretta del parametro  $\xi_{Q_D}$ .

Di conseguenza, non potrà che ricorrersi o a una formula di regressione preventivamente tarata su bacini simili (in base, per l'appunto, ad un'analisi regionale di III Livello) oppure al secondo dei metodi indicati, cercando, in questo caso, di sfruttare al meglio le informazioni

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	34 di 70

disponibili in merito alle caratteristiche di piovosità della zona, alle caratteristiche di permeabilità delle aree colanti e alle caratteristiche fisiografiche sia delle aste della rete di drenaggio che dei bacini sottesi dalle due sezioni prese a riferimento nelle valutazioni.

Tanto premesso, di seguito vengono dapprima illustrate, brevemente, le metodologie utilizzate per la valutazione del parametro  $\xi_Q$  a partire da dati pluviometrici, di permeabilità e fisiografici caratteristici dei singoli bacini. Dopodiché, vengono illustrate le tecniche utilizzate per la valutazione dei diversi componenti del modello di trasformazione Afflussi/Deflussi preso a riferimento, e sono riportati i risultati ottenuti, per ciascuna delle sezioni prese a riferimento, e con ciascun approccio, in termini di valori di  $\xi_{Q_D}$  e di  $Q_{D,T}$ , per diversi valori del periodo di ritorno  $T$ .

### **6.3 Approccio utilizzato per la valutazione, su base probabilistica, dei massimi annuali delle portate al picco e dei massimi annuali delle portate medie in assegnate durate $D$ (approccio “massimizzante” o “variazionale”)**

#### *6.3.1.1 Necessità di applicazione di un approccio “variazionale” (o “massimizzante”)*

Si può dimostrare (Della Morte, Materazzi e Pianese, 2000; Della Morte, Iavarone e Pianese, 2001; Della Morte, Brangi, Iavarone e Pianese, 2003; Covelli, Mucherino, Palumbo e Pianese, 2008), che la valutazione delle medie (su più anni) dei massimi annuali delle portate istantanee che possono affluire in una data sezione di una rete naturale o artificiale,  $\mu_Q$ , può essere effettuata con un *approccio variazionale*, in uno con l'utilizzazione di un adeguato *modello di trasformazione Afflussi/Deflussi*.

La necessità di applicare un *approccio variazionale* (meglio sarebbe definirlo “*massimizzante*”) per il calcolo di  $\mu_{Q_D}$  nasce dal tipo di informazione di norma disponibile in relazione alle massime precipitazioni che possono affluire ad un bacino.

Com'è noto, infatti, le informazioni normalmente disponibili per l'analisi delle massime precipitazioni fanno riferimento alle osservazioni sistematicamente effettuate, attualmente, dalla Protezione Civile regionale, e, fino ad alcuni anni or sono, dal S.I.M.N. (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale), costituito a partire dall'ex S.I.I. (Servizio Idrografico Italiano) e, eventualmente, da osservazioni effettuate da strumenti di misura installati dall'ENEL, da Consorzi, Comunità Montane, ecc. In particolare, le osservazioni di norma disponibili sono di due tipi:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>35 di 70</b>

- a) osservazioni pluviometriche, effettuate con l'ausilio di apparecchi di misura molto semplici, definiti pluviometri, capaci, unicamente, di fornire il valore cumulato di acqua affluito, in un determinato periodo di tempo, ad una superficie di raccolta di preassegnata area. Tale periodo di tempo, viene assunto, convenzionalmente, pari ad un giorno, con osservazioni ripetute alle ore 9.00 di ogni giorno;
- b) osservazioni pluviografiche, effettuate con l'ausilio di apparecchi di misura più complessi dei precedenti (i pluviografi), in grado di rilevare e di registrare i volumi di acqua complessivamente precipitati, su un'area di preassegnate dimensioni, in preassegnati intervalli di tempo (tipicamente, ogni 2 o 5 minuti, a seconda del tipo di strumento).

I volumi cumulati di acqua misurati in tali durate, rapportati all'area della superficie superiore dello strumento, danno luogo a una nuova grandezza idrologica avente le dimensioni di una lunghezza e, normalmente, definita altezza di pioggia nella durata  $d$ , essendo  $d$  la durata presa a riferimento per la valutazione dei volumi di acqua via via accumulatisi nell'apparecchiatura di misura. A partire da tali valori, per ogni fissata durata  $d$ , si potrà senz'altro calcolare il massimo annuale dell'altezza di pioggia nella durata  $d$ .

Sulla base di tali osservazioni, il Servizio Idrografico prima e, da qualche anno, la Protezione Civile regionale, elabora e pubblica, anno per anno, sui cosiddetti Annali Idrologici, le seguenti informazioni:

1. altezze di pioggia relative a piogge di breve durata e notevole intensità,  $h_d^*$ . Tali valori, di norma disponibili con riferimento a durate dell'ordine di minuti o poche decine di minuti (al più, pari a 55 minuti), non costituiscono dei veri e propri massimi annuali nella durata specificata, ma solo valori che, a parere del tecnico di volta in volta incaricato di effettuare le elaborazioni dei dati registrati, sono tanto elevati da meritare, comunque, la loro annotazione in un'apposita tabella di pubblica consultazione;
2. massimi annuali  $h_d$  delle altezze di pioggia nelle durate  $d = 1$  ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore.

Tali valori, a meno di errori (tra cui, non infrequenti, anche quelli di stampa), costituiscono veri e propri massimi, già certificati come tali da parte del Servizio Idrografico (o dalla Protezione Civile regionale) e direttamente utilizzabili per le successive elaborazioni statistiche, previa una preliminare analisi di congruenza con gli altri valori disponibili;

3. massimi annuali  $h_d^{**}$  delle altezze di pioggia cumulate in durate da uno a cinque giorni consecutivi, ottenute mediante un processo di massimizzazione della somma delle

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 36 di 70

altezze di pioggia registrate dalle ore 9.00 di un giorno alle ore 9.00 del giorno successivo.

Alla luce di tali dati, indipendentemente dal tipo di approccio o di tecnica utilizzata, risulta possibile fare previsioni soltanto con riferimento ai valori cumulati di pioggia che si possono verificare in preassegnate durate.

Rapportando le altezze di pioggia di assegnata durata alla durata stessa, si potrà ottenere l'intensità media di pioggia nella stessa durata di riferimento, e il massimo annuale  $i_d = \frac{h_d}{d}$  di tale grandezza.

A proposito del significato dell'ultima grandezza introdotta, è da osservare che, poiché  $\frac{\partial h(t)}{\partial t} \neq \frac{h_d}{d}$  (cioè, i valori istantanei dell'intensità di pioggia risultano, sia concettualmente che numericamente, completamente differenti dall'intensità media di pioggia in un'assegnata durata  $d$ ), dalle informazioni pluviometriche di norma disponibili non risulta in alcun modo possibile descrivere un reale o, almeno, presumibile andamento dello scroscio di pioggia all'interno della prefissata durata.

Per quanto riguarda le modalità con cui l'intensità media di pioggia nella durata  $d$  varia al variare della durata  $d$  stessa, è da osservare, preliminarmente, che la massima intensità media di pioggia nella durata  $d$ ,  $i_d$ , va riducendosi all'aumentare di  $d$ . Ciò risulta vero, in particolare, sia con riferimento ad un qualsiasi evento meteorico, sia con riferimento ad un qualsiasi anno di osservazione, sia con riferimento a parametri statistici come la media, valutata sull'intero spazio campionario,  $\mu_{i_d}$ , o stimata considerando i valori effettivamente osservati in diversi anni,  $\hat{\mu}_{i_d}$ .

Viceversa, all'aumentare della durata della pioggia, aumenta la percentuale  $\delta$  della superficie del bacino che, a un certo istante, viene a contribuire alla formazione della portata di piena. In particolare, per durate di pioggia uguali o superiori al cosiddetto *tempo di corrivazione del bacino* (tempo di corrivazione = tempo impiegato dalle particelle d'acqua che provengono dalle zone più distanti e in quota del bacino per affluire alla sezione di chiusura del bacino stesso), tutte le aree del bacino contribuiscono alla formazione delle portate di piena e, pertanto, la percentuale di superficie contribuente alla formazione del deflusso di piena risulta pari al 100% ( $\delta = 1$ ).

Poiché, a meno di un fattore moltiplicativo costante o leggermente crescente con l'altezza di pioggia (il cosiddetto *coefficiente di afflusso*  $\varphi$ ), la portata al colmo di piena risulta pari al

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	37 di 70

prodotto dell'intensità media di pioggia  $\mu_{i_d}$  per l'area contribuyente  $A_{c,d}$ , si avrà il prodotto di una funzione più o meno decrescente con la durata di pioggia per un fattore crescente con la durata  $d$ .

Il prodotto di queste due funzioni darà luogo, in corrispondenza di un particolare valore  $d^*$  della durata, definita *durata critica*, a un massimo della portata.

Tale massimo può essere assunto (*Della Morte, Matarazzi & Pianese, 2000; Della Morte, lavarone & Pianese, 2001*) quale il valore della portata al colmo da prendere a riferimento per le successive valutazioni.

### 6.3.1.2 Modalità di sviluppo dell'approccio variazionale

In assenza di misure dirette di portata, la valutazione di  $Q_{D,T}$  può essere effettuata con un *approccio variazionale* (o "estremante" oppure, ancora, "massimizzante"), vale a dire:

- fissando un periodo di ritorno  $T$  di riferimento;
- considerando eventi di pioggia di intensità  $i_{d,T}$  costante nella durata  $d$  presa a riferimento, e con valore di tale intensità superabile, mediamente, ogni  $T$  anni;
- calcolando il corrispondente idrogramma  $\{[Q(t)]_d\}_T$  attraverso un adeguato modello di trasformazione Afflussi/Deflussi;
- individuando, per ogni durata  $D$ , il massimo  $\{(Q_D)_d\}_T$  della portata media affluente in intervallo di tempo di durata  $D$  e calcolando, poi, la stima di  $Q_{D,T}$  come il massimo, al variare della durata  $d$ , dei valori  $\{(Q_D)_d\}_T$ .

In pratica, l'approccio variazionale consta di numerosi passi, che vengono qui di seguito sintetizzati:

1. Si fissa il periodo di ritorno  $T$  di interesse;
2. Si fissa una durata  $D$ ;
3. Dalla curva di probabilità pluviometrica "regionale" (individuata in base agli studi specificatamente eseguiti dall'Autorità di Bacino competente per territorio, vale a dire l'Autorità di Bacino della Campania Centrale), valida per l'intera sottozona oggetto delle presenti analisi, relativa al massimo annuale dell'altezza di pioggia nella durata  $d$  e corrispondente al periodo di ritorno  $T$ , si valuta  $h_{d,T}$ ;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 38 di 70		

4. Si valuta il *massimo annuale dell'altezza di pioggia nella durata  $d$ , ragguagliata con riferimento all'estensione  $A$  dell'area del bacino* e corrispondente al periodo di ritorno  $T$ ,  $(h_{d,T})_A$ , moltiplicando  $h_{d,T}$  per il cosiddetto "Fattore di riduzione areale",  $K_{A,d,T}$ , che, oltre a tener conto dell'estensione  $A$  della superficie del bacino e della durata  $d$  della pioggia, può tenere anche conto del periodo di ritorno  $T$  preso a riferimento per la valutazione delle piogge;
5. Si calcola il valore  $(\varphi_{d,T})_A$  del *coefficiente di afflusso ragguagliato sull'intero bacino e relativo a piogge di durata  $d$  superabili, mediamente, ogni  $T$  anni*;
6. Si considera un evento meteorico caratterizzato: a) da una durata pari a  $d$ ; b) da un andamento delle intensità medie di pioggia nella durata  $d$  del tipo

$$(i_{d,T})_A = \begin{cases} \frac{(h_{d,T})_A}{d} = \frac{h_{d,T} \cdot K_{A,d,T}}{d} & \text{se } t \leq d \\ 0 & \text{se } t > d \end{cases}$$

7. Si considera un andamento delle portate di origine meteorica efficaci ai fini della formazione del deflusso di piena a sua volta caratterizzato da: a) una durata  $d$ ; b) un andamento delle portate del tipo:

$$p_{d,T} = \begin{cases} (\varphi_{d,T})_A \cdot (i_{d,T})_A \cdot K_{A,d,T} \cdot A & \text{se } t \leq d \\ 0 & \text{se } t > d \end{cases}$$

8. Si immette tale portata in un idoneo modello di trasformazione Afflussi/Deflussi, ottenendo l'idrogramma di piena corrispondente  $\{[Q(t)]_d\}_T$ ;
9. Si individua il massimo, al variare di  $\varepsilon$ , della funzione  $\int_{\varepsilon}^{\varepsilon+D} \{[Q(t)]_d\}_T dt$ , che rappresenta il volume di piena complessivamente defluente nell'intervallo di tempo di durata  $D$  compreso tra gli istanti  $\varepsilon$  (istante iniziale) e  $\varepsilon + D$  (istante finale);
10. Si calcola la massima portata media nella durata  $D$ , corrispondente alla durata di pioggia  $d$ , come

$$(Q_{D,T})_d = \frac{\max_{\varepsilon} \int_{\varepsilon}^{\varepsilon+D} \{[Q(t)]_d\}_T dt}{D}$$

11. Si fissa un nuovo valore di  $d$ , e si torna al punto 3;
12. Si ripete il procedimento indicato nei punti dal 3 al 10 per un certo numero di volte, avendo cura di procedere per intervalli di durata  $\Delta d$  non troppo elevati;
13. Si individua il massimo, al variare della durata  $d$  dell'evento, della grandezza  $(Q_{D,T})_d$ , vale a dire la grandezza

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>
						PAGINA <b>39 di 70</b>

$$\hat{Q}_{D,T} = \max_d [(Q_D)_d]$$

14. Si ammette chela migliore stima della grandezza  $Q_{D,T}$  risulti proprio pari a  $\hat{Q}_{D,T}$ ;
15. Si fissa una nuova durata  $D$ , e si ripete la procedura descritta nei punti dal 3 al 14.

### 6.3.1.3 Elaborazioni preliminari necessarie per l'applicazione dell'approccio variazionale

Da quanto si è detto nel paragrafo precedente, per l'applicazione dell'approccio variazionale occorrerà:

1. Individuare il legame:

$$h_{d,T} = h_{d,T}(d, T)$$

valido per ciascuno dei bacini presi in esame;

2. adottare un idoneo modello di regressione per stimare il fattore di riduzione areale delle piogge;
3. adottare un adeguato modello di trasformazione Afflussi/Deflussi;
4. stimare in modo idoneo i parametri contenuti nel modello preso a riferimento;
5. individuare in modo realistico il valore  $(\varphi_{d,T})_A$  del *coefficiente di afflusso ragguagliato sull'intero bacino e relativo a piogge di durata  $d$  superabili, mediamente, ogni  $T$  anni.*

Fermo restando che la problematica relativa all'individuazione delle espressioni  $h_{d,T} = h_{d,T}(d, T)$  da utilizzare nei calcoli "de quo" è già stata affrontata e risolta nel capitolo 3 della presente Relazione, nei paragrafi che seguono si illustrano le modalità con cui è stato possibile pervenire alla soluzione delle diverse problematiche evidenziate.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 40 di 70		

#### 6.4 Valutazione del fattore di riduzione areale

Per ogni fissato valore  $A$ , dell'area di un bacino, si può valutare il rapporto:

$$K(A, d, T) = \frac{I_A(d, T)}{I_p(d, T)} \quad (40)$$

in cui:

$I_p(d, T)$  = massimo annuale dell'intensità di pioggia puntuale di durata  $d$  e periodo di ritorno  $T$ ;

$I_A(d, T)$  = massimo annuale dell'intensità media della pioggia areale, a pari durata e periodo di ritorno.

Tale rapporto è noto come *fattore di riduzione areale (ARF)* e dipende anche dal valore di  $A$  stesso.

Quando, nell'area,  $I_p(d, T)$  varia da punto a punto, nella (1) ne va considerato il *valor medio spaziale*, ottenuto, ad esempio, con tecniche di regionalizzazione delle piogge puntuali, quali quelle esposte nei paragrafi precedenti.

La valutazione di  $I_A(d, T)$  avviene, per ogni fissata area di valore  $A$ , misurando la pioggia areale totale per ogni evento ed ottenendo, da queste, la serie dei massimi annuali.

Questa è in sintesi, la procedura seguita dall'U.S Weather Bureau [1957-60] nell'area orientale degli Stati Uniti, da Holland [1967] in una piccola area del Middle England, da Penta [1974] per le piogge giornaliere in Basilicata, per citarne solo alcuni. In tutti questi studi, si è riscontrata solo una debole dipendenza dell'ARF da  $T$ ; essa è, perciò, spesso trascurata nella pratica, soprattutto se confrontata con la varianza campionaria dei dati utilizzati, che è necessariamente elevata vista la scarsità stessa dei dati e la soggettività insita nelle stime areali ottenute da misure puntuali.

Il NERC [1975] ha seguito, per la Gran Bretagna, una procedura alquanto diversa, valutando la media dei rapporti fra massime piogge puntuali e areali, anziché fare il rapporto dei valori medi delle stesse variabili. Bell [1976] ha rivisto l'intera procedura mostrando che, per periodi di ritorno non elevati, i risultati di tale procedura coincidono con quelli ottenibili dalla (19).

Si nota che i valori dell'ARF forniti dall'U.S. Weather Bureau [1957-60] e dal NERC [1975] sono piuttosto simili fra loro per gli stessi valori di  $A$  e  $d$ , mentre quelli forniti da Penta

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>41 di 70</b>	

[1974] e successivamente confermati da Catalano et. al. [1990], che hanno indagato le aree ricadenti nel bacino del F. Crati, limitrofe alla Basilicata, sono sempre notevolmente più bassi.

Questo suggerisce, da un lato, la necessità di compiere studi entro la zona che si sta considerando, e, dall'altro, la possibilità di mettere in relazione il fenomeno con caratteristiche climatiche ad ampia scala.

L'interpretazione di questi risultati empirici può essere perseguita attraverso interpolazioni empiriche o per derivazione da modelli del fenomeno stocastico di base. In quest'ultimo caso, sono presenti, in letteratura, diversi modelli: alcuni richiedono la precisazione di semplici strutture correlative [Roche, 1963; Rodriguez-Iturbe e Meija, 1974b], oppure, per ottenere dalle statistiche puntuali quelle medie areali, si basano su modelli geostatistici [Lebel et al., 1987]

Modelli più complessi considerano il fenomeno come un campo casuale a vari livelli di aggregazione temporale [Rodriguez-Iturbe, 1986; Rodriguez-Iturbe et al., 1987].

Questi modelli richiedono, però, la taratura di un gran numero di parametri e, di conseguenza, dati in quantità e qualità tali da non essere ancora utilizzabili nella pratica.

Per via empirica, la dipendenza dell'*ARF* dell'area *A* e della durata *d* della pioggia può essere espressa mediante una relazione del tipo:

$$K(A, d) = 1 - f_1(A) \cdot f_2(d) \quad (41)$$

che risulta abbastanza generale da comprendere un certo numero di espressioni empiriche finora formulate [Villani, 1990].

In particolare, Eagleson [1972] considera, per gli Stati Uniti:

$$f_1(A) = 1 - \exp[-C_1 \cdot A] \quad (42)$$

$$f_2(d) = \exp[-C_2 \cdot d^{C_3}] \quad (43)$$

con:

$$C_1 = 3.8 \cdot 10^{-2}$$

$$C_2 = 1.1$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 42 di 70

$$C_3 = 0.25$$

avendo espresso le aree in Km<sup>2</sup> e le durate in ore.

In Italia, il Servizio Idrografico e Mareografico (SIMI) fornisce i soli valori delle piogge giornaliere; è possibile, comunque, tarare i coefficienti da cui dipende la variabilità dell'ARF con l'area utilizzando tali dati.

Penta [1974], per le piogge giornaliere, mostra l'adattamento delle (42) e (43) ai dati, utilizzando i seguenti valori:

$$C_1 = 2.1 \cdot 10^{-3}$$

$$C_2 = 0.53$$

Il coefficiente che descrive la variabilità dell'ARF con la durata può essere assunto, in prima approssimazione, pari a quello fornito da Eagleson [1972] per gli Stati Uniti Orientali.

Un'applicazione della procedura descritta è in Villani [1990] ed in Ferrari e Villani [1990], ove si mostra l'influenza dell'ARF sulla valutazione della piena media.

In definitiva, per la stima del *fattore di riduzione areale delle piogge*, si è fatto riferimento all'espressione proposta da Penta [1974]:

$$K_A(d) = 1 - [1 - \exp(-0.0021 \cdot A)] \cdot \exp(-0.53 \cdot d^{0.25}) \quad (44)$$

## 6.5 Il modello di trasformazione afflussi→deflussi

### 6.5.1.1 Generalità

Il *modello di trasformazione Afflussi→Deflussi* che si è andato a utilizzare è il modello di evento, di tipo concettuale, lineare e stazionario, suggerito dall'Autorità di Bacino della Campania Centrale per bacini di estensione inferiore ai 15 Km<sup>2</sup>: il *Metodo della Corrivazione* (anche noto come *Modello Cinematico*), in cui il *tempo di corrivazione* è stato valutato con l'una delle formule indicate nel "*Manuale di progettazione delle opere civili*" di RFI: la formula di Kirpich.

Tale scelta risulta motivata da quattro distinte circostanze:

1. presenta pochi parametri, di chiaro significato fisico;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 43 di 70

2. una volta tarati i parametri in esso contenuti, risulta tra quelli più idonei a ricostruire eventi di piena effettivamente osservati in bacini strumentati;
3. è di facile uso.

In particolare, il modello cinematico, oltre che basarsi su una specifica modalità di ricostruzione della cosiddetta "curva tempo-area"  $A(t)$  [rappresentativa delle modalità con cui le piogge nette via via affluiscono alle superfici sottese da una preassegnata "sezione di chiusura" contribuiscono a dare origine al ruscellamento superficiale], contiene due soli parametri:

-il coefficiente di afflusso  $\varphi$ ;

-il tempo di corrivazione  $t_c$  relativo al bacino in esame.

La sua espressione analitica è data dal cosiddetto *integrale di convoluzione*

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) u(t - \tau) d\tau \quad (45)$$

nel quale la funzione  $u(t)$ , definita genericamente *IUH* (*I*stantaneous *U*nit *H*ydrograph), è data, nel caso specifico, da

$$u(t) = \frac{1}{A} \frac{dA(t)}{dt} \quad (46)$$

È possibile dimostrare che, per un'assegnata forma della "curva tempo-area"  $A(t)$ , l'*IUH*  $u(t)$  viene a dipendere solo ed esclusivamente dal valore assunto dal tempo di corrivazione dell'intero bacino sotteso dalla specifica sezione di interesse.

Ne consegue che, nel caso in esame, una volta scelta la forma della funzione  $A(t)$ , occorrerà valutare:

- da un lato, solo le modalità in cui le piogge massime che possono affluire, mediamente, a un'assegnata area (quella del bacino di volta in volta preso in esame), si trasformano in piogge efficaci ai fini della formazione del ruscellamento superficiale;
- il tempo di corrivazione  $t_c$  di ciascuno dei bacini sottesi dalle singole sezioni prese a riferimento.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 44 di 70	

### 6.5.1.2 Valutazione del tempo di corrivazione dei vari bacini presi a riferimento

Come è ben noto, il *tempo di corrivazione* (spesso indicato, in letteratura tecnica, anche col nome di "*tempo di concentrazione*") di un determinato bacino può essere valutato con diversi tipi di approcci.

Tra le numerosissime alternative proposte in letteratura tecnica, sia in Italia che all'estero, possono citarsi, a titolo esemplificativo:

#### a) la Formula di Giandotti (1905):

Tale formula è stata sviluppata a partire dai dati ottenuti in 5 bacini alpini italiani. Essa è largamente utilizzata nel nostro Paese, ed è data da

$$t_c = 60 \cdot \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot \left( \frac{L}{1000} \right)}{0.8 \cdot (Y_m - Y_0)^{0.5}} \quad (47)$$

#### b) la Formula di Kirpich (1940):

Tale formula è stata sviluppata a partire dai dati ottenuti in sette bacini rurali ubicati nel Tennessee (USA). I bacini avevano canali ben definiti, con pendenze comprese tra 0.03 e 0.1 m/m, ed erano caratterizzati da aree di estensione compresa tra 0.4 e 45 ettari. Essa è stata usata estensivamente in contesti urbani, sia per la valutazione delle portate di ruscellamento superficiale che per bacini rurali di estensione fino a 80 ettari. La formula è data dall'espressione:

$$t_c = 0.0195 \cdot L^{0.77} s^{-0.385} \quad (48)$$

#### c) la Formula di Kerby (1959):

Tale formula è stata sviluppata a partire dai dati di bacini aventi una lunghezza dell'asta principale minore di 365 m, pendenze longitudinali minori di 0.01 m/m e aree di estensione minore di circa 4 ettari. La sua espressione è la seguente:

$$t_c = 1.44 \cdot (L \cdot r_{Ke})^{0.467} s^{-0.235} \quad (49)$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 45 di 70

dove  $r_{Ke}$  è un parametro (denominato “coefficiente di ritardo”) che dipende dalla natura delle superfici del bacino, e che, nel caso di superfici interessate pavimentazioni lisce, può essere assunto (Chin, 2000) pari a 0.02, mentre nel caso di medio ricoprimento con erba può essere assunto pari a 0.40 (cfr. la successiva Tabella 2).

Tabella 3 – Valori da assumere per il coefficiente di ritardo di Kerby

Ground Cover	Kerby Retardance Coefficient, $r_{Ke}$ (Chin, 2000)
Conifer timberland, dense grass	0.80
Deciduous timberland	0.60
Average grass	0.40
Poor grass, bare sod	0.30
Smooth bare packed soil, free of stones	0.10
Smooth pavements	0.02

d) la Formula della FFA (U.S. Federal Aviation Administration, 1970):

Tale formula è stata sviluppata a partire dai dati ottenuti da misure di portata effettuate in aree aeroportuali, ma è stata successivamente applicata anche per la valutazione delle portate di ruscellamento superficiale in ambito urbano, e ha l'espressione:

$$t_c = 0.39 \cdot (L \cdot 0.3048)^{0.5} \cdot (1.1 - \phi) \cdot s^{-0.333} \quad (50)$$

e) la Formula della California Culvert Practice (CPP, 1995):

Tale formula è stata sviluppata per piccoli bacini montani in California, e ha l'espressione:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>						
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 46 di 70		

$$t_c = 60 \cdot \left[ 11.9 \cdot \left( \frac{L}{1609.344} \right)^3 \right] \cdot (H / 0.3048) \quad (51)$$

In tali formule, i simboli hanno il significato di seguito riportato:

- $t_c$  rappresenta il tempo di corrivazione (in minuti);
- $s$  rappresenta la pendenza longitudinale del percorso principale (in m/m);
- $L$  rappresenta la lunghezza (in metri) dell'asta principale del bacino (quella caratterizzata, di fatto, dalla maggiore lunghezza tra i vari possibili percorsi delle particelle d'acqua che affluiscono sul bacino);
- $H$  rappresenta la differenza massima di quota (in metri) tra lo spartiacque e la sezione di chiusura del bacino;
- $Y_m$  rappresenta la quota media del bacino (espressa in metri sul livello medio del mare), ricavabile in base alla preventiva individuazione della cosiddetta "curva ipsometrica" (o "ipsografica") del bacino, a sua volta riportante il modo in cui l'area  $A(Y)$  della porzione di bacino caratterizzata da quote inferiori al generico valore  $Y$  va variando al variare di  $Y$ );
- $Y_0$  rappresenta la quota della sezione di chiusura dello specifico bacino di volta in volta preso a riferimento (anch'essa espressa in metri sul livello medio del mare).

Per i vari bacini presi in esame nell'ambito della presente parte della Relazione, l'espressione utilizzata per la valutazione del tempo di corrivazione di volta in volta necessario per la valutazione delle modalità di ruscellamento superficiale delle piogge affluenti ai bacini stessi è, come indicato nel Manuale RFI, quella data dalla formula di Kirpich (Formula 48).

Di conseguenza, allo scopo di individuare tali grandezze, per ciascuno dei bacini e sottobacini presi in esame nell'ambito di questo capitolo della presente Relazione si è dovuto, preliminarmente:

- Individuare la cosiddetta "linea spartiacque";
- Individuare l'area  $A$  della porzione del territorio (costituita dal rilevato ferroviario vero e proprio e dalle aree immediatamente latistanti) ricadente all'interno della stessa;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 47 di 70

- Provvedere a tracciare la curva ipsografica;
- Provvedere a individuare la lunghezza  $L$  dell'asta principale del bacino;
- Provvedere a individuare la pendenza  $s$  dell'asta principale del bacino.

### 6.5.1.3 Valutazione, attraverso il metodo della corrivazione, degli idrogrammi di piena conseguenti a piogge, uniformemente distribuite su un bacino, di preassegnato andamento nel tempo

Come ben noto, il *Metodo della Corrivazione* non dà origine a fenomeni di attenuazione delle piene derivanti da potenziali capacità di accumulo presenti lungo il percorso delle gocce d'acqua e, pertanto, consente di fare stime a sicuro vantaggio di sicurezza delle portate in arrivo a una preassegnata sezione di interesse ubicata lungo un corso d'acqua o una rete artificiale di drenaggio.

Il metodo adottato rientra, come ben noto in campo tecnico-scientifico, tra i cosiddetti "Modelli di piena lineari e stazionari", relativamente ai quali la portata  $Q(t)$  che può giungere, all'istante  $t$ , alla sezione terminale del bacino sotteso (nel caso in esame, alla sezione terminale di ciascuno dei bacini presi a riferimento nei calcoli) è valutabile attraverso un *integrale di convoluzione*, dato da:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) u(t - \tau) d\tau \quad (45)$$

nel quale:

- $Q(t)$  è la portata affluente, all'istante  $t$ , alla sezione terminale (o "di chiusura") di ciascun sottobacino;
- $p(\tau)$  rappresenta la portata di origine meteorica complessivamente affluente al "sistema" sottobacino al generico istante  $\tau$  (con  $0 \leq \tau \leq t$ ), al netto delle perdite (dovute a infiltrazione, intercettazione da parte di piante e arbusti, accumuli superficiali, ecc.);
- $u(z) = \left. \frac{dS(r)}{dr} \right|_{r=z}$  è il cosiddetto *IUH* del sistema (caratteristico delle modalità con cui il

sistema bacino risponde ad un ingresso istantaneo ed unitario, dove *IUH* = *Istantaneous Unit Hydrograph*), che rappresenta il contributo del bacino, al generico istante  $z$ , conseguente a un ingresso di pioggia unitario che si realizza in un intervallo di tempo

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 48 di 70

infinitesimale, mentre  $S(r)$  rappresenta il valore assunto, al generico istante  $r$ , dalla cosiddetta "Curva ad S" del bacino, a sua volta rappresentante la risposta del bacino a un ingresso di intensità unitaria e indefinito nel tempo.

Poiché, salvo alcuni casi, l'integrale contenuto nell'espressione (45) non è, quasi mai, integrabile, la sua risoluzione viene quasi sempre perseguita per via numerica. In particolare, ricorrendo a un *approccio esplicito* e a una discretizzazione del tempo.

Indicato con  $\Delta t$  l'intervallo di tempo col quale si vogliono valutare le portate  $Q(t)$ , e posto che gli istanti  $\tau$  e  $t$  possano dunque valutarsi, in forma discretizzata, come

$$t = s \Delta t$$

$$\tau = m \Delta t, \quad \text{con } m = 0, 1, 2, \dots, s$$

l'integrale (45) può semplificarsi nella forma approssimata:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) u(t - \tau) d\tau \cong \sum_{m=0}^{s-1} \{p(m \Delta t) \cdot [S(s \Delta t - m \Delta t) - S(s \Delta t - m \Delta t - \Delta t)]\} \quad (52)$$

ovvero, in forma più contratta:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) u(t - \tau) d\tau \cong \sum_{m=0}^{s-1} \{p(m) \cdot [S(s - m) - S(s - m - 1)]\} \quad (53)$$

La portata  $p(\tau)$  di afflusso meteorico netto all'istante  $\tau = m \Delta t$  (quello, cioè, al netto di tutte le perdite per infiltrazione, intercettazione di alberi, fenomeni di invaso superficiali, ecc.) può valutarsi, per semplicità di analisi, mediante il cosiddetto "Metodo del coefficiente di afflusso", dove il cosiddetto "coefficiente di afflusso"  $\varphi$  viene a rappresentare il rapporto tra le aree  $A_i$  del bacino che si comportano come se fossero assolutamente impermeabili (e, quindi, come tali, completamente ed effettivamente contribuenti alla formazione del cosiddetto "deflusso superficiale") e l'area complessiva del bacino stesso,  $A$ , di talché

$$\varphi = \frac{A_i}{A} \quad (54)$$

Nel caso in esame, si assume che il rapporto le superfici contribuenti alla formazione del ruscellamento superficiale (che, a causa della progressiva saturazione dei terreni presenti nel bacino e, quindi, dell'umidità del suolo, tendono, di norma, ad aumentare) non si

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>49 di 70</b>	

incrementino nel tempo, per cui il rapporto  $A_i / A$  si mantenga costante durante l'evento meteorico (ipotesi di "stazionarietà" del comportamento del bacino).

Di conseguenza, nel caso in esame, la portata  $p(\tau)$  di afflusso meteorico netto all'istante  $\tau = m \Delta t$  può essere valutata come

$$p(\tau) = \varphi \cdot i(\tau) \cdot A = i^*(\tau) A_i \quad (55)$$

nella quale  $i(\tau)$  rappresenta l'intensità di pioggia al tempo  $\tau = m \Delta t$ .

Nel modello cinematico, l'espressione della cosiddetta "Curva ad S" è fornita dal rapporto

$$S(\tau) = \frac{A(\tau)}{A} \quad (56)$$

essendo  $A(\tau)$  l'area del bacino effettivamente contribuente al generico tempo  $\tau$ .

Il valore di  $A(\tau)$  dipende dal valore assunto dal tempo  $t$  rispetto all'istante  $\tau$  in cui la singola goccia di pioggia ha colpito un punto del bacino.

Indicato con  $t_c$  il tempo di corrivazione del singolo sottobacino (precedentemente definito in modo univoco),

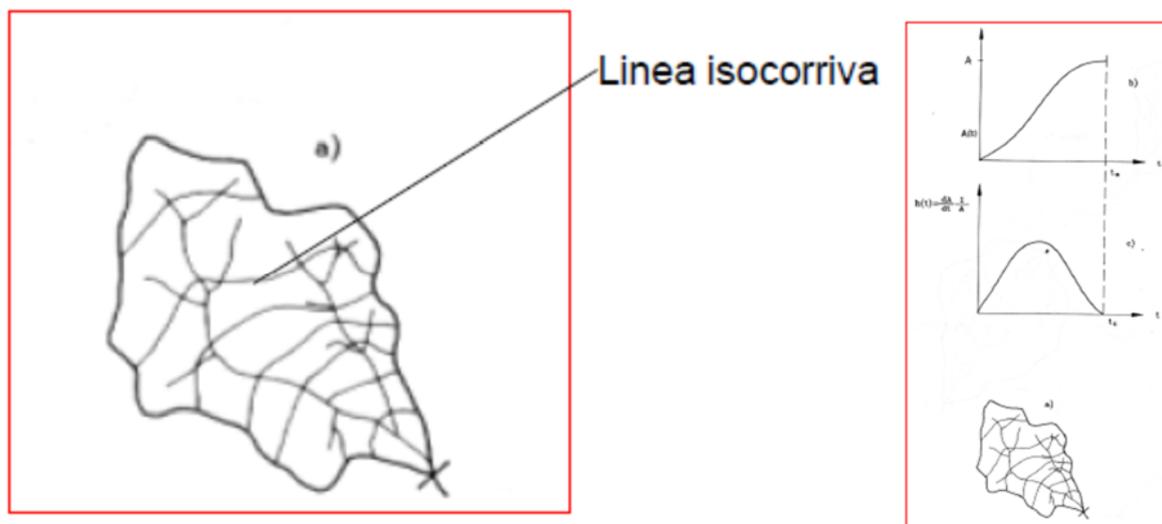
- se  $\tau < t_c$ , detto  $A(\tau)$  il luogo dei punti che presentano tempi di corrivazione pari a  $\tau$ , a un determinato istante  $t$  giungeranno a fornire il proprio contributo, con l'intensità di pioggia  $i(t - \tau)$  che si verificava in un intervallo di tempo di prima di  $t$  pari proprio a  $\tau$ , solo ed esclusivamente i punti facenti parte del luogo geometrico di area  $A(\tau)$ ;
- se, invece,  $\tau \geq t_c$ , il luogo dei punti che presentano tempi di corrivazione maggiori a uguali a  $t_c$  è pari, proprio, a tutta la superficie  $A$ , per cui, per tutti gli istanti  $\tau \geq t_c$ , potrà assumersi senz'altro  $A(\tau) = A$ ;

Come può vedersi, in base alle espressioni precedenti, per fissato valore del coefficiente di afflusso, i valori di  $Q(t)$  verranno a dipendere, in base al modello proposto, solo dall'andamento, nel tempo, delle precipitazioni, attraverso l'intensità di pioggia istantanea  $i(t)$ , e dal rapporto  $S(\tau) = \frac{A(\tau)}{A}$ .

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA	
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	50 di 70	

Per determinare le aree  $A(\tau)$  (vale a dire, la cosiddetta "Curva tempo-Area"), si prendono di norma a riferimento le cosiddette *linee isocorrive* (ciascuna delle quali rappresentanti il luogo dei punti di uno stesso bacino caratterizzati dal presentare lo stesso tempo di corrivazione, e tracciabili con riferimento a diverse ipotesi di lavoro).

A partire da tali curve (cfr. la Figura 17), possono altresì determinarsi le differenze  $A(z) - A(z - \Delta t)$  tra le aree complessivamente drenanti al generico tempo  $z$  e quelle complessivamente drenanti al tempo  $(z - \Delta t)$ , date dalle superfici ricomprese tra due successive isocorrive.



**Figura 17 – Rappresentazione schematica delle linee isocorrive in base alle quali tracciare la "Curva tempo-area" di un bacino**

Utilizzando tale schematizzazione, la regola per la valutazione delle portate  $Q(t)$  affluenti a una data sezione di interesse diventerebbe, semplicemente, la seguente:

$$Q(t) \cong \sum_{m=0}^{s-1} \left\{ \varphi_{A(s-m)-A(s-m-1)}^m i(m) \cdot [A(s-m) - A(s-m-1)] \right\} \quad (57)$$

nella quale

- $i(m)$  è l'intensità media di pioggia nell'intervallo di tempo  $m$ -esimo compreso tra gli istanti  $(s-m)\Delta t$  e  $(s-m-1)\Delta t$ ;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 51 di 70	

- $[A(s-m) - A(s-m-1)]$  è la parte del bacino ricompresa tra le due isocorive successive relative, rispettivamente, al tempo  $(s-m)\Delta t$  e  $(s-m-1)\Delta t$
- $\varphi_{A(s-m)-A(s-m-1)}^m$  è il valore che il coefficiente di afflusso relativo all'areola  $\Delta A_{s-m-1}^{s-m} = [A(s-m) - A(s-m-1)]$  assume nell'intervallo di tempo  $m$ -esimo compreso tra gli istanti  $(s-m)\Delta t$  e  $(s-m-1)\Delta t$

Nel caso in cui si ammette che  $\varphi_{A(s-m)-A(s-m-1)}^m = \text{costante} = \varphi$  e in cui (come si fa quando, come nel caso in esame, si utilizza un approccio "variazionale"), si può assumere che l'intensità di pioggia sia costante all'interno di un intervallo di tempo  $t \in [0, d]$ , per poi annullarsi quando  $t \in ]d, \infty[$ , la regola per la valutazione delle portate  $Q(t)$  affluenti a una data sezione di interesse diventa, semplicemente, la seguente:

$$Q(t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot \sum_{m=0}^{s-1} \{ [A(s-m) - A(s-m-1)] \} \quad (58)$$

Come può, dunque, osservarsi, in tali circostanze l'idrogramma di piena viene a dipendere, oltre che dal valore del prodotto  $(\varphi i_d)$ , esclusivamente dall'andamento della curva tempo-area.

Utilizzando tale schematizzazione, la regola per la valutazione delle portate  $Q(t)$  affluenti alle varie sezioni di interesse ai fini della presente progettazione diviene, semplicemente, la seguente:

A) Se  $d \leq t_c$  (ad esempio:  $d = t_c - 2\Delta t$ )

$$Q(t=0) = 0 \quad (59)$$

$$Q(t=1\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot \Delta A_1$$

$$Q(t=2\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2)$$

$$Q(t=3\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3)$$

$$Q(t=4\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \Delta A_4)$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>			
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>52 di 70</b>

.....

$$Q(t = (c - 2) \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-2}) \cdot$$

$$Q(t = (c - 1) \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1}) \cdot$$

$$Q(t = c \Delta t = t_c) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c)$$

$$Q(t = (c + 1) \Delta t = t_c + \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_4 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c)$$

$$Q(t = (c + 2) \Delta t = t_c + 2 \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_5 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c)$$

.....

$$Q(t = 2t_c - 2\Delta t) = 0$$

B) Se, invece,  $d > t_c$  (ad esempio:  $d = t_c + 3\Delta t$ )

$$Q(t = 0) = 0 \tag{60}$$

$$Q(t = 1\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot \Delta A_1$$

$$Q(t = 2\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2)$$

$$Q(t = 3\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3)$$

$$Q(t = 4\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \Delta A_4)$$

.....

$$Q(t = (c - 1) \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1}) \cdot$$

$$Q(t = c \Delta t = t_c) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c) = \varphi \cdot i_d \cdot A$$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>53 di 70</b>	

$$Q(t = (c + 1)\Delta t = t_c + \Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c) = \varphi \cdot i_d \cdot A$$

$$Q(t = (c + 2)\Delta t = t_c + 2\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c) = \varphi \cdot i_d \cdot A$$

$$Q(t = (c + 3)\Delta t = t_c + 3\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c) = \varphi \cdot i_d \cdot A$$

$$Q(t = (c + 4)\Delta t = t_c + 4\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c)$$

$$Q(t = (c + 5)\Delta t = t_c + 5\Delta t) \cong \varphi \cdot i_d \cdot (\Delta A_3 + \dots + \Delta A_{c-1} + \Delta A_c)$$

.....

$$Q(t = 2t_c + 3\Delta t) = 0$$

essendo  $\Delta t$  l'intervallo di calcolo utilizzato per la valutazione dell'idrogramma,  $c$  il numero di intervalli temporali adottato per suddividere il tempo di corrivazione del bacino ( $c = t_c / \Delta t$ ), e  $\Delta A_j$  l'area della porzione di bacino caratterizzata da punti che presentano tempi di corrivazione compresi tra  $(j-1) \cdot \Delta t$  e  $j \cdot \Delta t$ .

Si osservi che, per la determinazione della *curva tempo-area* da prendere a riferimento per la valutazione dell'area della porzione di bacino caratterizzata da punti che presentano tempi di corrivazione compresi tra  $(i-1) \cdot \Delta t$  e  $i \cdot \Delta t$ , la Letteratura Tecnico-Scientifica offre diverse possibilità: ad esempio, quella a suo tempo proposta dal Prof. Carlo Viparelli (*"Ricostruzione dell'idrogramma di piena"*, 1958), secondo il quale può assumersi che tutti i punti del bacino ubicati a una determinata quota sul livello del mare presentino lo stesso tempo di corrivazione (ipotesi di *isoipse uguali alle isocorrive*).

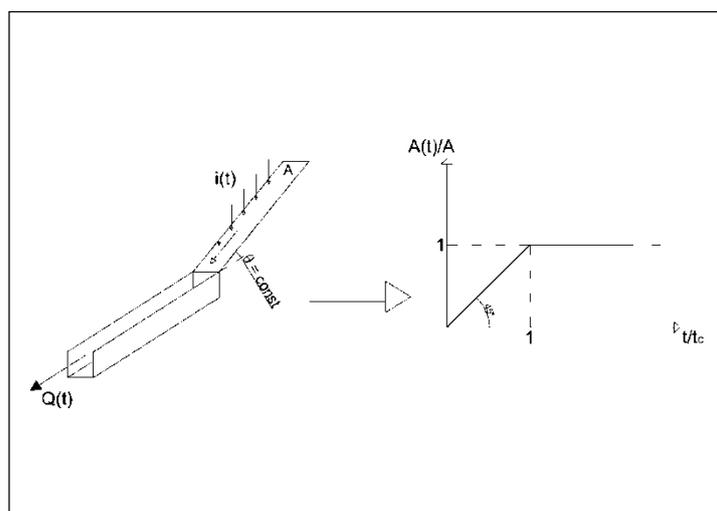
In base a tali ipotesi (meglio rispondente per bacini a forma "di foglia"), aree che si ritrovano ricomprese tra due preassegnate quote saranno caratterizzate da tempi di corrivazione ricompresi all'interno di uno specifico intervallo di tempo.

Se, dunque, si ammette che le particelle d'acqua che, ruscellando superficialmente, devono percorrere lo spazio ricompreso tra il punto del bacino ubicato alla quota più elevata ( $Y_{\max}$ ) e il punto del bacino ubicato alla quota meno elevata ( $Y_0$ ), impiegano un tempo pari al tempo di corrivazione dell'intero bacino (precedentemente calcolato in base, ad esempio, alla formula di Giandotti), e si ammette che gli stessi intervalli di quota  $\Delta Y = (Y_{\max} - Y_0) / c$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 54 di 70	

vengano percorsi nello stesso intervallo di tempo  $\Delta t$ , con  $\Delta t = [(t_c - 0)/c]$ , per cui si ha cura di far corrispondere linearmente, al dislivello  $(Y_{\max} - Y_0)$  presente all'interno del bacino, un tempo di corrivazione pari a quello del bacino, si può anche ammettere che l'area  $\Delta A_i$  - luogo dei punti caratterizzati da tempi di corrivazione ricadenti all'interno dell' $i$ -esimo  $\Delta t$  (e, quindi, da tempi di corrivazione compresi tra  $[(i-1) \cdot \Delta t]$  e  $[i \cdot \Delta t]$ ) - sia quella che, in base alla curva ipsografica del bacino, risulta allocata tra le quote  $[(i-1) \cdot \Delta Y]$  e  $[i \cdot \Delta Y]$  e, pertanto, possa facilmente ricavarsi in base alla curva ipsografica del bacino.

Nel caso in esame, i bacini sottesi dai fossi disperdenti non presentano forme regolari, se non per quanto riguarda la vera e propria piattaforma ferroviaria, il cui andamento è del tipo "a falda rettangolare con inclinazione e caratteristiche costanti" (cfr. la Figura 18)



**Figura 18 – Schematizzazione del comportamento – a classica falda inclinata – delle piattaforme ferroviarie, con relativa schematizzazione della “Curva ad S”**

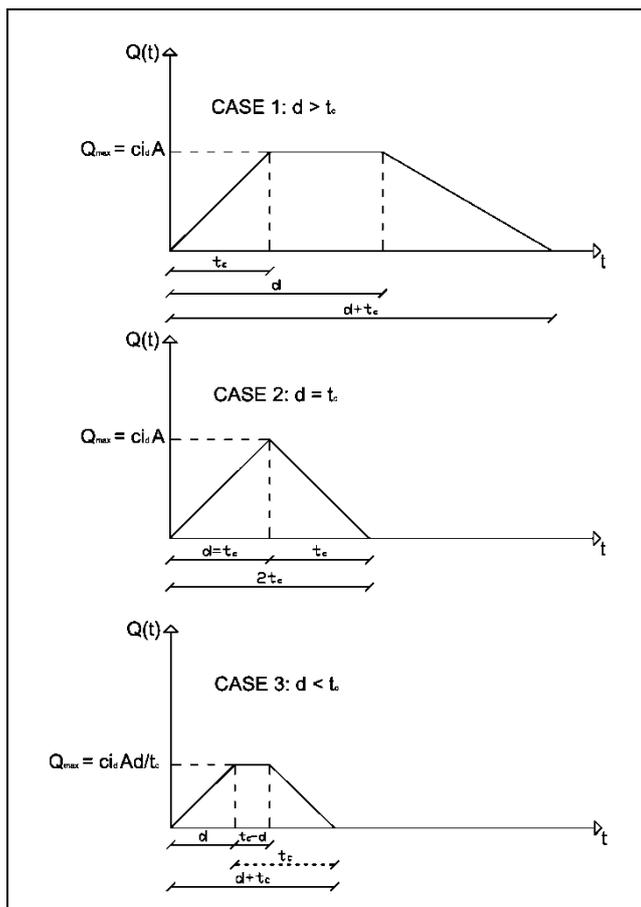
Per tale tipologia di bacini, l'andamento della curva tempo-area è costituita da una spezzata, tale che per  $0 \leq t \leq t_c$ , risulta  $A(t) = A \frac{t}{t_c}$ , mentre per  $t \geq t_c$ , risulta  $A(t) = A$  (cfr.

la Figura 18). Di conseguenza,  $\frac{\Delta A}{\Delta t} = costante$ .

In tali ipotesi, nel caso di piogge di intensità costante e di coefficiente di afflusso costante nel tempo e nello spazio, gli andamenti che possono ricavarsi dalle espressioni generali precedentemente descritte sono solo ed esclusivamente 3, a seconda che la durata  $d$

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b> PAGINA <b>55 di 70</b>

risultasse maggiore (Case 1), uguale (Case 2) o minore (Case 3) del tempo di corrivazione  $t_c$  (Figura 19):



**Figura 19 – Modalità di valutazione delle portate di ruscellamento superficiale nel caso di schematizzazione dei singoli bacini drenati come falde piane e di piogge di intensità costante in una preassegnata durata  $d$**

#### 6.5.1.4 Valutazione del coefficiente di afflusso

Come nel caso dei due rilevati precedentemente esaminati, oltre a raccogliere le acque di piattaforma, i fossi disperdenti FD09 e FD10 posti al piede del rilevato ferroviario compreso tra le progressive 10+600 e 11+000 raccoglieranno anche le acque di ruscellamento superficiale e quelle di falda in arrivo dai terreni immediatamente latitanti. Pertanto, l'area  $A$  complessivamente drenata sarà data dalla somma delle aree di piattaforma direttamente drenate dalla sezione di calcolo del singolo fosso, indicata col simbolo  $A_p$ , e delle aree

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 56 di 70	

esterne alla piattaforma ma comunque gravitanti sul tratto di fosso di via preso in esame nei calcoli, indicate col simbolo  $A_e$ .

Ciascuna di queste aree sarà, ovviamente, caratterizzata da un proprio valore del coefficiente di afflusso.

Indicati con:

- $\varphi_p$ , il coefficiente di afflusso relativo alle superfici costituenti la vera e propria piattaforma ferroviaria, di area  $A_p$  ;
- $\varphi_e$ , il coefficiente di afflusso relativo alle superfici esterne alla piattaforma ferroviaria, di area  $A_e$ , comunque sovraincombenti sul tratto di controfosso via via preso in esame;
- $\varphi$ , il coefficiente di afflusso medio pesato relativo all'intera superficie drenata, di area  $A$  ;

risulteranno, rispettivamente:

$$A = A_p + A_e \quad (34)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_p A_p + \varphi_e A_e}{A} \quad (35)$$

Nel caso in esame, si sono adottati i seguenti valori dei parametri:

- $\varphi_p = 0.90$ ;  $\varphi_e = 0.40$ ;

## 6.6 Verifica idrologico-idraulica dei fossi disperdenti

### 6.6.1.1 Generalità

Le verifiche idrologico-idrauliche dei fossi disperdenti sono state effettuate avvalendosi dell' *approccio variazionale/estremante/massimizzante* proposto da Pianese e Rossi (1984) e adottato, a livello semi-ufficiale, anche dal Servizio Dighe.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 57 di 70	

### 6.6.1.2 scale di efflusso dei fossi disperdenti (con efflusso causato dalla sola infiltrazione dal fondo e dalle pareti laterali del fosso)

Le scale di efflusso relative alle portate che si infiltrano attraverso il fondo e le pareti laterali dei fossi sono state ricavate considerando che, a causa della lentezza dei fenomeni di riempimento e di vuotamento della vasca, le condizioni di moto (sicuramente non stazionarie) che si realizzano nella vasca possano essere schematizzabili come una *successione di condizioni di moto permanente*, ciascuna delle quali caratterizzate, tuttavia, da condizioni diverse al variare del tempo. In particolare, la valutazione delle portate che si potranno via via infiltrare sono state valutate attraverso l'approccio a suo tempo proposto da Massman (2003).

La determinazione della scala di efflusso atta a descrivere le modalità con cui, via via che una vasca non impermeabilizzata si riempie, una parte delle portate in arrivo possono defluire, per fenomeni di infiltrazione, attraverso il fondo e le pareti della vasca stessa, è effettuabile con diversi tipi di approcci.

Nel caso in esame, in virtù della sua praticità, e per il fatto che l'approccio è stato preventivamente tarato attraverso l'uso di un modello matematico tridimensionale molto sofisticato (il modello *ModFlow*, dell'USGS), a sua volta calibrato avvalendosi di dati di campo, ci si è avvalsi dell'approccio a suo tempo proposto da Massman (Massman J.W., 2003 – “*A design manual for sizing infiltration ponds.*”, Final Research Report, Research Project Agreement No. Y8265, “Implementation of infiltration ponds research”, prepared for **Washington State Transportation Commission** - Department of Transportation - and in cooperation with **U.S. Department of Transportation** - Federal Highway Administration).

In base a tale approccio, la portata defluente attraverso il fondo e le pareti laterali della vasca di infiltrazione è valutabile mediante la classica espressione

$$Q = V \cdot A_{trench} = K \cdot \left( \frac{dh}{dz} \right) \cdot A_{trench} = K \cdot i \cdot A_{fosso} \quad (62)$$

salvo definire attentamente i termini che compaiono in tale espressione, vale a dire:

- $K$  = la conducibilità idraulica dei terreni circostanti al fosso disperdente (in m/s);
- $A_{fosso}$  = Superficie laterale del fosso disperdente, dato dal prodotto del contorno bagnato per la lunghezza della fosso (in m<sup>2</sup>);
- $V$  = Velocità apparente con cui si sviluppa il moto di filtrazione (in m/s);
- $i$  = gradiente idraulico effettivo da prendere a riferimento (in m/m).

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>58 di 70</b>

In particolare, secondo Massman (2003), in condizioni di moto permanente, il gradiente idraulico effettivo  $i$ , caratteristico del moto di filtrazione che si sviluppa all'interno di strati di media permeabilità, può essere valutato con riferimento alla seguente formula di regressione

$$i \approx \frac{D_{wt} + D_{trench}}{78 (K^{0.05})} CF_{silt/bio} \quad (63)$$

nella quale i simboli hanno il seguente significato:

- $K$  è la conducibilità idraulica dei terreni di base della vasca (in piedi/giorno);
- $D_{wt}$  è la profondità, contata a partire dalla base della vasca di infiltrazione, della falda freatica, oppure del primo strato caratterizzato da bassa permeabilità (in piedi);
- $D_{trench}$  è il tirante idrico all'interno del fosso disperdente (in piedi);
- $CF_{silt/bio}$  è un fattore correttivo che tiene conto dei fenomeni di impermeabilizzazione del fondo che si realizzano, nel tempo, a causa del deposito di limi e/o della formazione di una pellicola biologica. L'ordine di grandezza da assumere per tale fattore correttivo dipende, da un lato, dalla concreta possibilità che si formino pellicole biologiche o fenomeni di deposito di sostanze limose e, dall'altro, dalla manutenzione della vasca che sarà attuata nel tempo. tali valori sono riportati nella successiva Tabella, estratta dal lavoro di Massman (2003) sopra citato.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
	IF0E	0.0.E.ZZ	RG	ID.00.02.002	A	59 di 70

Table 6 —Infiltration rate reduction factors to account for effects of biofouling and siltation (from Massmann et al., 2003)

A Potential for biofouling	B Degree of long-term maintenance and performance monitoring	C Infiltration rate reduction factor	
		Ponds	Trenches
Low	Average to high	0.9	0.9
Low	Low	0.6	0.8
High	Average to high	0.5	0.75
High	Low	0.2	0.6

#### 6.6.1.3 Effetto di laminazione esercitato dai fossi disperdenti FD09 e FD10

#### 6.6.1.4 Impostazione del problema

Come si è già detto in precedenza, la valutazione delle possibilità di laminazione offerte da un "invaso artificiale" quali, per l'appunto, sono i fossi disperdenti può essere effettuata (Pianese & Rossi, 1984) con riferimento ad un "approccio variazionale" (detto anche "estremante" o, ancora meglio, "massimizzante"), accoppiato ad un modello di simulazione del comportamento idraulico complessivo dell'insieme bacino influente + capacità temporanea di invaso + modalità di fuoriuscita delle acque dall'invaso stesso.

#### 6.6.1.5 Modello di simulazione del comportamento idraulico di una capacità temporanea di accumulo (invaso, vasca, trincea drenante, fosso disperdente, ecc.)

Il fenomeno della laminazione è retto dalla cosiddetta *equazione di continuità*, che altro non rappresenta se non un'applicazione, a un fluido praticamente incompressibile quale è l'acqua, dell'equazione di bilancio delle masse in ingresso ed in uscita dalla capacità di accumulo specificamente presa in esame. Quest'ultima, con riferimento ad un intervallo di tempo  $[t_1, t_2]$ , può scriversi nella forma:

$$\int_{t_1}^{t_2} \rho_e \cdot Q_e(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} \rho_u \cdot Q_u(t) dt = \rho_{t_2} W(t_2) - \rho_{t_1} W(t_1) \quad (64)$$

nella quale i simboli hanno il seguente significato:

- $t$  = tempo, contato a partire da un istante iniziale;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 60 di 70	

- $Q_e$  = portata entrante;
- $Q_u$  = portata uscente;
- $W$  = volume invasato;
- $\rho_e$  = densità del fluido entrante nella capacità di accumulo;
- $\rho_u$  = densità del fluido uscente nella capacità di accumulo;
- $\rho_t$  = densità del fluido presente nella capacità di accumulo;

Poiché può ritenersi, con ottima approssimazione,  $\rho_e \approx \rho_u \approx \rho_{t_1} \approx \rho_{t_2} = \rho = \text{costante}$ , la (64) diviene, anziché una relazione tra masse, una relazione tra volumi, data da:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_e(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} Q_u(t) dt = W(t_2) - W(t_1) \quad (65)$$

Se le funzioni sono continue, considerando un intervallo di tempo elementare tale che  $t_2 = t_1 + dt$ , la (65) equivale a scrivere l'equazione

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (66)$$

nota, per l'appunto, col nome di *equazione di continuità*.

La risoluzione della (66) o, più in generale, della (65), viene perseguita, di norma, per via numerica. Più in particolare, con riferimento all'espressione (66), gli integrali possono essere risolti facendo riferimento a medie pesate tra i valori assunti dalla funzione integranda nell'intervallo  $[t_1, t_2]$ .

Pertanto, introdotto il fattore di peso  $\Theta$  nel tempo ( $0 \leq \Theta \leq 1$ ), la (66) può essere posta nella forma:

$$[\Theta \cdot Q_e(t_2) + (1 - \Theta) \cdot Q_e(t_1)] - [\Theta \cdot Q_u(t_2) + (1 - \Theta) \cdot Q_u(t_1)] = W(t_2) - W(t_1) \quad (67)$$

A sua volta, come si è visto in precedenza, la *curva dei volumi di invaso* relativa alla capacità di accumulo presa riferimento può essere posta in una forma del tutto generale, del tipo:

$$W(t) = f[Y(t)] \quad (68)$$

essendo  $f[Y(t)]$  una funzione analitica o, più in generale, una funzione nota in forma tabulare (come avviene nel caso in esame).

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 61 di 70	

Infine, la *scala di deflusso dalle opere di scarico e/o* (come nel caso in esame) *per effetto dell'infiltrazione dal fondo e dalle sponde*, anch'essa nota in forma analitica o, più in generale, in forma tabulare, potrà anch'essa essere posta in una forma, eventualmente tabulare, del tipo:

$$Q_u(t) = g[Y(t)] \quad (69)$$

essendo  $g[Y(t)]$  una funzione analitica o, più in generale, nota in forma tabulare (come in questo caso).

Note le due funzioni  $f[Y(t)]$  e  $g[Y(t)]$ , assegnato un valore al fattore di peso  $\Theta$ , il sistema di equazioni costituito dalle espressioni (67), (68) e (69) può, pertanto, agevolmente essere risolto per assegnato idrogramma in ingresso,  $Q_e = Q_e(t)$ , individuando, a partire dai valori noti al tempo  $t_1$ , i valori di  $Y(t_2)$ ,  $Q_u(t_2)$  e  $W(t_2)$ .

A partire dalle equazioni sopra riportate, è stato implementato un modello di analisi, del tutto generale, capace di simulare il funzionamento di un qualsiasi tipo di vaso, munito di qualsivoglia opere di scarico, per un qualsiasi idrogramma in ingresso. Il modello così concepito, riportato in un programma di calcolo in linguaggio VISUALBASIC (Vers. 6.0), è stato successivamente utilizzato, ripetutamente, nell'ambito dell'approccio variazionale illustrato nel paragrafo successivo.

#### 6.6.1.6 Approccio variazionale

La necessità di utilizzare un "approccio variazionale" (altrimenti definito come "approccio estremante" o, ancora meglio, "approccio massimizzante") nasce dall'impossibilità di definire un unico idrogramma di progetto relativo ad un assegnato periodo di ritorno. In effetti, mentre di un tale idrogramma potrebbe essere facilmente stimato, in base alle tecniche sopra illustrate, il valore della portata al colmo, altrettanto non potrebbe essere fatto relativamente alla sua forma.

Pianese e Rossi (1984 e 1986), in due lavori apparsi, il primo, sul "*Giornale del Genio Civile*" e, il secondo, su "*Excerpta*", hanno mostrato che il problema sopra esposto può essere agevolmente superato ricorrendo ad una *tecnica variazionale* in grado di portare in debito conto le stime effettuate relativamente ai massimi deflussi di piena che possono affluire ad una determinata sezione di un corso d'acqua in assegnate durate  $D$  e

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 62 di 70				

superabili, mediamente, ogni  $T$  anni (vale a dire: le *curve di riduzione dei colmi di piena con la durata* descritte in precedenza).

L'*approccio variazionale* o "*estremante*" o "*massimizzante*" che dirsi voglia può essere così sintetizzato (Pianese & Rossi, 1984):

1. Si fissa un valore del periodo di ritorno  $T$  ;
2. Si fissa una durata  $D$  ;
3. in base alla *curva di riduzione dei colmi di piena* relativa al bacino sotteso dall'invaso, e al periodo di ritorno  $T$  , si determina la massima portata  $Q_{D,T}$  che può affluire, mediamente nella durata  $D$  , alla sezione considerata, e che può essere superata, mediamente, una volta ogni  $T$  anni (essendo  $T$  il *periodo di ritorno* preso a riferimento nelle analisi);
4. Si applica il modello di simulazione del comportamento idraulico del serbatoio illustrato nel paragrafo precedente – costituito dal sistema di equazioni (67), (68) e (69) - considerando un idrogramma in ingresso di forma rettangolare, di durata pari a  $D$  e tale sia  $Q_e(t) = Q_e = Q_{D,T} = \text{costante}$  nell'intervallo di tempo  $[0, D]$  e  $Q_e(t) = 0$  per  $t > D$  ;
5. Si valutano, in corrispondenza di tale ingresso, le portate  $[Q_u(t)]_{D,T}$  uscenti dalla capacità di accumulo, vuoi per fenomeni di infiltrazione dal fondo e dalle sponde che per eventuale fuoriuscita da opere di scarico a servizio dell'invaso, nonché il suo valore massimo:

$$Q_{u_{\max}}^{D,T} = \max_{0 \leq t \leq T_f} [Q_u(t)]_{D,T}$$

6. Si applica nuovamente la procedura testè illustrata, a partire dal punto 2, individuando, al variare della durata  $D$  , il massimo tra i valori  $Q_{u_{\max}}^{D,T}$  e, con esso, la corrispondente durata  $D^*$  (che, pertanto, può ben definirsi "*Durata critica*");
7. Si considera tale valore della portata uscente come la massima portata uscente per l'assegnato periodo di ritorno;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>63 di 70</b>

#### 6.6.1.7 Valutazione dell'effetto di laminazione esplicito dai fossi disperdenti

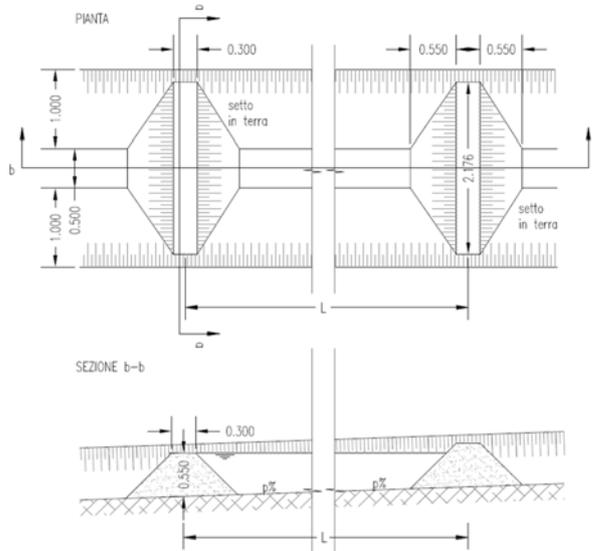
Le metodologie appena descritte sono state utilizzate non solo per stimare le portate massime in uscita dai fossi disperdenti ma, soprattutto, per individuare i massimi volumi di piena invasati nei fossi stessi e le massime quote di pelo libero ivi raggiunte e che possono essere superati, mediamente, una volta ogni  $T = 100$  anni.

#### 6.6.1.8 Modalità di realizzazione e manutenzione dei fossi disperdenti

I fossi disperdenti che ricevono i volumi meteorici sono dimensionati per garantire la laminazione temporanea e la dispersione dei volumi; tali fossi non hanno un recapito in un corpo idrico superficiale, sono pensati in piano, cioè senza pendenza longitudinale e di conseguenza sono stati dimensionati in modo tale da garantire l'invaso temporaneo e la dispersione di tutti i volumi in arrivo. Il fosso disperdente è rivestito da uno strato di 0.3 m di ghiaia avvolta in uno strato di geotessuto in modo tale che sia facilitata la dispersione nel suolo dei volumi meteorici in arrivo. Il fosso disperdente deve essere in grado di ricevere e mantenere al suo interno i volumi in arrivo per svolgere la sua funzione di laminazione e dispersione della portata. Di conseguenza, nei casi in cui vi sia una certa pendenza longitudinale del terreno e quindi del fosso, è necessario ostacolare l'innesco del deflusso delle portate al suo interno e contrastare la riduzione dell'invaso dovuta alle pendenze longitudinali del fosso di guardia. A questo fine si prevede di realizzare degli opportuni setti di ripartizione in terra da posizionare all'interno del fosso di guardia in modo da garantire il necessario volume di invasamento.

Per la valutazione del volume di invasamento disponibile viene quindi mediata l'area bagnata tra due setti di ripartizione, cioè tra la sezione terminale del fosso (fosso pieno) e la sezione iniziale dello stesso; così facendo è possibile determinare il volume di invasamento al variare della pendenza e dell'interasse dei setti.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<b>Mandante:</b> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>						
<b>PROGETTISTA:</b> <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>PROGETTO</b> <b>IF0E</b>	<b>LOTTO</b> <b>0.0.E.ZZ</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>ID.00.02.002</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>PAGINA</b> <b>64 di 70</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>								



p [%] pendenza del fosso	L [m] interasse del setto
0.1	200
0.2	100
0.3	75
0.5	40
0.75	30
1.0	20
2.0	15
3.0	10
4.0	5

#### Setti lungo i fossi disperdenti.

Si ritiene opportuno controllare periodicamente (ogni sei mesi o in concomitanza di eventi meteorici eccezionali) i fossi disperdenti. Dal punto di vista manutentivo va tagliata periodicamente la vegetazione, in modo da mantenerne l'altezza fra 10 e 20 cm, vanno inoltre rimossi gli eventuali sedimenti e sanati eventuali fenomeni erosivi

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 65 di 70

## **7 DIMENSIONAMENTO/VERIFICA, SU BASI PROBABILISTICHE, DELLE CANALETTE E DEGLI ATTRAVERSAMENTI A SERVIZIO DEI TRATTI IN RILEVATO**

### **7.1 Problematiche da affrontare e risolvere**

Nella presente parte della relazione si procede al dimensionamento/verifica delle canalette e degli attraversamenti a servizio dei tratti in rilevato.

### **7.2 Modalità di analisi utilizzate per i calcoli di dimensionamento/verifica**

In aderenza con quanto già fatto in sede di Progettazione Definitiva, i calcoli di dimensionamento/verifica dei tre sistemi di condotte disposte in serie sopra precisati sono stati realizzati con riferimento al “Metodo Italiano dell’Invaso non Lineare” (Cimorelli et al., 2015), le cui modalità di applicazione sono già state dettagliatamente descritte nei Capitoli 4 e 5 della presente Relazione, ai quali, pertanto, si rinvia.

### **7.3 Applicazione del Metodo Italiano dell’Invaso Non Lineare alle condotte**

In generale, oltre a raccogliere le acque di piattaforma, le canalette (indicate col codice CanXX) e i tombini (indicati col codice ZXX) che attraversano i rilevati potrebbero raccogliere anche le acque di ruscellamento superficiale e quelle di falda in arrivo dai terreni immediatamente latitanti. Pertanto, l’area  $A$  complessivamente drenata sarà data dalla somma delle aree di piattaforma direttamente drenate dalla sezione di calcolo del singolo fosso, indicata col simbolo  $A_p$ , e delle aree esterne alla piattaforma ma comunque gravitanti sul tratto di fosso di via preso in esame nei calcoli, indicate col simbolo  $A_e$ . Di conseguenza, sarà

$$A = A_p + A_e \quad (34)$$

Ciascuna di queste aree sarà caratterizzata da un proprio valore del coefficiente di afflusso e del volume specifico dei piccoli invasi. Indicati con:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>	
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>66 di 70</b>

- $\varphi_p$ , il coefficiente di afflusso relativo alle superfici costituenti la vera e propria piattaforma ferroviaria, di area  $A_p$  ;
- $\varphi_e$ , il coefficiente di afflusso relativo alle superfici esterne alla piattaforma ferroviaria, di area  $A_e$ , comunque sovraincombenti sul tratto di controfosso via via preso in esame;
- $\varphi$ , il coefficiente di afflusso medio pesato relativo all'intera superficie drenata, di area  $A$  ;
- $w_{o,p}$ , il valore del volume specifico dei piccoli invasi relativo alle superfici costituenti la vera e propria piattaforma ferroviaria, di area  $A_p$  ;
- $w_{o,e}$ , il valore del volume specifico dei piccoli invasi relativo alle superfici esterne alla piattaforma ferroviaria, di area  $A_e$ , comunque sovraincombenti sul tratto di controfosso via via preso in esame;
- $w_0$ , il valore del volume specifico dei piccoli invasi relativo medio pesato relativo all'intera superficie drenata, di area  $A$  ;

risulteranno, rispettivamente:

$$A = A_p + A_e \quad (34)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_p A_p + \varphi_e A_e}{A} \quad (35)$$

$$w_o = \frac{w_{0,p} A_p + w_{0,e} A_e + \sum_{i=1}^N (W_{pr.})_i}{A} \quad (36)$$

in cui  $(W_{pr.})_i$  è il massimo volume di acqua che risulta invasato nell' i-esimo canale ubicato idraulicamente a monte di quello preso in esame nei calcoli (a sua volta valutato in base alla procedura descritta, nella classica ipotesi di "comportamento sincrono e autonomo" della rete di canali).

Nel caso in esame, si sono adottati i seguenti valori dei parametri:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.</b>	<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>				
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>	PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>67 di 70</b>

- $\varphi_p = 0.90$ ;
- $\varphi_e = 0.90$ ;
- $w_{0,p} = w_{0,e} = 0.001 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ;

Tenuto conto dell'andamento altimetrico dei luoghi, i calcoli sono stati eseguiti considerando, ovunque, valori di  $s$  compresi tra 0.0012 m/m e 0.003 m/m.

Inoltre, tenuto conto della natura delle pareti a diretto contatto con l'acqua (terreno), i calcoli e le verifiche di moto uniforme sono stati effettuati con riferimento ai seguenti valori dei parametri di Strickler:

$$K_s = 70 \text{ in m}^{1/3} \text{ s}^{-1} \text{ (corrispondente a un valore del parametro di scabrezza di Manning } n_M = 0.0143 \text{ s m}^{-1/3}\text{);}$$

Le canalizzazioni adottate sono in c.a.v., di forma rettangolare. Esse presentano base minore  $b$  compresa nel range 040-070 m ed altezza  $H$  a sua volta compresa nel range 040-070 m;

I dati di calcolo necessari per l'applicazione della procedura descritta nei paragrafi precedenti sono riportati, unitamente all'esito delle verifiche idrauliche effettuate, sono riportati:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera		PROGETTO IF0E	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID.00.02.002	REV. A	PAGINA 68 di 70				

## 8 RISULTATI

Nelle tabelle che di seguito si riportano, sono riportate le principali caratteristiche degli elementi idraulici, frutto dei metodi di dimensionamento e verifica sopra esposti:

### SEZIONI TIPOLOGICHE DEI FOSSI DI GUARDIA

CODICE FOSSO	SEZIONE	Base min [cm]	Base max [cm]	H [cm]
FT1	Sezione trapezoidale sponda 1/1	50	150	50
FT2	Sezione trapezoidale sponda 1/1	70	210	70
FT3	Sezione trapezoidale sponda 1/1	100	300	100
FT4	Sezione trapezoidale sponda 1/1	120	360	120

### FOSSI DI GUARDIA: RECAPITO A

CODICE FOSSO	SEZIONE TIPO	L [m]	i [%]	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	$v_0$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	u (l/s*ha)	$Q_M$ (l/s)	$Q_U$ (l/s)	H (cm)	V (m/s)	H/d
A01	FT1	204	0,10	1700	700	2400	0.75	0.020	146	37	450	12.2	0.45	0.24
A02	FT1	243	0,10	1480	670	2150	0.74	0.022	132	29	462	10.5	0.44	0.21
A03	FT1	238	0,10	1475	1100	2575	0.69	0.019	128	34	385	13.3	0.39	0.27
A04	FT1	248	0,10	1475	950	2425	0.70	0.022	117	25	367	12.1	0.34	0.24
A05	FT1	310	0,10	1600	1100	2700	0.70	0.020	128	36	289	16.1	0.33	0.32
A06	FT1	215	0,10	1700	1300	3000	0.68	0.018	133	40	288	17.7	0.37	0.35

### FOSSI DI GUARDIA: RECAPITO B

CODICE FOSSO	SEZIONE TIPO	L [m]	i [%]	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	$v_0$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	u (l/s*ha)	$Q_M$ (l/s)	$Q_U$ (l/s)	H (cm)	V (m/s)	H/d
B01	FT1	360	0,10	2450	3950	6400	0.59	0.014	133	85	350	11.1	0.34	0.22
B02	FT1	360	0,10	2450	4150	6600	0.59	0.014	134	90	350	10.7	0.33	0.21

### FOSSI DI GUARDIA: RECAPITO C

CODICE FOSSO	SEZIONE TIPO	L [m]	i [%]	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	$v_0$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	u (l/s*ha)	$Q_M$ (l/s)	$Q_U$ (l/s)	H (cm)	V (m/s)	H/d
C01	FT1	105	0,10	750	650	1400	0.67	0.017	131	19	458	8.2	0.37	0.16
C02	FT1	105	0,10	750	850	1600	0.63	0.015	134	21	458	9.1	0.38	0.18
C03	FT1	506	0,10	3650	0	3650	0.90	0.029	140	51	335	18.0	0.41	0.36
C04	FT1	522	0,10	3450	5550	9000	0.59	0.014	137	121	335	27.7	0.46	0.55
C05	FT1	21	0,10	200	300	500	0.65	0.015	130	10	300	7.0	0.35	0.14
C06	FT1	102	0,10	8600	7050	15650	0.67	0.021	123	187	320	38.1	0.58	0.76

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI</b> <b>TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b> <b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE</b> <b>OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI</b> <b>CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.    ROCKSOIL S.p.A.	
PROGETTO ESECUTIVO Relazione descrittiva dell'opera	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. PAGINA IF0E 0.0.E.ZZ RG ID.00.02.002 A 69 di 70	

### FOSSI DI GUARDIA: RECAPITO K1

CODICE FOSSO	SEZIONE TIPO	L [m]	i [%]	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	$v_0$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	u (l/s*ha)	$Q_M$ (l/s)	$Q_U$ (l/s)	H (cm)	V (m/s)	H/d
K03	FT1	63	0,20	0	300	300	0.40	0.033	21	1	320	1.0	0.07	0.02
K06b	FT1	263	0,35	0	300	300	0.40	0.032	25	1	715	17.8	0.94	0.36

### FOSSI DI GUARDIA: RECAPITO K2

CODICE FOSSO	SEZIONE TIPO	L [m]	i [%]	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	$v_0$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	u (l/s*ha)	$Q_M$ (l/s)	$Q_U$ (l/s)	H (cm)	V (m/s)	H/d
K06a	FT1	46	0,20	0	600	600	0.40	0.055	12	1	815	17.4	0.96	0.35
K09	FT1	50	0,20	0	150	150	0.40	0.029	24	1	320	1.0	0.07	0.02

### FOSSI DI GUARDIA DISPERDENTI

CODICE	da Pk a Pk	SEZIONE TIPO	DIMENSIONI [m]	L [m]	K (m/s)	$\Sigma S_p$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{ae}$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma S_{Tot}$ (m <sup>2</sup> )	$\Phi$ pesato	Volume (mc)	H/H <sub>T</sub> (%)
FDT01	0+975 - 1+150	FT3	1.0÷3.0X1.0	177	2.45E-05*	1800	3900	5700	0.56	525	70%
FDT02	0+600 - 0+950	FT2	0.7÷2.1X0.7	345	2.45E-05*	1800	2450	4250	0.61	345	75%
FDT03	0+625 - 0-925	FT3	1.0÷3.0X1.0	315	2.45E-05*	1100	2650	3750	0.55	270	70%
FDT04	0+450 - 0+550	FT3	1.0÷3.0X1.0	95	2.45E-05*	1050	2400	3450	0.55	248	75%
FDT05	0+475 - 0+600	FT3	1.0÷3.0X1.0	134	2.45E-05*	770	1850	2620	0.55	194	70%
FD03	6+100 - 6+340	FT3	1.0÷3.0X1.0	250	2.45E-05*	1800	3900	5700	0.56	522	70%
FD04	6+080 - 6+340	FT3	1.0÷3.0X1.0	273	2.45E-05*	1800	2450	4250	0.61	350	75%
FD05	6+380 - 6+500	FT3	1.0÷3.0X1.0	133	2.45E-05*	1100	2650	3750	0.55	275	70%
FD06	6+380 - 6+500	FT3	1.0÷3.0X1.0	128	2.45E-05*	1050	2400	3450	0.55	245	75%
FD07	6+540 - 6+620	FT3	1.0÷3.0X1.0	92	2.45E-05*	770	1850	2620	0.55	190	70%
FD08	6+540 - 6+620	FT3	1.0÷3.0X1.0	92	2.45E-05*	770	1800	2570	0.55	180	75%
FD09	10+540 - 10+820	FT3	1.0÷3.0X1.0	282	2.53E-04*	7500	4450	11950	0.71	590	70%
FD10	0+750 - 1+350	FT2	0.7÷2.1X0.7	607	2.53E-04*	12820	5900	18720	0.74	615	70%
FD11	11+140 - 11+620	FT3	1.0÷3.0X1.0	478	1.48E-04	11500	6200	17700	0.72	976	70%
FD12	1+400 - 2+000	FT3	1.0÷3.0X1.0	594	4.35E-05	7500	7500	15000	0.65	1198	70%
FD13	11+640 - 11+960	FT2	0.7÷2.1X0.7	325	2.17E-04*	4400	4450	8850	0.65	335	70%
FD14	12+560 - 13+200	FT4	1.2÷3.6X1.2	646	8.05E-06*	4150	7850	12000	0.57	1837	70%
FD15	12+560 - 13+200	FT4	1.2÷3.6X1.2	646	8.05E-06*	4150	7950	12100	0.57	1885	70%
FD16	13+580 - 13+740	FT3	1.0÷3.0X1.0	168	4.30E-05*	2000	2800	4800	0.61	325	70%
FD17	13+580 - 13+740	FT3	1.0÷3.0X1.0	176	4.30E-05*	2000	3000	5000	0.60	352	70%

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <b>SALINI IMPREGILO S.p.A.</b>	<u>Mandante:</u> <b>ASTALDI S.p.A.</b>	<b>LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO</b>									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <b>SYSTRA S.A.</b>		<u>Mandante:</u> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>		<b>ROCKSOIL S.p.A.</b>		<b>IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014</b>					
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione descrittiva dell'opera</b>		PROGETTO <b>IF0E</b>	LOTTO <b>0.0.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RG</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.02.002</b>	REV. <b>A</b>	PAGINA <b>70 di 70</b>				

FD18	13+760 - 14+800	FT2	0.7÷2.1X0.7	1044	1.48E-05	4510	7850	12360	0.58	1336	70%
FD19	13+760 - 14+800	FT3	1.0÷3.0X1.0	1046	1.48E-05	4510	8080	12590	0.58	1336	70%
FD22	14+840 - 15+120	FT2	0.7÷2.1X0.7	291	1.44E-05	2750	5050	7800	0.58	1103	70%
FD23	14+840 - 15+120	FT2	0.7÷2.1X0.7	295	1.44E-05	2750	5500	8250	0.57	1115	70%
FD24	15+140 - 15+280	FT2	0.7÷2.1X0.7	130	8.30E-05*	1950	5030	6980	0.54	270	70%
FD25	15+140 - 15+280	FT2	0.7÷2.1X0.7	137	8.30E-05*	1950	5550	7500	0.53	296	70%
FD26	15+300 - 15+520	FT1	0.5÷1.5X0.5	240	8.30E-05*	950	1700	2650	0.58	123	70%
FD27	15+300 - 15+520	FT1	0.5÷1.5X0.5	240	8.30E-05*	950	1600	2550	0.59	129	70%
FD28	10+420 - 10+520	FT1	0.5÷1.5X0.5	106	8.30E-05*	1900	1450	3350	0.68	136	75%
FD29	2+050 - 2+506	FT3	1.0÷3.0X1.0	473	8.30E-05*	2150	700	2850	0.78	135	70%
FD30	0+000 - 0+700	FT2	0.7÷2.1X0.7	704	4.98E-05	540	1020	1560	0.57	58	75%
FD31	0+000 - 0+700	FT1	0.5÷1.5X0.5	730	2.17E-04*	7100	6200	13300	0.67	1002	70%