

Accordo Quadro triennale per l'affidamento di Servizi di ingegneria e architettura:
progetto di fattibilità tecnica ed economica e/o progettaz. definitiva e/o esecutiva e/o attività di supporto
per l'esecuzione nella Regione Campania di interventi sui sistemi di mobilità ex Delib. G.R. 104/2018 - 109/2018 e ss.mm.ii.
Lotto n. 3 - CUP: B49J18002170001 - CIG: 75188184E5

Responsabile del procedimento: arch. Paolo FRESCHI

Direttore dell'esecuzione del contratto: ing. Umberto PISAPIA

ENTE APPALTANTE:



Comune di Morigerati

Contratto Attuativo: Comune di Morigerati

OGGETTO:

**Intervento di consolidamento del dissesto idrogeologico
Strade Provinciali n° 54 e n° 210
CUP: I27H19002810006**

PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Responsabile del procedimento: geom. Giuseppe FERRIGNO



N° ELABORATO

B_02

Codice Elaborato

ESE_B_02_00

ALLEGATI:		SCALA DI MISURA	AGGIORNAMENTO
PLANIMETRIE	<input type="checkbox"/>		DATA
PIANTE	<input type="checkbox"/>		DATA
SEZIONI/PROSPETTI	<input type="checkbox"/>		DATA
SCHEMI FUNZIONALI	<input type="checkbox"/>		DATA
DOCUMENTI	<input checked="" type="checkbox"/>	-----	DATA

00	MAG-24	SIB	SIB	SIB	
REV	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

TITOLO ELABORATO

RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Capogruppo: **studioingegneriabello**



sib
s.r.l.

Responsabile delle attività e delle diverse prestazioni specialistiche:
ing. Giovanni Vito BELLO

Mandanti:

duomi
Magister Engineering

MATILDI+PARTNERS



A.T. Advanced
Technologies S.r.l.

interdata



Agr. Domenico CIAMPA
Geol. Francesco UCCI

PREMESSA

Nella presente Relazione sono trattati gli aspetti idrologici e idraulici relativi al progetto esecutivo del CONSOLIDAMENTO DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO STRADE PROVINCIALI n. 54 e 210. In particolare viene fornita la caratterizzazione idrologica-idraulica dell'area di interesse e sono individuate le principali problematiche legate all'interazione tra l'infrastruttura e il sistema delle acque superficiali. Sono determinati inoltre i valori di colmo delle massime portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario sia al corretto dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino. In particolare sono affrontati i seguenti punti:

- inquadramento dello stato di attuazione della Pianificazione di Assetto Idrogeologico nell'area di intervento;
- caratterizzazione dell'area e individuazione delle principali problematiche idrologiche e idrauliche;
- individuazione dei principali bacini idrografici interagenti con l'opera di progetto e loro caratterizzazione idrologica e morfometrica;
- delineazione dello studio idrologico finalizzato alla determinazione delle portate massime attese con diversi tempi di ritorno in corrispondenza degli attraversamenti principali;
- analisi dell'interferenza tra la viabilità di progetto e l'idrografia superficiale;
- studio e dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma stradale.

Nella sezione idrologica della presente relazione viene descritta l'attività di acquisizione ed elaborazione dei dati di pioggia esistenti. Lo studio e le elaborazioni dei dati raccolti consentiranno di associare, in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, una corretta valutazione dell'evento meteorico generatore della portata di dimensionamento.

Sono determinate, quindi, le curve di possibilità pluviometrica aventi pertinenza sulla zona in esame, necessarie per la stima, note le caratteristiche dei bacini idrografici scolanti, delle portate massime da utilizzare nello studio idraulico.

Nella sezione idraulica viene delineato il procedimento di calcolo per la verifica idraulica degli attraversamenti dei corpi idrici principali e minori con i relativi risultati. Inoltre viene descritto il

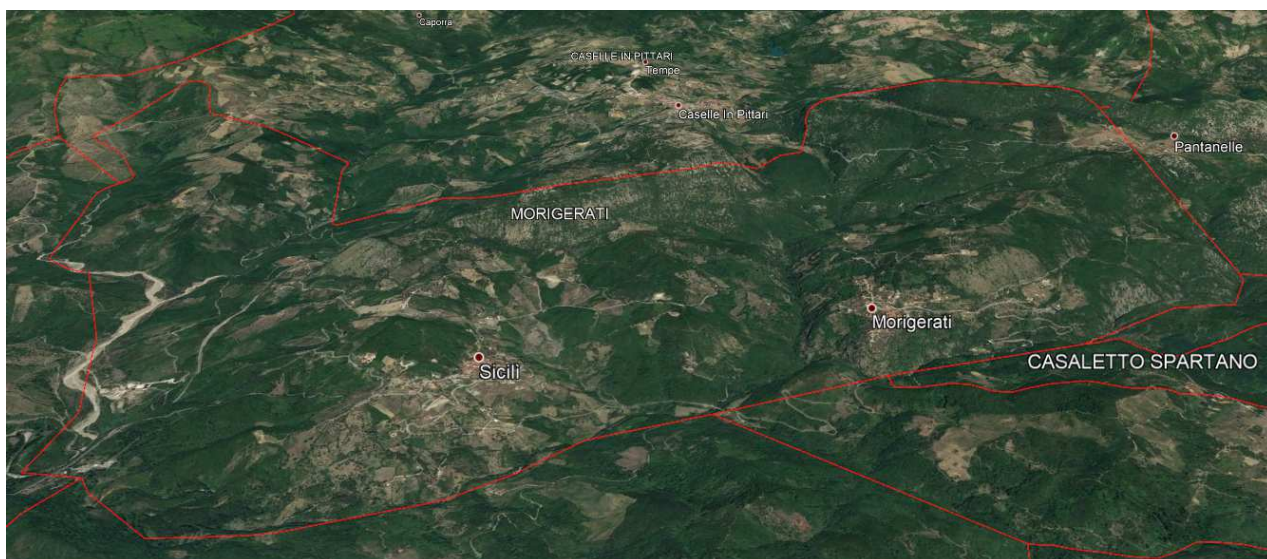
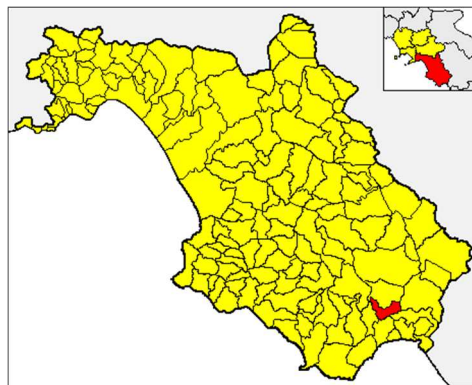
sistema di drenaggio della piattaforma, forniti i procedimenti di calcolo alla base del dimensionamento dei diversi elementi e i risultati della verifica.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il comune di Morigerati è situato nel settore meridionale della Provincia di Salerno, nell'area del Basso Cilento. Esso confina con Torre Orsaia a ovest, Caselle in Pittari a nord, Casaletto Spartano e Tortorella a est e sud, Santa Marina a sud.

La superficie del territorio comunale è pari a 21,19 kmq, mentre la popolazione ammonta a circa 630 unità.

Oltre al centro capoluogo (40°08'10" N, 15°31'49" E), è presente la frazione di Sicili (40°08'21" N, 15°13'17" E), che ospita oltre metà della popolazione dell'intero comune.



I due centri di Morigerati (285 metri slm) e Sicili (205 metri slm) distano, in linea d'aria, solo 2 km ma, a causa della particolare conformazione orografica del territorio, il più rapido collegamento stradale è lungo 8 km ed è percorribile in 15 minuti.

Il territorio comunale (altezza minima: 48 metri, altezza massima: 841 metri) è caratterizzato dalla



presenza del fiume Bussento, che in un primo tratto taglia da nord a sud il territorio comunale per circa 4 km, e in un secondo tratto ne determina il limite meridionale per analoga lunghezza. Altrettanto determinante, nella caratterizzazione oroidrografica del territorio, è il torrente Sciarapotamo, principale affluente in destra del

Bussento, che con il suo tributario Torrente Zapparielli rappresenta il limite comunale ad ovest.

Dal punto di vista dei collegamenti, il territorio comunale di Morigerati è attraversato da due Strade Statali:

- la Nuova strada Anas **NSA 161**, ex Strada Statale n° 517 “Bussentina” che attualmente collega Buonabitacolo e Torre Orsaia;
- la **Strada Statale n° 517 var “Bussentina”** che, nel percorso alternativo a quello originario, collega la SS 18 “Tirrena Inferiore”, lungo il litorale tirrenico, con la SS 19 “delle Calabrie” nel Vallo di Diano.



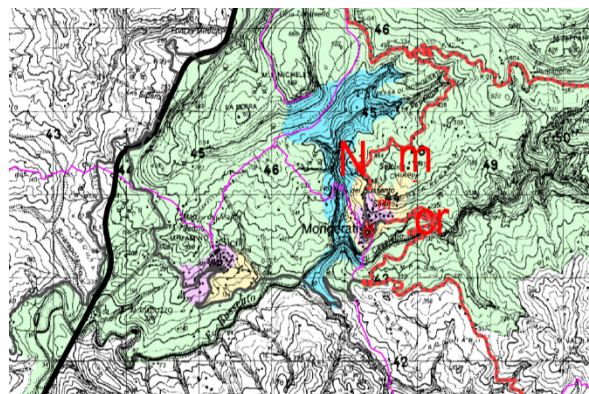
Il territorio è altresì servito da tre strade provinciali:

- la **SP 16** Innesto Statale Bussentina - Caselle in Pittari - Casaletto Spartano-Torraca-Sapri.
- la **SP 54** Innesto SP 16 - Morigerati - Rio Casaletto - Vibonati - Innesto SS 18.
- la **SP 210** Sicilì - Cuppari.

Il territorio comunale di Morigerati rientra nella zona 2 (sismicità media) di cui alla Classificazione sismica ex OPCM. n° 3274 del 20/03/2003.

2.2. Pianificazione di Assetto Idrogeologico

Le aree interessate dagli interventi in epigrafe rientrano in un territorio, quello del comune di Morigerati, sottoposto a **vincolo idrogeologico** di cui al Regio Decreto n. 3267/1923, al fine di tutelare le aree soggette che, per effetto di interventi e trasformazioni comportanti movimentazioni di terreno, possono essere soggette a situazioni di dissesto in termini di stabilità di versante, innesco di fenomeni erosivi o di regimazione delle acque, con possibilità di danno pubblico.



Il Confine comunale coincide con una dorsale idrografica, per cui le aree oggetto di intervento all'interno del territorio comunale di Piaggine rientrano nel bacino idrografico del Bussento.

La normativa di riferimento in materia di valutazione e gestione del rischio di alluvioni è la Direttiva europea 2007/60/CE conosciuta anche come "Direttiva Alluvioni".

La Direttiva, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispone la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, vuole creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone, pertanto, l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture.

Il recepimento della normativa europea da parte della legislazione nazionale ha portato alla definizione dei Distretti idrografici, soggetti competenti per gli adempimenti previsti dalla Normativa, tra i quali fondamentale importanza ha la redazione delle mappe di pericolosità idraulica e rischio idraulico. In Italia, sono stati individuati 8 Distretti Idrografici. Il territorio dei Distretti è stato a sua volta suddiviso in Unit of Management (UoM) ovvero unità territoriali omogenee di riferimento per la gestione del rischio di alluvione corrispondenti ai principali bacini idrografici, ognuna delle quali fa riferimento alla relativa Autorità Competente o Competent Authority (CA).

L'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale opera sui bacini idrografici nelle regioni Campania, Molise, Puglia Basilicata, Calabria e sud del Lazio.

L'ambito territoriale copre circa 68.200 km². Al Distretto dell'Appennino Meridionale appartengono 7 bacini idrografici. Strumento fondamentale dell'Autorità di Distretto è il Piano di Bacino idrografico, definito come "lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il

quale sono individuate e programmate le azioni finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque”.

L’attività di pianificazione in tema di difesa del suolo e gestione delle risorse idriche nel distretto idrografico si concretizza perciò nel Piano di Bacino, realizzato attraverso “piani-stralcio”, in particolare il Piano di Gestione delle Acque ed il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni PGRA.

Il PGRA non costituisce automatica variante dei PAI dei bacini componenti il distretto idrografico dell’Appennino Meridionale, che continuano a costituire riferimento per gli strumenti urbanistici di pianificazione e gestione del territorio, nonché per la pianificazione di settore che consideri l’assetto idrogeologico del territorio. Pertanto, ai fini della verifica della rispondenza del progetto agli strumenti di pianificazione territoriale, si fa riferimento al piano redatto dalla Autorità di Bacino Sele Interregionale, competente sull’area in esame.

Il Piano è costituito fondamentalmente dalle fasi conoscitiva, propositiva, programmatica, contenute in una relazione generale, e dalla cartografia con la perimetrazione delle aree pericolose ed a rischio. Per le finalità generali dei Piani stralcio di bacino per l’assetto idrogeologico (art. 3 della L. 183/89 e dall’art.1, comma 1 della L. 267/98), il PAI costituisce lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate le azioni e le norme d'uso riguardanti l'assetto idraulico ed idrogeologico del bacino.

Il Progetto di Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso, che è indubbiamente strettamente connesso con il Piano per l’assetto idrogeologico, ha come fine quello di assicurare al territorio afferente al bacino idrografico del fiume Piave, con particolare riferimento al medio e basso corso dell’asta principale, un livello di sicurezza compatibile con l’utilizzo antropico del territorio e rispettoso del principio di precauzione.

Il progetto individua un sistema integrato di interventi strutturali e non strutturali da realizzare nel breve, medio e lungo periodo. Gli interventi proposti nel progetto di Piano rappresentano un sistema integrato ed organizzato di interventi che permette di verificare in progress gli effetti dei vari interventi sull'idrosistema garantendo comunque l’esecuzione di parti finite e funzionali di opere. La priorità degli interventi strutturali e non strutturali è finalizzata pertanto a massimizzare il rapporto efficacia-costi allo scopo di ottenere subito i maggiori risultati in termini di sicurezza acquisibile in un'ottica di conservazione del "territorio fluviale", mantenendo comunque la possibilità di limitare eventualmente le opere programmate nel medio e lungo periodo in relazione

alle nuove ed ulteriori informazioni acquisite attraverso l'attuazione delle azioni programmate nel breve periodo.

Il Piano si prefigge l'obiettivo di garantire al territorio del bacino un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e geologico, attraverso il ripristino degli equilibri idraulici, geologici ed ambientali, il recupero degli ambiti fluviali e del sistema delle acque, la programmazione degli usi del suolo ai fini della difesa, della stabilizzazione e del consolidamento dei terreni. Il Piano persegue finalità prioritarie di protezione di abitati, infrastrutture, luoghi e ambienti di pregio paesaggistico e ambientale interessati da fenomeni di pericolosità, nonché di riqualificazione e tutela delle caratteristiche e delle risorse del territorio.

Dall'analisi delle planimetrie del rischio idraulico allegate al PGRA, nell'area oggetto di intervento, per il territorio di Morigerati non sono segnalate aree aventi Rischio Idraulico, pertanto il progetto è pienamente compatibile con il PGRA.

Il Piano di Assetto del Territorio P.A.T.

Il Piano di Assetto del Territorio (PAT) fissa gli obiettivi e le condizioni di sostenibilità degli interventi e delle trasformazioni ammissibili ed è redatto, dai Comuni, sulla base di previsioni decennali. Il P.A.T. (che sostituisce il Piano Regolatore Generale) determina le scelte strategiche di assetto e di sviluppo del territorio comunale. All'interno del P.A.T. è contenuta la Valutazione di Compatibilità Idraulica (VCI), documento che contiene le valutazioni sulle situazioni di dissesto del territorio ed evidenzia la relativa compatibilità con le previsioni urbanistiche nelle "Zone di attenzione idraulica". Dalla sovrapposizione del tracciato con la "Carta di compatibilità idraulica" allegata alla VCI si evince come il tracciato non va a interferire con zone perimetrate come Aree con Pericolosità Idraulica a seguito delle modellazioni eseguite nell'ambito della VCI.

Interferenze idrauliche

Le principali interferenze del tracciato in progetto con il reticolo idrografico principale sono costituite dall'intercettazione di aree di compluvio e fossi minori.

Nell'ambito del presente studio si è posta attenzione nel valutare gli effetti idraulici indotti dalla realizzazione delle opere proposte sia direttamente sul corso d'acqua, sia indirettamente sul territorio a questo limitrofo. In particolare è stata effettuata una analisi di compatibilità idraulica delle opere in linea con gli indirizzi formulati dal P.A.I. per le interferenze con le incisioni, valutando

mediante un modello monodimensionale in condizioni di regime di moto permanente le variazioni dei caratteri idraulici del deflusso di un evento di piena con tempo di ritorno duecentennale.

Tutti gli altri manufatti idraulici minori sono stati verificati idraulicamente, seppur con un modello semplificato, rispetto ad eventi di piena con tempi di ritorno centennali.

IDROLOGIA

Lo studio idrologico è volto alla determinazione delle portate di progetto da considerare per il corretto dimensionamento delle opere di attraversamento dei corpi idrici esistenti e del sistema di drenaggio di piattaforma.

La valutazione delle portate di progetto deriva da una analisi statistica dei dati disponibili, in modo da stabilire una relazione fra le portate ed il corrispondente tempo di ritorno T_r . Esistono diversi metodi per la valutazione delle portate di progetto, a seconda dei dati di partenza:

- analisi statistica delle misure idrometriche, per i corpi idrici dotati di stazioni di misura. Questo metodo è applicabile laddove le stazioni di misura esistano e siano sufficientemente prossime alla sezione di chiusura del bacino considerata
- metodi di regionalizzazione delle portate: possono essere utilizzati su vasti bacini strumentati, laddove, con tecniche di regressione statistica, l'intera informazione idrometrica può essere utilizzata per correlare la portata nella sezione fluviale considerata con le caratteristiche morfologiche ed idrologiche del bacino
- metodi di trasformazione afflussi/deflussi: in caso di bacini non strumentati, le portate di progetto possono essere valutate a partire da una analisi statistica dei dati di precipitazione atmosferica, da trasformarsi in portate per mezzo di modelli di trasformazione afflussi/deflussi.

La zona interessata e le incisioni minori attraversate dal tracciato di progetto non sono dotate di stazioni di misura dei livelli/portate e pertanto per la valutazione delle portate di progetto si farà ricorso ai metodi di trasformazione afflussi/deflussi.

3.1. Caratterizzazione climatica e regime pluviometrico

L'area oggetto del presente studio ricade all'interno del bacino principale del Fiume Bussento.

Le Curve di Probabilità Pluviometrica (CPP) rappresentano il legame statistico tra l'altezza di pioggia in un punto della superficie terrestre e la sua durata per un assegnato valore del tempo di ritorno

(T). Quest'ultimo è il numero di anni nel quale, in media, un evento di determinate caratteristiche e intensità può essere eguagliato o superato e di norma rappresenta un indicatore del grado di rischio accettato nel dimensionamento dell'opera.

Diverse formule sono utilizzate per descrivere questa relazione. In Italia viene generalmente utilizzata una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_{t,T} = a t^n \quad (1)$$

dove:

- h = altezza di precipitazione, in mm;
- t = durata della precipitazione in ore;
- a ed n sono coefficienti che dipendono dal periodo di ritorno.

Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza cumulata (CDF), costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore, adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, un predefinito modello probabilistico (TCEV, Gumbel, etc.). Nel caso descritto nella presente relazione l'analisi statistica dei dati pluviografici è stata eseguita utilizzando la legge di Gumbel, (o legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1) col quale è stato possibile determinare le altezze critiche di pioggia relative a vari periodi di ritorno, tra cui quella con tempo di ritorno T=30 anni di nostro interesse. La legge di Gumbel ha un'espressione del tipo:

$$F_X(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\epsilon)}}$$

in cui α e ϵ sono parametri da stimare.

Il calcolo con tale metodo stima la portata di piena di progetto attraverso l'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni nel bacino idrografico e la simulazione del processo della loro trasformazione in deflussi, con riferimento alle curve di possibilità pluviometrica precedentemente menzionate.

Per la stima dei parametri a ed n di ciascuna legge di pioggia è stata considerata la trasformata logaritmica dei valori delle precipitazioni e delle durate e si è applicato il metodo di stima dei minimi quadrati, che viene di seguito sinteticamente illustrato.

Passando ai logaritmi, in questo caso di base 10, la (1) diventa un'espressione lineare:

$$\log_{10} h = \log_{10} a + n \log_{10} t \quad (2)$$

Ponendo:

$$Y = \log_{10} h; A = \log_{10} a \text{ e } X = \log_{10} t$$

Si ottiene:

$$Y = A + n X \quad (3)$$

che è l'equazione di una retta di intercetta A e coefficiente angolare n.

Note M coppie di valori (h,t) riferite ad uno stesso periodo di ritorno, i coefficienti A ed n possono essere determinati approssimando la retta dell'equazione (3) con la retta di interpolazione dei minimi quadrati. Tale retta di interpolazione è quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra la retta stessa ed i punti individuati dalle M coppie di valori noti.

I parametri, date le M coppie di valori noti ($\log h$, $\log t$), possono essere stimati attraverso le equazioni normali:

$$n = \frac{M \sum (\log t) (\log h) - \sum \log t \sum \log h}{M \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

$$A = \frac{\sum \log h \sum (\log t)^2 - \sum \log t \sum (\log t) (\log h)}{M \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

Da quest'ultima, nota la posizione $A = \log_{10} a$ assunta in precedenza, è possibile ricavare il parametro a. Ciò premesso, sono di seguito illustrati i risultati ottenuti applicando la precedente trattazione al campione di misurazioni delle serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore registrate presso la stazione pluviometrica di vallo della Lucania (SA), posta a quota + 250,00 m s.l.m. e facente capo al bacino del fiume Bussento, del quale fa parte l'area soggetta agli interventi di progetto.

Risultati di calcolo

In **tabella 1** sono riportati i valori, per ciascuna durata t , dello scarto quadratico medio $s(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della Legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

Tabella 1

N =	26	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$m(h_t)$		32,76	42,72	51,81	60,80	72,72
$s(h_t)$		11,28	11,23	14,27	13,74	16,62
$a_t = 1,283/s(h_t)$		0,11	0,11	0,09	0,09	0,08
$u_t = m(h_t) - 0,45s(h_t)$		27,69	37,67	45,39	54,62	65,24

La **tabella 2** contiene le altezze massime di pioggia regolarizzate relative a vari periodi di ritorno, espresse in (mm).

Tabella 2

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	47,47	57,37	70,42	78,72	94,40
30 anni	$h_{max} =$	57,43	67,29	83,03	90,87	109,09
50 anni	$h_{max} =$	63,52	70,68	85,90	97,12	111,55
100 anni	$h_{max} =$	68,12	77,94	96,56	103,89	124,84
200 anni	$h_{max} =$	74,23	84,03	104,30	111,34	133,85

Infine, la **tabella 3** riporta le altezze di pioggia critica associate a vari periodi di ritorno; i parametri a ed n sono stati determinati con il metodo di stima dei minimi quadrati, come descritto in precedenza.

Tabella 3

Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$		
10 anni	→	$h=46,705 \times t^{0,2172}$	
30 anni	→	$h=56,206 \times t^{0,2029}$	

50 anni	→	$h=59,465 \cdot t^{0,1977}$	
100 anni	→	$h=66,395 \cdot t^{0,1917}$	
200 anni	→	$h=72,226 \cdot t^{0,1866}$	

La legge di pioggia che verrà considerata nella modellazione delle portate generate dall'afflusso meteorico sui bacini in esame è quella relativa al periodo di ritorno T=50 anni, ovvero:

$$h = 59,465 * t^{0,1977}$$

Trasformazione afflussi-deflussi – Metodo del Curve Number

La trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena deve tener conto delle perdite idrologiche, ovvero della frazione dell'altezza di pioggia che contribuisce al deflusso superficiale.

Allo scopo, si è adottata la metodologia del Numero di Curva CN, sviluppata dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti.

La metodologia parte dall'assunto che la precipitazione non contribuisce per intero alla formazione della portata/volume di piena, una parte di essa non raggiunge il reticolo idrografico superficiale: ciò è principalmente dovuto all'infiltrazione nel sottosuolo, all'immagazzinamento in porzioni depresse del terreno e alla ritenzione da parte della vegetazione, tutti fattori che riducono il quantitativo di acqua che raggiunge il reticolo superficiale. La riduzione dipende da diversi fattori, quali il tipo di suolo, l'uso del suolo, la percentuale di saturazione del terreno. La pioggia netta che è la parte della pioggia ricavata con le curve di probabilità pluviometrica che raggiunge il reticolo idrografico superficiale e contribuisce alle portate di progetto.

Per valutare la pioggia netta, si adotta il metodo del Curve Number, messo a punto dallo U.S. Soil Conservation Service (SCS) (SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.). Il metodo si basa sulla definizione del numero di curva o Curve Number CN, un parametro che descrive le condizioni del suolo (tipo, uso, saturazione).

La pioggia netta può essere determinata mediante la seguente espressione

$$h_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

dove:

- h_e (mm) è l'altezza di pioggia netta corrispondente alla durata t considerata;
- P (mm) è la pioggia complessiva caduta nel medesimo intervallo di tempo;
- I_a (mm) rappresenta le perdite iniziali;
- S (mm) è la capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm), descrive il volume di pioggia potenzialmente trattenuto date le condizioni del suolo (tipologia, uso, copertura vegetale, saturazione)

Il parametro S è determinato mediante la seguente relazione:

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

in cui CN è il cosiddetto Numero di Curva (Curve Number), un indice che considera le condizioni e l'uso del suolo. Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti ha predisposto tabelle con i valori di CN per differenti tipologie e usi del suolo.

Le perdite iniziali (I_a) sono costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno. Il parametro I_a dipende da S tramite la seguente relazione (raccomandata dal SCS per l'ambiente agrario statunitense):

$$I_a = 0.2 \times S$$

Per la realtà italiana, si adotta un valore delle perdite iniziali pari alla decima parte della capacità idrica massima del suolo (S), pertanto:

$$I_a = 0.1 \times S$$

I parametri CN e S sono inversamente correlati in modo non lineare: la capacità idrica massima del suolo (S) varia teoricamente da 0 a infinito e con tale equazione si ottiene un campo di variazione del parametro CN , compreso tra 0 e 100. Il parametro CN esprime le condizioni, dal punto di vista della formazione del deflusso, del complesso suolo-soprassuolo considerate le condizioni di umidità nei cinque giorni antecedenti l'evento di piena. In altri termini riassume l'attitudine propria e specifica del bacino a produrre deflusso.

Con valori di CN uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna" cioè viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di CN uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente o quasi in deflusso creando l'evento di piena.

Tale situazione si verifica per la precipitazione che direttamente cade nella rete idrografica o nei pressi della stessa. L'acqua è infatti assimilabile ad una superficie impermeabile dove l'afflusso si trasforma istantaneamente in deflusso.

La seguente tabella riporta i valori di CN per diverse tipologie di suolo e di uso del medesimo:

Tipo di copertura (uso del suolo):	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato:				
senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo:				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie:				
buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati:				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi:				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85 %)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72 %)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media %):				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	75	83	87
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabili, tetti	98	98	98	98
Strade:				
Pavimentate con cordoli - fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

I valori di CN mostrati in tabella fanno riferimento a differenti tipologie idrologiche di suolo, dipendenti dalla permeabilità del terreno. La classificazione proposta dal SCS è la seguente:

TIPO DI SUOLO	DESCRIZIONE
A	<i>Scarsa potenzialità di deflusso</i> Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde e molto permeabili.
B	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa</i> Comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta</i> Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità d'argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	<i>Potenzialità di deflusso molto alta</i> Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Le condizioni di umidità del suolo nel bacino prima che inizi il ruscellamento costituiscono un ulteriore importante fattore che può condizionare il valore finale del CN. Nel metodo del CN, la condizione iniziale di umidità è classificata in 3 classi di AMC - Antecedent Moisture Condition:

1. **AMC I:** i suoli costituenti il bacino sono pressoché asciutti
2. **AMC II:** condizioni di umidità media
3. **AMC III:** I suoli costituenti il bacino sono pressoché saturi in conseguenza di precedent eventi meteorici

Per tenere in considerazione anche le condizioni di umidità iniziale del terreno (i valori di CN della precedente tabella si riferiscono alla classe AMC II), il SCS suggerisce la seguente tabella di conversione:

AMC Classes			AMC Classes		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

Il calcolo della portata di progetto deve essere eseguito nelle condizioni più gravose di saturazione del terreno, vale a dire nella condizione AMCIII. La conversione fra CN(II) e CN(III) si può ottenere analiticamente per mezzo della seguente relazione che ben riproduce i valori della precedente:

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 \times CN(II)}$$

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate le categorie fondamentali per definire un cosiddetto coefficiente CN pesato. Se, in particolare, si chiamano $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ le percentuali della superficie totale A, aventi rispettivamente valori del coefficiente $CN_1, CN_2, CN_3, \dots, CN_n$. Il valore del CN da assumere per il bacino è ricavabile col criterio “pesato” attraverso la relazione:

$$CN = p_1 CN_1 + p_2 CN_2 + p_3 CN_3 + \dots + p_n CN_n$$

La classe di suolo individuata per l'area in esame è la tipo B. Le tipologie di uso del suolo caratterizzanti i bacini di interesse sono riportati nella seguente tabella, assieme al relativo valore del CN(II):

Uso del Suolo		Tipo di Suolo SCS
<i>Codice</i>	<i>Descrizione</i>	<i>B</i>
1	Urbanizzato	85
2	Seminativo	71
3	Pascolo	61
4	Bosco	66

Calcolo del tempo di corrivazione

Il calcolo del tempo di corrivazione, t_c , dei bacini può essere effettuato tramite diverse formulazioni empiriche in funzione dei caratteri morfologici del bacino idrografico o dell'asta fluviale.

A seconda dell'estensione del bacino possono essere usate le seguenti formule:

Per bacini di superficie compresa tra 0.1 e 1 km² si adotta la formula di Kirpich:

$$t_c = 0.945 (L^3 / DH)^{0.385}$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

L , è la lunghezza dell'asta fluviale in km;

DH , è il dislivello altimetrico tra gli estremi dell'asta, in metri.

Per bacini con superfici superiori alla decina di km² si adotta la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

A , l'area del bacino in km²;

L , la lunghezza dell'asta fluviale in km;

H_m l'altezza media del bacino in metri.

H_0 l'altezza del bacino alla sezione di chiusura in metri

Per i nostri bacini e sottobacini si è utilizzata la formula di Kirpich.

Per i bacini minori si ottengono dei valori di t_c molto bassi, privi di significato fisico. Per essi si impone un valore minimo del tempo di corrivazione pari a 0.25 ore (15').

Calcolo delle portate di progetto

Il calcolo della portata al colmo viene eseguito ipotizzando un idrogramma di forma triangolare, avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione.

Pertanto il valore della portata al colmo risulta:

$$Q_c = \frac{h_n A}{3.6 T_c}$$

dove: Q_c è la portata al colmo; h_n è la pioggia netta; A è la superficie del bacino.

Sulla base delle curve di probabilità pluviometrica ricavate e del valore del CN(II) attribuito ai singoli bacini è stato possibile ricavare i valori dell'altezza di pioggia puntuale di assegnato tempo di ritorno,

la corrispondente pioggia netta hn e infine il relativo valore della portata di progetto. I risultati sono riassunti nella seguente tabella:

tc	pioggia lorda				CN(II)	CN(III)	S	Ia	pioggia netta			
	h ₅₀	h ₁₀₀	h ₂₀₀	h ₃₀₀					hn ₅₀	hn ₁₀₀	hn ₂₀₀	hn ₃₀₀
ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	68.3	83.2	51.26	5.13	3.87	4.84	5.89	6.53
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	70.6	84.7	45.99	4.60	4.45	5.50	6.63	7.32
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	73.0	86.1	40.85	4.08	5.10	6.25	7.47	8.21
0.78	33.95	37.46	40.95	42.99	66.5	82.1	55.53	5.55	10.29	12.43	14.68	16.03
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	80.2	90.3	27.26	2.73	7.51	8.96	10.46	11.36
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	80.2	90.3	27.26	2.73	7.51	8.96	10.46	11.36
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	77.8	89.0	31.51	3.15	6.63	7.97	9.38	10.23
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	73.0	86.1	40.85	4.08	5.10	6.25	7.47	8.21
0.25	20.57	22.69	24.81	26.04	77.8	89.0	31.51	3.15	6.63	7.97	9.38	10.23

tc	pioggia netta				Portate di progetto				cx udometrico			
	hn ₅₀	hn ₁₀₀	hn ₂₀₀	hn ₃₀₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₃₀₀	u ₅₀	u ₁₀₀	u ₂₀₀	u ₃₀₀
ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)
0.25	3.87	4.84	5.89	6.53	2.24	2.80	3.41	3.78	4.30	5.38	6.54	7.25
0.25	4.45	5.50	6.63	7.32	0.17	0.21	0.25	0.28	4.94	6.11	7.37	8.13
0.25	5.10	6.25	7.47	8.21	0.36	0.44	0.52	0.57	5.67	6.95	8.30	9.12
0.78	10.29	12.43	14.68	16.03	32.48	39.24	46.33	50.62	3.66	4.42	5.22	5.70
0.25	7.51	8.96	10.46	11.36	0.60	0.72	0.84	0.91	8.35	9.95	11.62	12.62
0.25	7.51	8.96	10.46	11.36	0.41	0.49	0.57	0.62	8.35	9.95	11.62	12.62
0.25	6.63	7.97	9.38	10.23	0.91	1.10	1.29	1.41	7.36	8.86	10.42	11.36
0.25	5.10	6.25	7.47	8.21	0.20	0.25	0.30	0.33	5.67	6.95	8.30	9.12
0.25	6.63	7.97	9.38	10.23	0.86	1.04	1.22	1.33	7.36	8.86	10.42	11.36

INTERFERENZE IDROGRAFICHE MINORI

Metodologia di verifica

Oltre all'attraversamento principale, il progetto prevede la realizzazione di tombini per ripristinare la circolazione idrica superficiale di versante interrotta dal tracciato stradale. Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

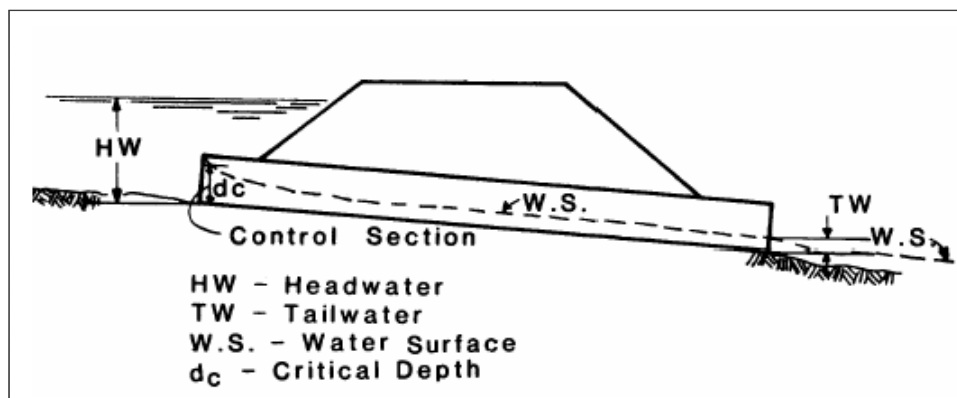
- la pendenza;
- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante.

Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che l'altezza d'acqua agli imbocchi siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento (inferiori al 70% dell'altezza della canna) senza interessare l'infrastruttura stradale.

La verifica dei tombini è stata condotta mediante il software HEC-RAS sviluppato dalla Federal Highway Administration. Il software consente di automatizzare la verifica di attraversamenti stradali definita nella pubblicazione FHWA-NHI-01-020 "Hydraulic design of Highway Culverts" della medesima FHWA. La verifica proposta dalla FHWA intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

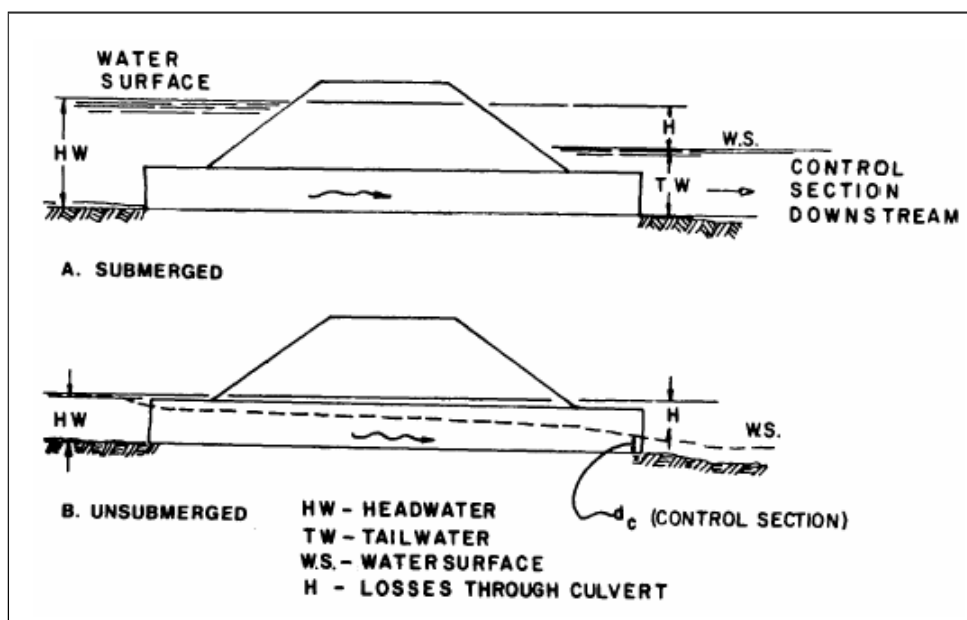
Il "controllo da monte" si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico.



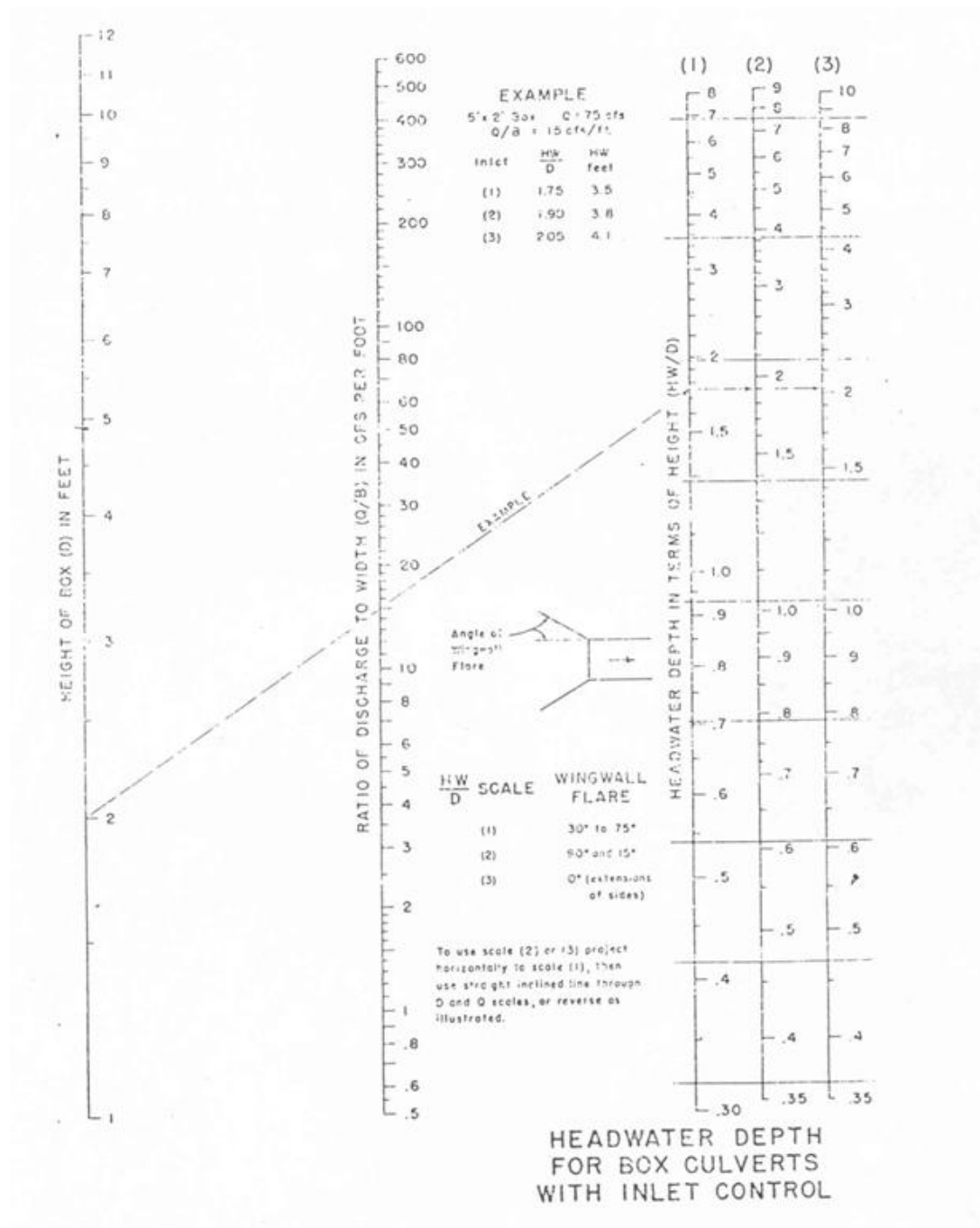
Il livello idrico a monte è stato valutato sulla base dei diagrammi sperimentali delle figure di seguito riportate (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA).

I diagrammi delle figure seguenti forniscono tale livello in condizioni di “controllo da monte” rispettivamente per tombini scatoari e circolari, prendendo in considerazione la portata di progetto e la geometria dell’ingresso (forma e area della sezione);

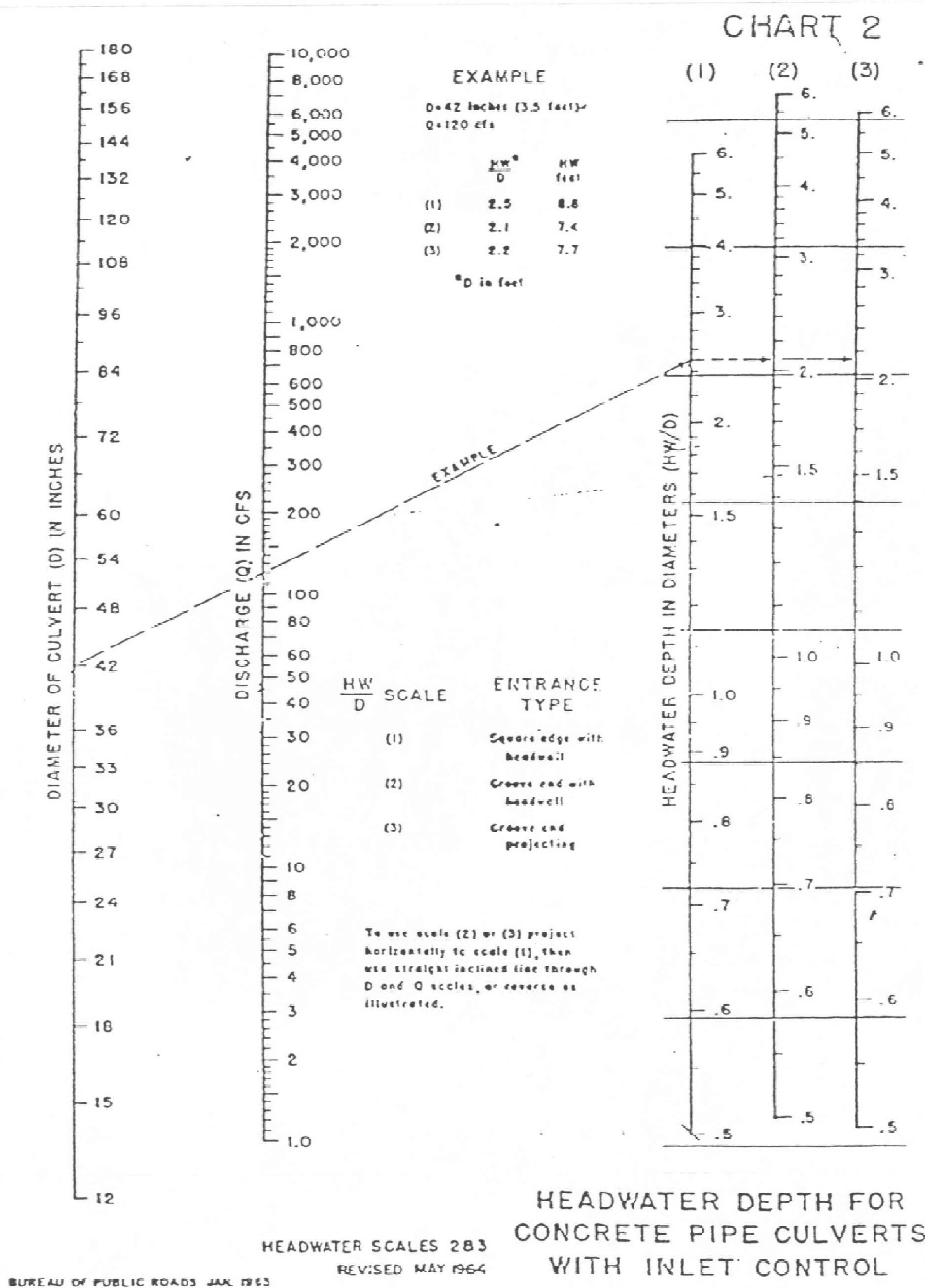
Il “controllo da valle” si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l’ingresso. La sezione di controllo si localizza all’uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.



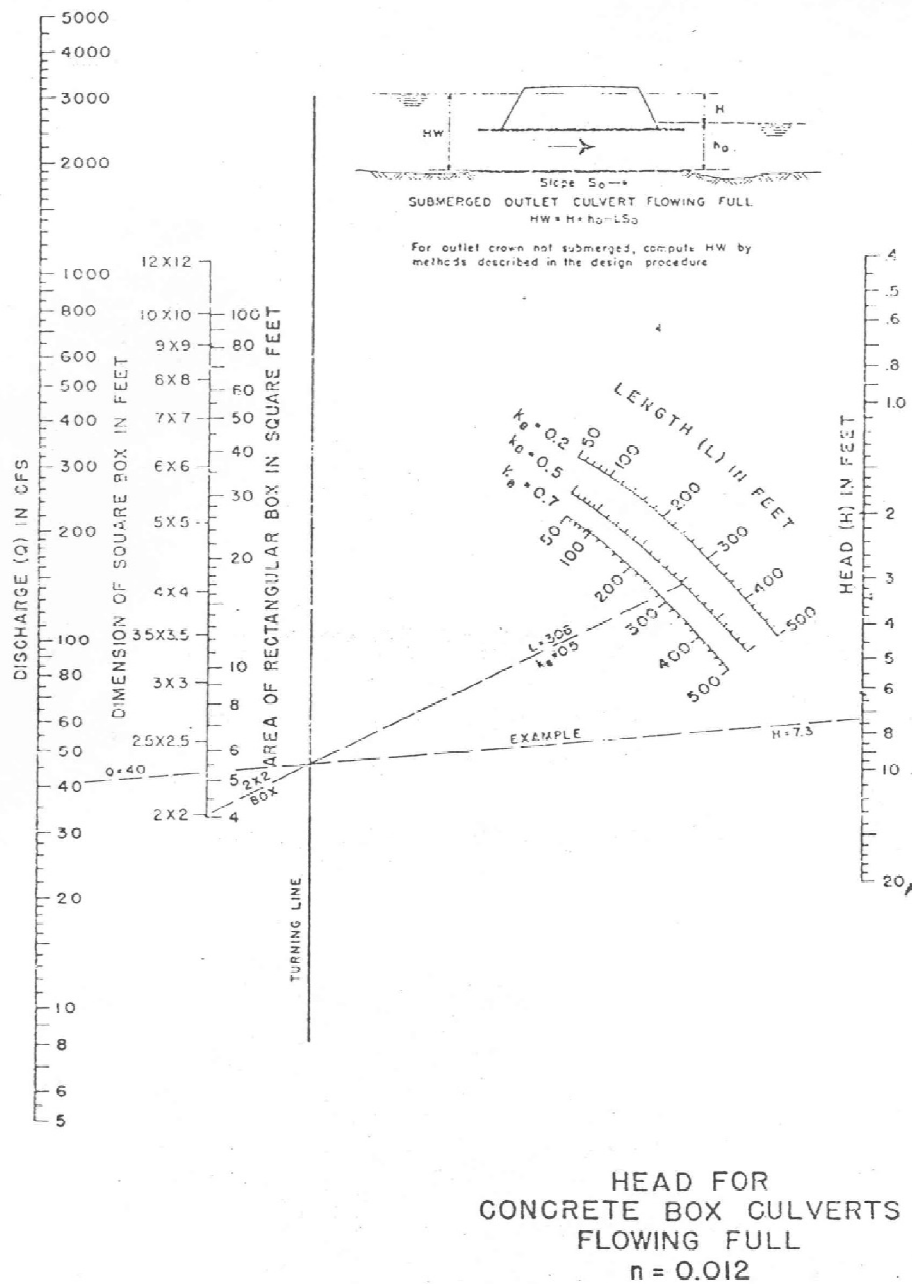
I diagrammi delle figure seguenti, nel caso di funzionamento per “controllo da valle”, consentono di valutare il livello idrico tenendo conto della scabrezza, della lunghezza della canna e di eventuali livelli idrici a valle.



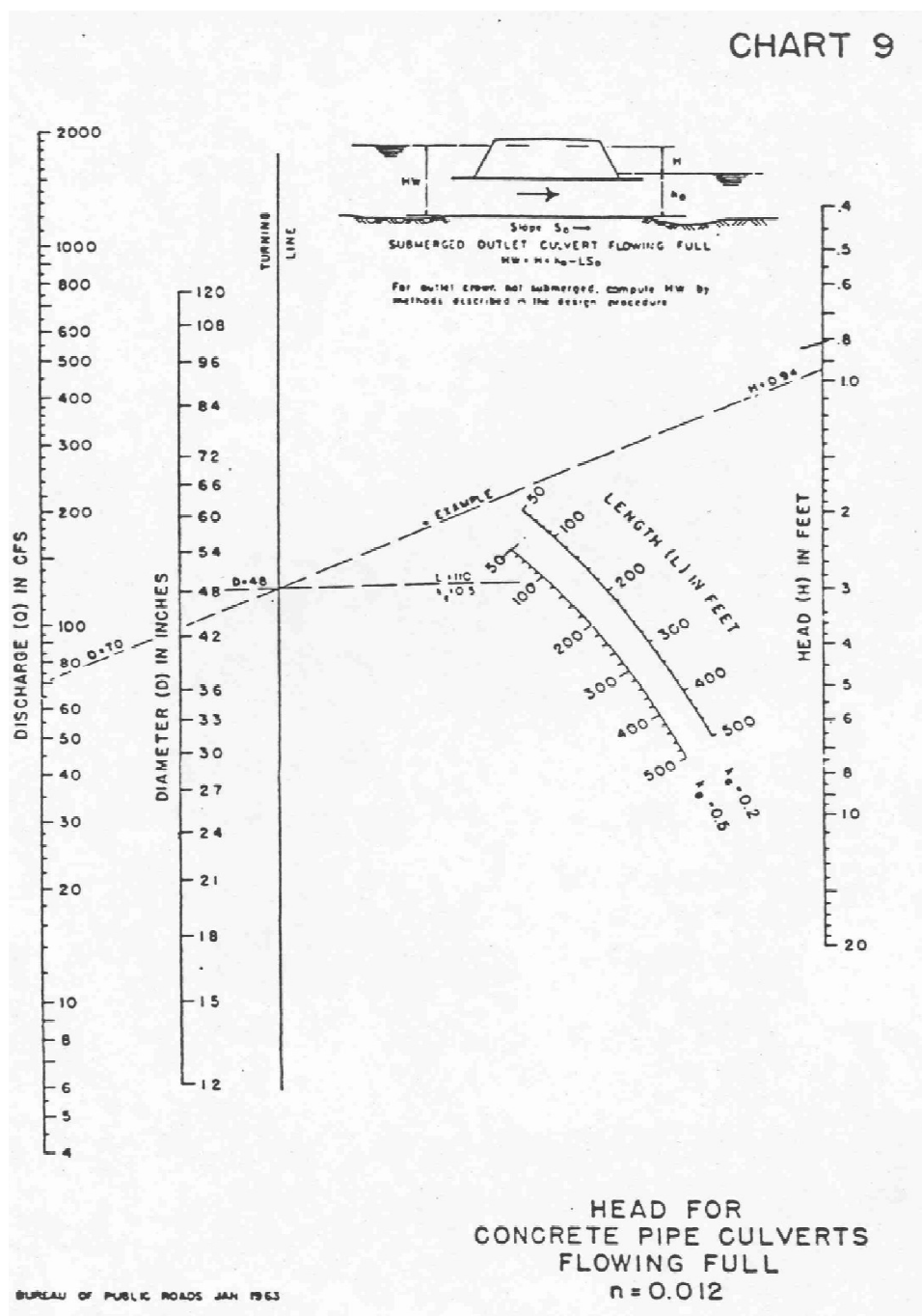
Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da monte (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)



Verifica del riempimento di tombini circolari con controllo da monte (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)



Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da valle (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)



Verifica del riempimento di tombini circolari con controllo da valle (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)

Il software determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna e il tirante all'imbocco e allo sbocco. Il software è anche in grado di gestire cambiamenti di pendenza interni alla canna, quali quelli che si possono presentare in presenza, ad esempio, di un salto di fondo.

Per essere verificato, il riempimento della canna deve essere inferiore al 70% della sezione per la portata di progetto centenaria.

IDRAULICA DI PIATTAFORMA

Nel presente paragrafo si fornisce una descrizione delle opere di drenaggio della piattaforma stradale, fornendo gli elementi e i criteri utili per il corretto dimensionamento e verifica delle stesse. Gli schemi della rete di smaltimento verranno studiati per consentire lo scarico a gravità delle acque di drenaggio verso i recapiti finali.

In merito al dimensionamento, sarà opportuno, tenuto conto dell'importanza delle opere da realizzare e della necessità di garantire un facile allontanamento delle acque dalle pavimentazioni, assumere dati di progetto che assicurino le migliori condizioni di esercizio.

Nel calcolo del drenaggio delle acque di piattaforma, la sollecitazione meteorica da assumere alla base del progetto è quella corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 25 anni; per essa si dovrà verificare che tutti gli elementi idraulici di drenaggio raggiungano un grado di riempimento massimo compatibile con la funzione svolta.

I criteri progettuali da rispettare sono i seguenti:

- mantenimento della sicurezza sul piano viario anche in caso di apporti meteorici eccezionali;
- protezione dall'erosione di trincee, rilevati e opere d'arte che possono essere interessate dal deflusso di acque canalizzate;
- protezione dall'erosione e mantenimento della sicurezza a valle dei recapiti della rete di drenaggio.

Piano di Tutela delle Acque

Per le acque di piattaforma si hanno le seguenti definizioni:

acque di prima pioggia: i primi 5 mm di acqua meteorica di dilavamento uniformemente distribuita su tutta la superficie scolante servita dal sistema di collettamento;

acque di seconda pioggia: le acque meteoriche di dilavamento che dilavano le superfici scolanti successivamente alle acque di prima pioggia nell'ambito del medesimo evento piovoso;

acque meteoriche di dilavamento: la frazione delle acque di una precipitazione atmosferica che, non infiltrata nel sottosuolo o evaporata, dilava le superfici scolanti.

La Normativa dispone gli adempimenti per le "Acque meteoriche di dilavamento, acque di prima pioggia e acque di lavaggio". Essa prevede, per le strade di tipologia F2 di montagna che le acque possano scorrere verso i terreni di valle. Infatti, per tali tipologie di strada:

"Le acque, tranne che nei casi di cui al comma 1, non necessitano di trattamento, non sono assoggettate ad autorizzazione allo scarico fermo restando la necessità di acquisizione del nulla osta idraulico, possono essere immesse negli strati superficiali del sottosuolo e sono gestite e smaltite a cura del comune territorialmente competente o di altri soggetti da esso delegati".

5.2. Dimensionamento del sistema di drenaggio

Determinazione della capacità di smaltimento degli elementi di drenaggio

La definizione della capacità di smaltimento di ciascuna opera è stata effettuata mediante l'espressione di Chezy:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{Ri}$$

nella quale:

Q (m^3/s) è la portata;

A (m^2) è l'area della sezione utile di deflusso;

R (m) è il raggio idraulico;

i (-) è la pendenza del canale.

Per quel che riguarda il coefficiente c , è stata adottata l'espressione di Gauckler - Strickler:

$$\chi = (Ks) \cdot R^{1/6}$$

dove Ks rappresenta la scabrezza del canale, posta pari a 60 per superfici in cls e a 80 per superfici in PP e PEAD.

Dimensionamento degli elementi di raccolta

Una volta valutata la situazione locale (rilevato, trincea, ...) si definisce l'elemento di raccolta idoneo. Il dimensionamento consiste allora nello stabilire l'interasse delle eventuali caditoie (caditoie con griglia, pozzetti di scarico, caditoie su viadotti, ecc.).

Il dimensionamento avviene in maniera diversa se si stanno considerando gli elementi di raccolta continui (longitudinali alla carreggiata) o quelli discontinui (elementi puntuali).

Nel primo caso si dimensionano gli interassi dei pozzetti di scarico calcolando la portata massima smaltibile e la massima portata defluente dalla falda piana (superficie stradale scolante) per unità di lunghezza. Quest'ultima è data dalla formula:

$$q_0 = \varphi b i = \varphi b a t^{n-1}$$

con b larghezza della falda, f coefficiente di deflusso e i intensità di pioggia.

Il coefficiente di deflusso è stato posto pari a 0.9 per le superfici pavimentate, 0.5 per le trincee ed i rilevati e 0.4 per le zone inerbite.

Si è imposto un tempo di corrivazione minimo pari a 3 minuti poiché per tempi molto brevi la curva dell'intensità di pioggia a due parametri tende all'infinito, fornendo quindi dati non realistici.

Il rapporto tra la massima portata convogliabile nell'elemento e la massima portata defluente per unità di larghezza definisce l'interasse massimo tra i pozzetti di scarico.

Il dimensionamento dell'interasse degli elementi puntuali si ottiene facendo il rapporto tra la portata massima transitante in un'ipotetica canaletta triangolare delimitata dal manto stradale e dal cordolo, e la massima portata defluente dalla falda piana per unità di larghezza (q_0).

Il tempo di ritorno considerato per la verifica degli elementi di raccolta è di 25 anni.

Dimensionamento degli elementi di convogliamento

Il dimensionamento degli elementi di convogliamento è fatto facendo il confronto tra la portata transitante e quella massima ammissibile dall'elemento in questione. Anche in questo caso la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione. Quest'ultimo in questo caso è pari alla somma del tempo di afflusso t_a (posto pari a 5') e del tempo di traslazione (t_r) lungo i rami costituenti il percorso idraulicamente più lungo ("asta principale"). Il tempo di traslazione si ottiene quindi dalla formula:

$$t_r = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{v_i}$$

N = numero dei tronchi della rete a monte della generica sezione, facenti parte dell'asta principale;

l_i = lunghezza del tronco i -esimo;

v_i = velocità nel tronco i -esimo.

Il moto all'interno della rete si descrive adottando uno schema di moto uniforme. In particolare si utilizza la formula di Chézy per ottenere le scale di deflusso:

$$Q = \chi A \sqrt{\Re j} = k \frac{A^{5/3}}{C^{2/3}} \sqrt{j}$$

dove:

Q portata di dimensionamento della canalizzazione (m^3/s);

$k = 1/n$ coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$);

A area bagnata (m^2);

C contorno bagnato (m);

j pendenza media della condotta (m/m);

$\Re = \frac{A}{C}$ raggio idraulico (m).

Per ottenere la velocità di percorrenza del singolo tratto basta dividere la portata Q per l'area bagnata A . Il tempo di ritorno considerato per la verifica degli elementi di convogliamento è di 50 anni.

Opere di drenaggio

Nel seguito sono delineate le principali tipologie di opere di drenaggio in relazione alle specifiche applicazioni. Nei tratti in rilevato, il drenaggio avviene in piattaforma: lungo il ciglio esterno sono disposte caditoie realizzate con tratti di canaletta. Questo sistema consente di intercettare tutta la portata generata dalla piattaforma stradale e recapitarla verso le vasche di trattamento. La caditoia, stretta e lunga, determina una minore occupazione trasversale della piattaforma, con conseguente beneficio per il comfort di marcia.

Sui tratti di muro in terra rinforzata si useranno caditoie realizzate con tratti di canaletta, in maniera da non avere interferenze con la struttura di sostegno interna del muro in terra rinforzata. Nei casi in cui la canaletta raggiunge il livello massimo di riempimento ammissibile, si prevede l'inserimento di pozzetti e collettori trasversali per lo scarico delle portate nel collettore longitudinale più prossimo.