



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

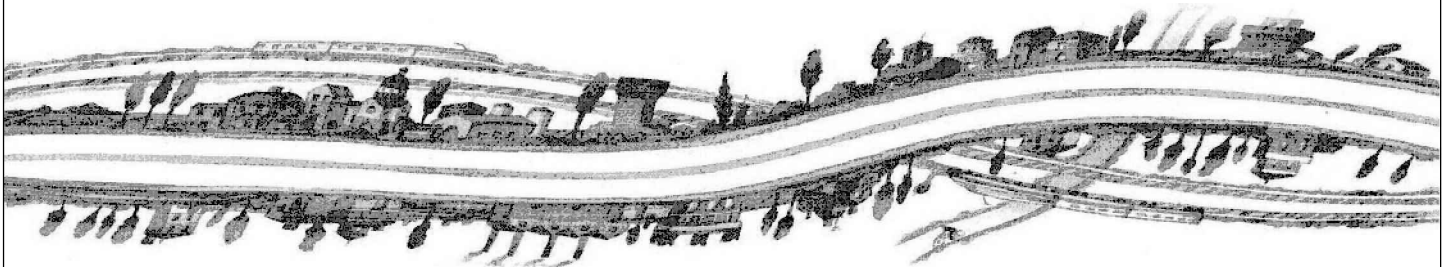
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE)
Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana
PROGETTAZIONE STRADALE**

IDRAULICA DI PIATTAFORMA - D04 (EX 1FE - TRATTO B)

RELAZIONE IDRAULICA DI PIATTAFORMA



IL PROGETTISTA

Alpina S.p.A.
Dott. Ing. Marco Bonfanti
Ordine Ingegneri di Milano
n. A/23384

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio-Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G. Pattuzzi

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	EMISSIONE		Ing. Maddalena	Ing. Bonfanti
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
IDENTIFICAZIONE ELABORATO					DATA: MAGGIO 2012
NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA
5353	PD	0	D04	DWP04	B
					AMBITO
					WW
					TIPO ELABORATO
					RI
					PROGRESSIVO
					01
					REV.
					A
					SCALA: _

INDICE

1. PREMESSA	2
2. CRITERI PROGETTUALI ED ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	3
3. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI	5
4. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO	6
5. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI E DEI LIMITI DI PORTATA	7
6. ANALISI IDROLOGICHE	9
6.1. Metodologia di ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica per intensità di pioggia da 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 6, 12 e 24 ore.....	9
6.2. Metodologia di ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica per intensità di pioggia inferiori a 1 ora.....	11
7. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO	13
7.1. Calcolo del velo idrico sulla piattaforma stradale.....	13
7.2. Calcolo del coefficiente di deflusso.....	14
7.3. Dimensionamento degli elementi di drenaggio	15
7.4. Canaletta ad embrice.....	15
7.4.1. Verifica degli elementi di margine.....	16
8. DIMENSIONAMENTO DEI FOSSI DI LAMINAZIONE	19
ALLEGATO I – CALCOLO DEL VELO IDRICO	21
ALLEGATO II – INTERASSI SCARICHI.....	22
ALLEGATO III – DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA.....	23

1. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di definire e verificare il sistema di raccolta, convogliamento e scarico nel recapito finale delle acque di piattaforma della viabilità di Adduzione al Sistema Autostradale nel tratto "D04 Raccordo Bondeno-Cento", che si configura nell'ambito del progetto definitivo della nuova Autostrada Regionale Cispadana, infrastruttura stradale di categoria A, avente origine in corrispondenza del casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 "Autostrada del Brennero" e termine al casello di Ferrara Sud sulla A13 "Autostrada Bologna-Padova.

La realizzazione della viabilità di adduzione comporta l'impermeabilizzazione delle superfici di piattaforma stradale con conseguenti problematiche connesse alla gestione delle acque meteoriche drenate, dovute all'incremento delle portate idrauliche consegnate ai canali recettori.

Lo studio, che ha carattere idrologico, idraulico ed ambientale, ha portato alla definizione del sistema di raccolta, smaltimento e trattamento delle acque di piattaforma e comprende:

1. reti interconnesse di raccolta, evacuazione delle acque di piattaforma;
2. presidi di sicurezza per il controllo degli sversamenti accidentali
3. fossi di laminazione per il controllo delle portate rilasciate.

Per il corretto dimensionamento di tali opere, è stato individuato il migliore assetto da assegnare al sistema di drenaggio tenendo conto:

- della sollecitazioni pluviometriche;
- dei vincoli normativi;
- della particolare situazione morfologica e idraulica delle aree interessate dall'infrastruttura stradale;
- dei vincoli quantitativi dei canali recettori

Il sistema di drenaggio delle acque di piattaforma è caratterizzato da un sistema di tipo "aperto", dunque non viene effettuato alcun trattamento delle acque di prima pioggia. Le acque vengono quindi interamente captate mediante embrici e convogliate ai fossi di guardia che recapitano ai canali ricettori.

2. CRITERI PROGETTUALI ED ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

I criteri progettuali assunti derivanti dal Progetto Preliminare, sono i seguenti.

- progettazione della rete di evacuazione delle acque di piattaforma dimensionata per tempo di ritorno TR=20 anni;
- invarianza idraulica al recettore: si impongono come limiti allo scarico i valori udometrici prescritti dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.
- scarichi individuati nella rete idrica superficiale nei corsi d'acqua principali e secondari da parte del Consorzio di Bonifica ; ogni scarico è dotato di manufatto di rilascio controllato;
- evitare di riversare scarichi accidentali nei corpi recettori finali
- invarianza di bacino afferente: non si può scaricare in un fosso o canale acque a lui non deputate originariamente
- garantire sempre e ovunque la continuità idraulica dei campi sia ai fini di scolo che irrigua a monte ed a valle della infrastruttura stradale in progetto

Lo studio della rete di laminazione, trattamento ed evacuazione, delle acque di piattaforma autostradale si è articolato attraverso le seguenti fasi.

- 1) Individuazione dei recettori e dei loro limiti di portata
- 2) Analisi idrologiche: preliminarmente sono state ricavate le curve di possibilità pluviometrica caratteristiche per ogni ambito territoriale da utilizzare nel dimensionamento degli afflussi che sollecitano la rete, quindi si è proceduto alla trasformazione Afflussi/Deflussi.
- 3) Schema idraulico di funzionamento delle reti di raccolta e smaltimento: comprende l'individuazione dei manufatti elementari del drenaggio di piattaforma ed il relativo dimensionamento in funzione dei parametri di progetto assunti; comprende anche la individuazione dei tratti omogenei e dei bacini ad essi afferenti
- 4) Verifiche idrauliche: comprende il calcolo dei fossi di guardia e l'impatto dello scarico delle acque di piattaforma con i limiti allo scarico imposti,
- 5) Dimensionamento dei manufatti di modulazione, evacuazione e laminazione

I metodi di calcolo e di analisi adottati sono sinteticamente riportati nei singoli paragrafi, mentre si rimanda alla bibliografia di settore per gli approfondimenti teorici ed applicativi.

Nell'ambito del presente progetto non si ritiene necessario prevedere la separazione e il trattamento delle



acque di prima pioggia prima della restituzione delle acque di pioggia all'ambiente naturale data la tipologia di viabilità in questione.

La predisposizione dei sistemi di raccolta delle acque di prima pioggia assolve, infatti, al duplice intento di intercettare gli eventuali sversamenti di sostanze non compatibili con la rete idrografica naturale in occasione di imprevisti inconvenienti di esercizio (ribaltamento mezzi, ecc.) e di raccogliere le inevitabili scorie prodotte da un intenso flusso veicolare. Per questa viabilità si ritiene che l'accumulo di inquinanti in tempo secco ed il loro lavaggio operato dalla pioggia sia trascurabile rispetto alle viabilità autostradali, interessate da intenso traffico veicolare e caratterizzate da superfici molto superiori.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

Il progetto del sistema di smaltimento e trattamento delle acque di piattaforma è stato redatto conformemente alla "Normativa legislativa" ed alla "Normativa tecnica" vigenti sul territorio nazionale e regionale di interesse.

Gli aspetti inerenti la raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma attraverso sistemi di fognatura canalizzata a cielo aperto od in sezioni chiuse sono stati affrontati con riferimento ai numerosi testi di norme tecniche UNI, EN, CEN, ecc... ai quali si rimanda e che per brevità non vengono riportati nel testo.

Gli aspetti inerenti il calcolo dei collettori fognari e degli impianti di depurazione sono stati sviluppati in conformità alle indicazioni tecniche riportate nel Regio Decreto n° 1265 del 27 luglio 1934 "Testo unico delle leggi sanitarie" nel Decreto Ministeriale LLPP del 12 dicembre 1985 "Normativa tecnica per le tubazioni" e nella Circolare Ministeriale LLPP n° 11633 del 7 gennaio 1974 "Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto".

Gli aspetti inerenti la qualità delle acque, in particolare le problematiche connesse con la raccolta delle acque di prima pioggia sono trattate nell'ambito del Decreto Legislativo 152/99 e la successiva modifica costituita dal D.Lgs 258/00, in cui le acque di "prima pioggia" sono affrontate all'Articolo n. 39 ed esplicitati attraverso l'apposita Direttiva regionale. "Direttiva concernente indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio da aree esterne" approvata con delibera della Giunta Regionale del 14 febbraio 2005, n. 286".

Si è inoltre fatto riferimento alle linee guida di progettazione emanate dalla Regione Emilia Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale 18/12/2006 n° 1860 "Linee guida di indirizzo per la gestione acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia in attuazione della deliberazione G.R. n. 286 del 14/2/2005" e alla Legge Regionale n.4 del 6 marzo 2007.

Per un quadro esaustivo della normativa applicata si faccia riferimento all'elaborato:

PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01 Elenco delle Normative di riferimento

4. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

La sicurezza del traffico e le condizioni generali dell'ambiente urbano sono affidate sia alla corretta geometria del corpo stradale che al corretto dimensionamento delle opere di drenaggio, che devono provvedere alla raccolta, all'incanalamento ed all'allontanamento delle acque che vengono intercettate dal corpo stradale.

Il principale obiettivo nella progettazione delle opere di drenaggio è dunque quello di garantire l'assenza di ristagni d'acqua sulla superficie di usura della strada, che potrebbero seriamente pregiudicare la sicurezza degli automobilisti.

Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche adottato, non prevede la componente di trattamento delle acque di prima pioggia. La giustificazione deriva da un flusso veicolare non sostenuto e da aree limitate.

Il dimensionamento delle opere è stato effettuato sulla base della portata massima attesa, determinata mediante l'utilizzo di un modello di trasformazione afflussi-deflussi che consente di valutare la portata di progetto a partire dalla conoscenza della curva di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 20 anni.

Il sistema di drenaggio in progetto è caratterizzato, per tutta la sua estensione dalla tipologia di viabilità in rilevato: a determinati intervalli l'elemento marginale di trattenuta dell'afflusso di dilavamento è interrotto da manufatti di invito in calcestruzzo che si raccordano ad una canaletta ad embrici. Le acque vengono convogliate ai fossi di guardia posti al piede del rilevato.

I fossi di guardia verranno realizzati in terra, sia per contenere i costi di realizzazione, sia per ottenere un migliore inserimento ambientale; in corrispondenza degli scarichi degli embrici è previsto un rivestimento in cls sul fondo e sulle sponde del fosso. Solo in corrispondenza degli acquiferi critici verrà prevista la posa di un materassino bentonitico ed uno strato vegetale di 20cm; nel caso di fossi pensili le arginature saranno costituite da materiale prevalentemente argilloso. I fossi avranno larghezza al fondo e altezza minima pari a 0.5 m, con pendenza delle sponde pari a 2/3; poiché sono intagliati sul piano campagna, seguendo le quote esistenti, le profondità varieranno in funzione del raccordo con il recettore.

Nel tratto di territorio in questione si ritiene che la vulnerabilità dell'acquifero profondo sia bassissima, pertanto non viene previsto alcun sistema di impermeabilizzazione dei fossi di guardia/laminazione in progetto.

I fossi di laminazione scaricano le acque nella rete idrica superficiale esistente ogni qual volta viene intersecato un corso d'acqua o un fosso di scolo. Lo scarico avviene attraverso un manufatto di regolazione in cls costituito da una soglia sfiorante all'interno della quale viene praticata una foronomia adeguata alla regolazione richiesta e una paratoia per la trattenuta degli sversamenti accidentali. In particolare, nel caso di fossi non arginati, la quota di scarico dovrà essere minimo pari a - 20 cm dal piano campagna.

5. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI E DEI LIMITI DI PORTATA

Il reticolo idrografico interferito è costituito da una fitta rete di canali artificiali consortili e privati. La scelta dei corsi d'acqua riceventi le acque di piattaforma, pur accettando l'ipotesi dell'invarianza idraulica, è stata suffragata da una serie di considerazioni che hanno poi trovato conforto da uno stretto rapporto con il Consorzio di Bonifica.

Di seguito si riporta la tabella con l'indicazione dei limiti di scarico consentiti, relativamente a ogni interferenza idraulica. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione idraulica di piattaforma dell'asse autostradale.

COD	NOME RILIEVO	GESTORE	RANGO	NECESSITA' DI SCARICARE ACQUE DI PIATTAFORMA	LIMITI ALLO SCARICO l/(s*ha)
1FEA201	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	8.0
1FEA306	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	0.0
1FEA202	SCOLO SALIONE	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	secondario	SI	8.0
1FEA307	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA308	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA309	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA310	FOSSO OVEST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA311	FOSSO OVEST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA312	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0



1FEA313	FOSSO OVEST S.P. CENTO	privato	minore	NO	4.0
1FEA203	FOSSO EST S.P. CENTO	privato	minore	NO	0.0
1FEA204	FOSSO VIA MONCO	privato	minore	NO	8.0

TABELLA 6.1-1- CORPI IDRICI RICETTORI E LIMITI ALLO SCARICO PER IL TRACCIATO AUTOSTRADALE

6. ANALISI IDROLOGICHE

Lo studio idrologico ha previsto l'indagine sul regime delle piogge di breve durata e forte intensità per un Tempo di Ritorno di 20 anni, in tutti i pluviometri situati nelle vicinanze della viabilità, finalizzata alla definizione delle curve di possibilità pluviometrica e dei relativi ietogrammi di progetto. Lo studio è stato suddiviso in due parti ciascuna influenzata dalla durata di pioggia:

- 1) verifica dei manufatti di raccolta e smaltimento sollecitata da eventi di pioggia di durata >1 ora. Rientrano tra questi i sistemi di raccolta tramite fosso di guardia che come già anticipato svolge anche la funzione laminativa
- 2) verifica dei manufatti di raccolta e smaltimento sollecitata da eventi di pioggia di durata <1 ora. Rientrano tra questi i manufatti di captazione delle acque meteoriche (embrici, caditoie, cunette, bocchettoni..), ovvero quelli che necessariamente debbono scaricare prima possibile le acque defluite.

6.1. Metodologia di ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica per intensità di pioggia da 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 6, 12 e 24 ore

Per la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia in funzione del tempo di ritorno (TR), si fa riferimento alla legge probabilistica che meglio si adatta al campione di dati utilizzato.

Nel caso delle stazioni pluviometriche in esame, la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia, in funzione del Tempo di Ritorno (TR), è stata ottenuta tramite la legge probabilistica di Gumbel, stimandone i parametri a(T) ed n(T), al fine di ottenere la curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h = a(T)t^{n(T)} \tag{6.1}$$

L'elaborazione statistica ha portato alla definizione delle curve di possibilità climatica, dove l'altezza di pioggia espressa in millimetri è rappresentata dall'espressione:

$$h = n - \frac{\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right)}{a} \tag{6.2}$$

dove:

TR = tempo di ritorno

$$n = Y - \bar{Y}_N \cdot S_Y / S_N$$

$$a = S_N / S_Y$$

Y_N = media della variabile ridotta

S_N = deviazione standard della variabile ridotta

Y = media aritmetica delle massime altezze di pioggia osservate

Sy = scarto quadratico medio delle massime altezze di pioggia osservate.

Il valore assunto dai parametri Sx e Sn è funzione del numero di osservazioni a disposizione; tali valori sono riportati nella tabella sottostante.

Media ridotta \bar{Y}_N Δ										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5154	0,5177	0,5198	0,5217
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5282	0,5296	0,5309	0,5321	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5411	0,5417	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5472	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5532	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5571	0,5573	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5584
90	0,5586	0,5588	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5605	0,5606	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611
Deviazione standard ridotta S_N \times										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,0010	1,0148	1,0270	1,0378	1,0476	1,0564	1,0644	1,0717	1,0785	1,0847
20	1,0904	1,0958	1,1008	1,1055	1,1098	1,1140	1,1178	1,1215	1,1250	1,1283
30	1,1314	1,1344	1,1372	1,1399	1,1425	1,1449	1,1473	1,1496	1,1518	1,1538
40	1,1559	1,1578	1,1597	1,1614	1,1632	1,1649	1,1665	1,1680	1,1696	1,1710
50	1,1724	1,1738	1,1752	1,1765	1,1777	1,1789	1,1801	1,1813	1,1824	1,1835
60	1,1846	1,1856	1,1866	1,1876	1,1886	1,1895	1,1904	1,1913	1,1922	1,1931
70	1,1939	1,1947	1,1955	1,1963	1,1971	1,1978	1,1986	1,1993	1,2000	1,2007
80	1,2014	1,2020	1,2027	1,2033	1,2039	1,2045	1,2052	1,2057	1,2063	1,2069
90	1,2075	1,2080	1,2086	1,2091	1,2096	1,2101	1,2106	1,2111	1,2116	1,2121
100	1,2126	1,2130	1,2135	1,2139	1,2144	1,2148	1,2153	1,2157	1,2161	1,2165

TABELLA 6.1-1- VALORI DEI PARAMETRI (Y_N) E S_N SECONDO GUMBELL

Per stimare la CPP rappresentativa di ogni singolo tratto stradale di sviluppo medio di 4 km si è proceduto nel seguente modo: si sono prese in esame le 3 stazioni pluviometriche prossime all'infrastruttura stradale, associando ad ognuna di esse un peso, calcolato con il metodo dell'inverso della distanza, si ricavano le intensità di pioggia per assegnato TR all'interno di ogni singolo tratto.

Il metodo dell'inverso delle distanze si basa sull'ipotesi che in ciascun punto del bacino la precipitazione possa essere stimata sulla base di tutte le precipitazioni misurate, attribuendo ad esse un peso pari

all'inverso della distanza tra il punto e la stazione pluviometrica. Frequentemente si fa riferimento alla distanza al quadrato.

Indicato con k il generico elemento della griglia, essendo $k = 1, \dots, K$, il peso w_{ki} del pluviometro i nella maglia k risulta:

$$w_{ki} = \frac{\frac{1}{d_i^2}}{\sum_{j=1, M} \frac{1}{d_j^2}} \quad 6.3$$

dove d_j indica la distanza tra l'elemento della griglia ed il pluviometro i ed M è il numero complessivo di pluviometri considerati.

Si riportano di seguito, per il TR20 anni le tabelle riassuntive dei valori dei parametri delle CPP per i diversi tratti della viabilità in questione.

a	43.095
n	0.163

TABELLA 6.1-2 - PARAMETRI DELLE CPP PER DURATE DI PIOGGIA SUPERIORI ALL'ORA

6.2. Metodologia di ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica per intensità di pioggia inferiori a 1 ora

Per la verifica dei sistemi di raccolta, per i quali la risposta al deflusso è immediata, si deve necessariamente calcolare la sollecitazione più gravosa durante eventi di pioggia intensi e di durata inferiore ad 1 ora.

Il calcolo dei parametri delle CPP per durate inferiori all'ora è stato effettuato mediante la formula di Bell a partire dalle CPP per durate superiori all'ora.

$$\frac{h_{d,T}}{h_{60,T}} = 0.54d^{0.25} - 0.5 \quad 6.4$$

Con essa è possibile calcolare la pioggia di durata $d < 60$ minuti e tempo di ritorno T, in funzione del valore $h_{60,T}$ fornito dalla CPP relativa allo stesso periodo di ritorno.

I risultati ottenuti sono riportati nella sottostante tabella.

a	44.937
n	0.469

TABELLA 6.2-1 - PARAMETRI DELLE CPP PER DURATE DI PIOGGIA INFERIORI ALL'ORA

7. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

7.1. Calcolo del velo idrico sulla piattaforma stradale

Il processo di deflusso dalla sede stradale agli elementi marginali è da considerare con attenzione, dato i problemi che il velo liquido può porre per il traffico veicolare.

Le precipitazioni che si abbattano sulla sede stradale, soprattutto se brevi ed intense, possono produrre un deflusso superficiale di non trascurabile entità, il quale se non controllato con adatte disposizioni, può causare inconvenienti di rilievo.

Il velo idrico sulla sede stradale deve, infatti, essere contenuto entro prefissati valori (esso non dovrebbe superare i 6 mm [Rooseboom ed altri, 1986]), per non condizionare l'aderenza degli pneumatici, per questo motivo è necessario assegnare un'opportuna pendenza trasversale alla sede stradale.

L'altezza del velo liquido dipende, oltre che dalla pendenza trasversale, dall'intensità di precipitazione, dal percorso che compie l'acqua per raggiungere il bordo della carreggiata e dalla larghezza della strada e dunque dalla circostanza che il tratto stradale sia in rettilineo (in genere scola metà carreggiata per lato) o in curva (scola solo da una parte).

Il valore del velo idrico massimo h_{max} [mm], viene determinato attraverso un'espressione derivata da alcune esperienze condotte in Gran Bretagna dal Road Research Laboratory nella seguente forma:

$$h_{max} = 0.0474 \cdot \sqrt{L_{eff} \cdot p \cdot i^{-0.2}} \quad 7.1$$

Dove:

- L_{eff} : lunghezza del percorso dell'acqua prima di raggiungere le canalizzazioni a lato della carreggiata [m], può essere calcolata sulla base della seguente formula:

$$L_{eff} = L_c \left[1 + \left(\frac{i_l}{i_t} \right)^2 \right]^{0.5} \quad 7.2$$

- i : pendenza della strada lungo la linea di corrente ricavata come risultante delle pendenze trasversali e longitudinali i_t e i_l :

$$i = (i_t^2 + i_r^2)^{0.5}$$

7.3

- L_c : larghezza della carreggiata [m];
- p : intensità di pioggia [mm/h];

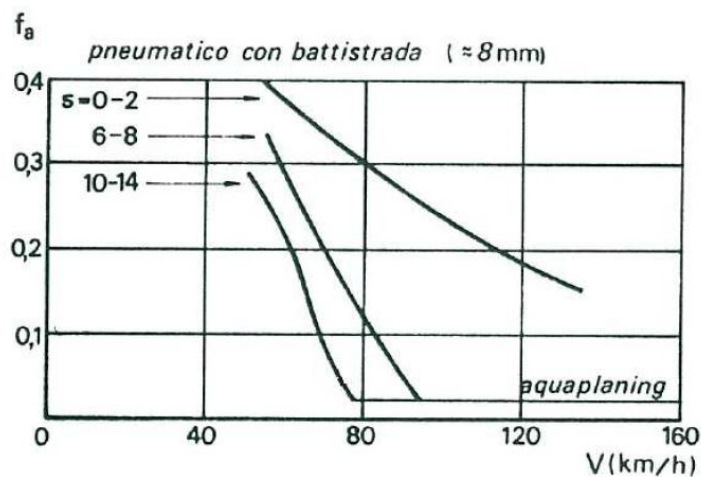


FIGURA 7.1-1 - RAPPORTO VELO IDRICO/ADERENZA

L'ALLEGATO I – CALCOLO DEL VELO IDRICO, riporta i calcoli per la determinazione di h_{max} , da cui si evince come i valori massimi raggiunti, assumono valori ovunque inferiori al valore limite assunto pari a 6 mm.

7.2. Calcolo del coefficiente di deflusso

Nei modelli di trasformazione dell'afflusso meteorico in deflusso, la precipitazione va depurata della componente destinata ad infiltrarsi nel terreno. La valutazione della portata infiltrata può essere effettuata attraverso il coefficiente di afflusso φ che rappresenta il rapporto tra il volume della pioggia netta ed il volume della pioggia totale. Tale coefficiente dipende da diversi fattori, alcuni dei quali variabili nel tempo. Nel presente progetto, per semplicità, il coefficiente φ verrà considerato costante per tutta la durata della pioggia.

Di seguito, vengono riportati i coefficienti di deflusso in funzione della superficie scolante:

TIPO DI PAVIMENTAZIONE	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO
Pavimentazione stradale	0.9
Scarpata erbosa	0.50
Superfici a verde piane	0.30

TABELLA 7.2-1 - COEFFICIENTI DI DEFLUSSO.

Il valore relativamente elevato assunto per le superfici erbose è giustificato dalla notevole pendenza delle scarpate.

Detto φ_i il coefficiente di deflusso relativo alla superficie S_i il valore medio del coefficiente, relativo ad aree caratterizzate da differenti valori, si ottiene dalla seguente media ponderata:

$$\varphi = \frac{\sum_i (S_i \cdot \varphi_i)}{\sum_i (S_i)} \quad 7.4$$

I bacini contribuenti considerati sono quelli corrispondenti alle superfici di competenza dei differenti recapiti finali.

7.3. Dimensionamento degli elementi di drenaggio

Nei paragrafi successivi si riportano i criteri generali di dimensionamento di tutti gli elementi che costituiscono il sistema di drenaggio delle acque di piattaforma.

Il sistema è del tipo aperto, risulta perciò costituito da un sistema di canalette ad embrici che raccolgono le acque di piattaforma e che le immettono nei fossi disperdenti.

7.4. Canaletta ad embrice

L'allontanamento delle acque dalla sede stradale al fosso di laminazione al piede del rilevato è affidato alle canalette ad embrice disposte ad interassi regolari lungo la scarpata.

Il funzionamento idraulico di un embrice può essere assimilato a quello di una soglia sfiorante; la portata sfiorata Q [m^3/s] può essere definita come:

$$Q = C_q L h \sqrt{2gh} \quad 7.5$$

nella quale:

- $C_q = 0,385$ è il coefficiente di deflusso;
- L [m] rappresenta la larghezza dell'embrice
- h [m] rappresenta l'altezza del velo liquido all'imbocco dell'embrice.

Nell'ALLEGATO II – INTERASSI SCARICHI, sono state riportate le tabelle di dimensionamento degli embrici. In particolare è stata calcolata la portata sfiorata e, dal rapporto tra quest'ultima e la portata drenata determinata con la formula razionale per unità di lunghezza, il passo minimo degli embrici al variare del tracciato.

7.4.1. Verifica degli elementi di margine

La conformazione della piattaforma stradale consente il deflusso delle acque meteoriche verso il margine della carreggiata stradale, presso il ciglio si origina quindi un'area di deflusso a forma triangolare che interessa la banchina stradale. Le condizioni di deflusso idrico lungo il margine stradale sono determinate dalle pendenze longitudinali e trasversali del corpo stradale, tali parametri individuano quindi la capacità di deflusso che può ottenersi lungo il ciglio. La capacità idraulica lungo il margine stradale è limitata dalla larghezza massima ammissibile per il velo idrico in piattaforma che evidentemente non deve interessare in alcun modo la parte carrabile della piattaforma stradale. La verifica degli elementi di margine consiste quindi nel rapportare la capacità idraulica del margine stradale per i diversi sottotratti stradali, distinti sulla base dei valori di pendenza longitudinale e alla larghezza di piattaforma drenata, all'apporto meteorico specifico, ovvero alla stima della portata meteorica afferente per metro lineare di piattaforma stradale; dagli esiti di tale raffronto si ricava l'interasse massimo al quale devono porsi gli elementi di raccolta delle acque meteoriche (embrici, caditoie) per evitare il rischio che il deflusso idrico possa interessare anche il traffico veicolare.

Il calcolo del deflusso idrico in banchina viene eseguito considerando una sezione di deflusso triangolare, delimitata dal cordolo laterale e dal piano stradale inclinato, Figura 7.4–1.

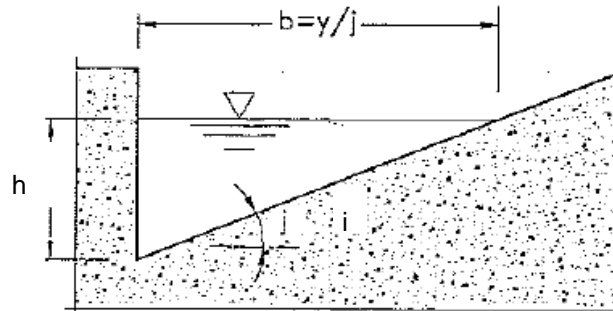


FIGURA 7.4-1 - SEZIONE TIPICA DI UNA BANCHINA LATERALE.

Il moto che si instaura viene assimilato al moto uniforme, con riferimento alla portata Q [m^3/s] che compete alla sezione terminale del tratto compreso tra due scarichi. Indicando con A [m^2] e R [m] rispettivamente area e raggio idraulica della sezione, con i la pendenza longitudinale e con K_s [$m^{1/3}/s$] il coefficiente di scabrezza secondo Gauckler - Strickler si ha la ben nota formula di Chézy:

$$Q = AK_s R^{2/3} i^{1/2} \quad 7.6$$

Considerando la geometria della sede stradale e ipotizzando un allagamento della sede stradale che interessi l'intera banchina, si ottiene la portata convogliabile per ogni tratto stradale.

La portata drenata viene determinata tramite il metodo razionale. Considerando i parametri delle CPP forniti dall'analisi idrologica, un coefficiente di laminazione ε pari a 1 e un coefficiente di efflusso φ pari a 0.9 (superficie praticamente impermeabile), in funzione del tempo di corrivazione t_c [h], si ottengono l'intensità di precipitazione massima prevista i [mm/h], il coefficiente udometrico u [l/s/ha] e la portata drenata dalla piattaforma stradale $Q_{drenata}$ [l/s]. La 4-13 rappresenta la formula razionale.

$$i = a \cdot t_c^{n-1} \quad 7.7$$

$$u = 2.78 \cdot \varphi \cdot \varepsilon \cdot i \quad 7.8$$

$$Q_{drenata} = u \cdot A \quad 7.9$$

Dividendo il valore della massima portata transitabile in banchina per la portata drenata, si ottiene l'interasse tra gli scarichi.

Tale interasse deve essere tale per cui gli elementi di raccolta (embrici e caditoie) siano in grado di smaltire la portata in arrivo, come spiegato nei precedenti paragrafi.

In Tabella 7.4-1 e Tabella 7.4-2 sono riassunti i risultati ottenuti, riportati nell' ALLEGATO II – INTERASSI SCARICHI.

TRATTO STRADALE	ELEMENTO DI RACCOLTA ACQUE DI PIATTAFORMA	INTERASSE [m]
Pk da 0+000 a 0+468	Embrice	30
Pk da 0+468 a 0+674	Embrice	10
Pk da 0+674 a 0+870	Embrice	30
Pk da 0+870 a 1+560	Embrice	10
Pk da 1+560 a 1+615	Embrice	30
Pk da 1+615 a 1+639	Embrice	10

TABELLA 7.4-1 - INTERASSE E TIPOLOGIA ELEMENTI DI RACCOLTA ACQUE DI PIATTAFORMA LUNGO L'ASSE PRINCIPALE

INTERSEZIONE	ELEMENTO DI RACCOLTA ACQUE DI PIATTAFORMA	INTERASSE [m]
Rotatoria B- assi B1 e B2	Embrice	10

TABELLA 7.4-2 - INTERASSE E TIPOLOGIA ELEMENTI DI RACCOLTA ACQUE DI PIATTAFORMA LUNGO GLI ASSI SECONDARI

8. DIMENSIONAMENTO DEI FOSSI DI LAMINAZIONE

I fossi di guardia al piede del rilevato sono impostati in modo da garantire la laminazione delle acque di piattaforma prima del collegamento ai canali recettori. La necessità di contenere le portate scaricate nel reticolo idrico superficiale e nel contempo l'esigenza di limitare l'impatto sul territorio della nuova opera in termini di aumento delle superfici impermeabili determina il dimensionamento dei fossi di guardia, ovvero le dimensioni dei fossi sono ricavate in modo da garantire lo scarico controllato delle portate idrauliche assumendo come limite di scarico i valori richiesti dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara:

- 15 - 20 l/s*ha per i canali consorziali di grandi dimensioni
- 8 l/s*ha per il reticolo consorziale minore
- 4 l/s*ha per i fossi privati

I limiti di scarico consentiti in ogni singolo corso d'acqua interferito sono riportati in Tabella 6.1-1.

Le dimensioni del fosso di guardia sono calcolate rispetto al massimo volume idrico che è necessario invasare. Il valore della volumetria necessaria viene determinata mediante l'applicazione dell'equazione di continuità applicata ad ogni istante prescelto durante l'intero periodo di pioggia:

$$V_2 - V_1 = \frac{(Q_{e1} - Q_{u1}) + (Q_{e2} - Q_{u2})}{2} \cdot (t_2 - t_1) \quad 8.1$$

dove i pedici 1 e 2 identificano istanti temporali distinti e consecutivi, la portata entrante Q_e è pari al valore dell'idrogramma di progetto nell'istante temporale considerato, la portata uscente Q_u è invece pari alla portata scaricata. Variando la durata di pioggia e quindi variando l'idrogramma in ingresso si ottiene la durata di pioggia critica che massimizza il volume invasato che quindi rappresenta il parametro dimensionante della sezione di riferimento del fosso di guardia.

L'effettiva limitazione delle portate scaricate nel reticolo superficiale si ottiene prevedendo in corrispondenza della sezione terminale del fosso un opportuno setto ove è realizzato presso il fondo una luce di scarico. Il dimensionamento dell'orifizio si basa sull'applicazione dell'equazione dell'efflusso sotto battente

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad 8.2$$

in cui:

- Q è la portata scaricata dalla luce il cui valore è fissato sulla base del limite di scarico ammissibile per lo specifico fosso in ragione della relativa superficie afferente
- μ è il coefficiente d'efflusso (pari a 0.6)

- A è la luce di efflusso (incognita da determinare)
- h è il carico sulla luce, in particolare riguardo a tale dato si deve considerare che indipendentemente dalla tipologia dei fossi esso può assumere il valore massimo tale per cui si abbia un franco idraulico di sicurezza di 5-10 cm.

Nel caso di fossi non arginati verrà considerato anche l'apporto delle acque meteoriche defluenti dai campi circostanti, per una fascia di terreno di 5 metri, considerando un coefficiente di deflusso pari a $\varphi = 0.30$.

Oltre ai vincoli rappresentati dai limiti allo scarico sopra menzionati, occorre dimensionare i fossi di scolo delle acque di piattaforma autostradale garantendo sempre un volume di laminazione almeno pari a 500 m³/ha di superficie impermeabilizzata.

La continuità dei fossi di guardia in corrispondenza degli accessi ai fondi agricoli sarà garantita mediante tombini in CLS che garantiscano il mantenimento del volume di laminazione specifico per metro lineare proprio del fosso a cui devono dare continuità, per assolvere a tale scopo verranno posti in opera tombini con diametri compresi fra Ø500 e Ø1000.

Nell' ALLEGATO III – DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA si riportano i dati di calcolo e le dimensioni di progetto dei fossi di guardia.

Nel tratto B è stato necessario, localmente, ripristinare i fossi di guardia stradali esistenti a causa dell'allargamento della strada esistente, laddove il tracciato di progetto della nuova infrastruttura interessa la strada esistente; i fossi ripristinati sono in terra, a sezione trapezia, con base minore e altezza pari a 0.5 metri e pendenza delle sponde 1/1.

ALLEGATO I – CALCOLO DEL VELO IDRICO

Pk inizio tratto - Pk fine tratto			0+031.590-0+041.630	0+041.630-0+318.660	0+318.660-0+366.640	0+366.640-0+468.490	0+468.490-0+674.260	0+674.260-0+800.000	0+800.00-0+870.000	0+870.00-1+000.000	0+1000.00-0+1248.820	0+1248.82-1+560.000	1+560.00-1+615.780	1+615.780-1+639.280
Sezioni			2 3	3 10	10 11	11 14	14 23	23 26	26 28	28 31	31 37	37 44	44 46	46 47
Lunghezza falda stradale	W _f	m	4.75	9.50	9.50	9.50	4.75	9.50	4.75	4.75	9.50	9.50	4.75	5.25
Pendenza longitudinale	S _l	m/m	0.02	0.002	0.002	0.0015	0.0015	0.0165	0.0167	0.00012	0.0001	0.0001	0.02	0.02
Pendenza trasversale	S _t	m/m	0.025	0.07	0.07	0.07	0.025	0.064	0.025	0.025	0.052	0.064	0.025	0.020
Calcolo del percorso del ruscellamento	L _{eff}	m	5.1	9.5	9.5	9.5	4.8	9.8	5.7	4.8	9.5	9.5	6.1	7.4
Calcolo della pendenza fittizia	i	m/m	0.032	0.070	0.070	0.070	0.025	0.066	0.030	0.025	0.052	0.064	0.032	0.028
Altezza velo liquido in assenza asfalto drenante	h _{lim}	mm	3.0	3.2	3.2	3.2	2.8	3.3	3.0	2.8	3.4	3.3	3.0	3.4

ALLEGATO II – INTERASSI SCARICHI

Pk inizio tratto - Pk fine tratto				0+031.590-0+041.630	0+041.630-0+318.660	0+318.660-0+366.640	0+366.640-0+468.490	0+468.490-0+674.260	0+674.260-0+800.000	0+800.00-0+870.000	0+870.00-1+000.000	0+1000.00-0+1248.820	0+1248.82-1+560.000	1+560.00-1+615.780	1+615.780-1+639.280
Sezioni				2 3	3 10	10 11	11 14	14 23	23 26	26 28	28 31	31 37	37 44	44 46	46 47
Larghezza piattaforma drenata	W	m		4.75	9.50	9.50	9.50	4.75	9.50	4.75	4.75	9.50	9.50	4.75	8.00
Pendenza stradale trasversale	i	m/m		0.025	0.07	0.07	0.07	0.025	0.064	0.025	0.025	0.052	0.064	0.025	0.020
Angolo sulla verticale	θ	gradi		88.57	86.00	86.00	86.00	88.57	86.32	88.57	88.57	87.03	86.32	88.57	88.85
Larghezza banchina allargata	b	m		1	1	1	1	1	1	1	1	1.25	1.25	1	1
Altezza d'acqua massima ammissibile	h	m		0.0250	0.07	0.07	0.07	0.025	0.0643	0.025	0.03125	0.06475	0.080375	0.025	0.02
Pendenza stradale longitudinale	p	m/m		0.02	0.002	0.002	0.0015	0.0015	0.0165	0.0167	0.00012	0.0001	0.0001	0.02	0.02
Area di deflusso	Ad	m ²		0.013	0.035	0.035	0.035	0.013	0.032	0.013	0.020	0.040	0.050	0.013	0.010
Raggio idraulico banchina	R	m		0.012	0.033	0.033	0.033	0.012	0.030	0.012	0.015	0.031	0.038	0.012	0.010
Coefficiente di Strickler	Ks	m ^{1/3} /s		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Portata longitudinale convogliata dalla banchina	Q	l/s		7.02	11.99	11.99	10.38	1.92	30.00	6.42	0.99	2.98	4.23	7.02	4.86
Velocità di deflusso in cunetta	v	m/s		0.56	0.34	0.34	0.30	0.15	0.93	0.51	0.05	0.07	0.08	0.56	0.49
Calcolo interassi scarico acque miste															
Coefficiente idrometrico	u	421	l/s/ha	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421
Portata drenata/m	Q		l/s/m	0.200	0.400	0.400	0.400	0.200	0.400	0.200	0.200	0.400	0.400	0.200	0.337
Interasse scarichi			m	36.147	29.999	29.999	25.980	9.625	75.076	32.117	4.936	7.453	10.597	36.147	14.435
Verifica interasse embrici															
Carico idrico	h	0.053	m	0.03	0.07	0.07	0.07	0.03	0.06	0.03	0.03	0.06	0.08	0.03	0.02
Portata sforata embrice	Q		l/s	12.277	57.519	57.519	57.519	12.277	50.639	12.277	17.157	51.171	70.770	12.277	8.784
Interasse embrici	Xe		m	61.44	143.93	143.93	143.93	61.44	126.71	61.44	85.86	128.05	177.09	61.44	26.10
Progetto															
Interasse elementi raccolta mista	m			30	30	30	30	10	30	30	10	10	10	30	10

ALLEGATO III – DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA

progressiva di monte	progressiva di valle	lato strada	base minore [m]	altezza [m]	base maggiore [m]	pendenza fondo scorrevole	N° elementi di regolazione	φ orificio [mm]
0031	0318	dex	1	0.5	2.5	0.05	1	25
0318	0484	dex	0.5	0.5	2	0.05	1	40
0484	0781	dex	0.5	0.6	2.3	0.1	1	35
0800	1190	dex	0.5	0.5	2	0.05	1	35
0031	0342	sin	0.5	0.5	2	0.05	1	20
0366	0781	sin	0.5	0.5	2	0.05	1	35
0800	1170	sin	0.5	0.6	2.3	0.05	1	45