



# AEROPORTO FONTANAROSSA CATANIA

## LAVORI DI: REALIZZAZIONE NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO VIABILITA' AEROPORTUALE A NUOVA STAZIONE FERROVIARIA RFI E OPERE CONNESSE

### PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTO - SAC S.p.A.  
Area Engineering



ing. Luigi Bonfiglio



geom. Vincenzo Mommo

ing. Domenico Cocina



arch. Giusi M.G. Nicotra

### RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE E OPERE IDRAULICHE

Cod. MIA: -----

Cod. CdP: -----

DATA PROGETTO Agosto 2019

AGGIORNAMENTI

Numerazione Tavola

PES-SSF-RT\_DPFOI

SCALA:

L'ACCOUNTABLE MANAGER  
ing. Antonio Palumbo



P.H. PROGETTAZIONE INFRASTRUTTURE E SISTEMI  
ing. Luigi Bonfiglio



P.H. AREA DI MOVIMENTO  
ing. Gianluca Storaci



P.H. MANUTENZIONE INFRASTRUTTURE E SISTEMI  
geom. Andrea Musumarra



P.H. TERMINAL  
ing. Antonio Palumbo



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO



L'AMMINISTRAZIONE

L'IMPRESA



# DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE

## Premessa

La presente relazione riguarda il dimensionamento della sovrastruttura della costruenda strada per il collegamento della nuova fermata della stazione ferroviaria allo scalo aeroportuale, nelle aree cedute dal Demanio Militare Aeronautico all'Aviazione Civile.

La stessa strada servirà per l'accesso alle adiacenti aree militari.

Per il calcolo del dimensionamento della sovrastruttura stradale si sono tenuti conto dei seguenti fattori:

- Portanza del piano di posa del sottofondo;
- Resistenza meccanica dei singoli strati;
- Composizione ed entità del traffico valutato tra l'entrata in esercizio e il termine della vita utile dell'infrastruttura.

Il predimensionamento della pavimentazione è stato eseguito mediante l'utilizzo del "Catalogo delle pavimentazioni Stradali" redatto dal Consiglio Nazionale delle ricerche. La verifica della sovrastruttura stradale è stata eseguita attraverso l'algoritmo di calcolo della "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" basato sui risultati dell'esperimento AASHTO. Tale metodo empirico permette di calcolare, in funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la sovrastruttura, il numero di passaggi di assi standard del peso di 8,2 ton che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento ritenuto inaccettabile, in relazione all'affidabilità richiesta. Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, è necessario stabilire preliminarmente i coefficienti di equivalenza tra ciascun asse reale e quello standard determinati in funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali, degli spessori dei vari strati di pavimentazione e della portanza del sottofondo. Pertanto, determinato il numero di veicoli che transiteranno durante la vita utile dell'opera, si ottiene il numero di assi standard cumulato del peso di 8,2 ton. La verifica sarà soddisfatta se il numero totale di assi standard sopportabili dalla sovrastruttura stradale dimensionata risulta superiore al numero di assi standard che transiteranno durante l'intera vita utile dell'infrastruttura.

## Dati di progetto

Risultano fondamentali le sollecitazioni dovute al passaggio dei mezzi pesanti, rispetto alle quali si ritengono trascurabili quelle dovute al traffico leggero. Occorre tener presente che le sollecitazioni esercitate dai mezzi in transito sono diverse a seconda della distribuzione del carico massimo sui differenti assi e ruote; le sollecitazioni ripetute sono le più gravose, specialmente se l'azione della ruota viene esercitata sempre nello stesso punto. Questo fenomeno viene attenuato dalla dispersione rispetto alla traiettoria media dovuta a diversi aspetti: la larghezza della superficie di impronta del pneumatico, la larghezza delle corsie, il traffico e il fattore soggettivo del conducente.

Al fine di verificare la sovrastruttura nei confronti dell'istaurarsi di possibili fenomeni di fatica, legati al ripetersi dei carichi, interessa conoscere il numero cumulato di cicli che si verificherà lungo tutto l'arco della vita utile. Per valutare i valori cumulati a partire dai valori attuali occorre ipotizzare un tasso di accrescimento del traffico, che è stato assunto pari al 5% annuo.

Traffico Medio Giornaliero:	2.000 veic./gg;
incremento annuo:	5%;
veicoli commerciali:	30%;
tipo sottofondo:	limi organici;
vita utile:	30 anni;
percentuale veicoli per senso di marcia:	50%;
dispersione traiettoria:	80%;
tipo di strada:	extraurbana secondaria tipo C.

Il numero di veicoli commerciali cumulato durante la vita utile dell'infrastruttura è definito dalla seguente formula:

$$VC_c = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot d \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r};$$

di cui:

- TGM: traffico giornaliero medio;
- pd: distribuzione del traffico per senso di marcia;
- p: percentuale di veicoli commerciali;
- d: dispersione della traiettoria;
- r: tasso di accrescimento annuo del traffico.

Per cui il numero di veicoli commerciali cumulato durante la vita utile dell'infrastruttura è pari a:

$$VC_c = 365 \cdot 2.000 \cdot 0,50 \cdot 0,30 \cdot 0,80 \cdot \frac{(1+0,05)^{30} - 1}{0,05} = 5.820.043 \text{ veicoli.}$$

La pavimentazione considerata è del tipo flessibile, costituita dai seguenti strati: usura, collegamento, base, fondazione e sottofondazione.

Gli strati superficiali devono avere elevata resistenza meccanica a compressione, flessione e taglio, elevata aderenza e devono essere impermeabili. Lo strato di base deve avere elevata resistenza ai fenomeni di fatica e all'ormaiamento. Gli strati di fondazione devono trasferire i carichi al terreno.

Le condizioni climatiche considerate sono relative all'Italia Meridionale, riferite a zone la cui altitudine è inferiore ai 1000 m s.l.m., al di sotto di tale quota la profondità di penetrazione del gelo non supera lo spessore medio delle sovrastrutture stradali.

*Condizioni climatiche di progetto per l'Italia Meridionale.*

	Temperatura media stag. dell'aria °C	Escursione termica media stag. giorn. °C	Radiazione solare media stag. Kcal/m <sup>2</sup> ,d	Altezza di pioggia media annua mm	Velocità media del vento annua km/h
Inverno	11.57	8.70	3223	1047	21.31
Primavera	15.47	11.70	6120	1047	21.31
Estate	25.31	14.31	6739	1047	21.31
Autunno	19.57	10.70	4097	1047	21.31

Nelle pavimentazioni flessibili e semirigide il parametro fondamentale è la temperatura media dello strato, che modifica le caratteristiche reologiche dei materiali costituenti data la loro elevata suscettibilità termica, le variazioni giornaliere si mantengono in genere entro limiti abbastanza contenuti (10-15°C), per cui si possono ritenere ininfluenti sulle caratteristiche meccaniche degli strati superficiali.

A seguire si illustrano le granulometrie che devono possedere i vari strati con le caratteristiche fisiche dei materiali:

*Figura 1 Granulometria per strato di usura (Ø max (10-15mm)-(15-25mm))*

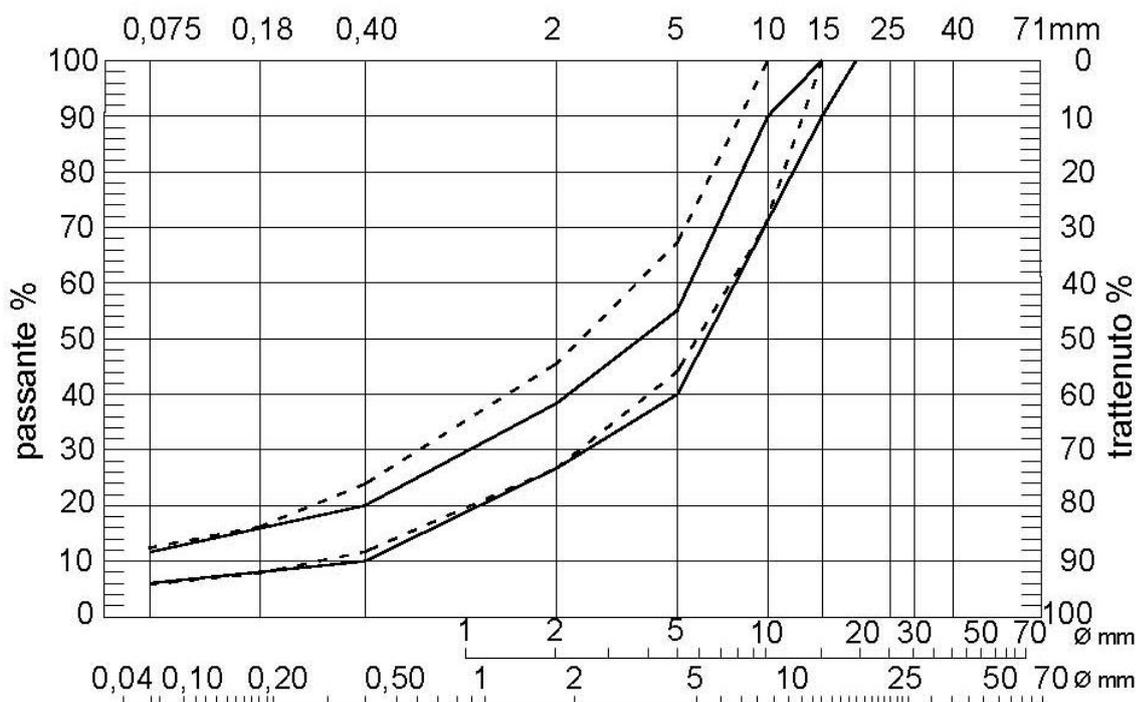


Figura 1 Granulometria per strato intermedio ( $\varnothing$  max 15-25mm)

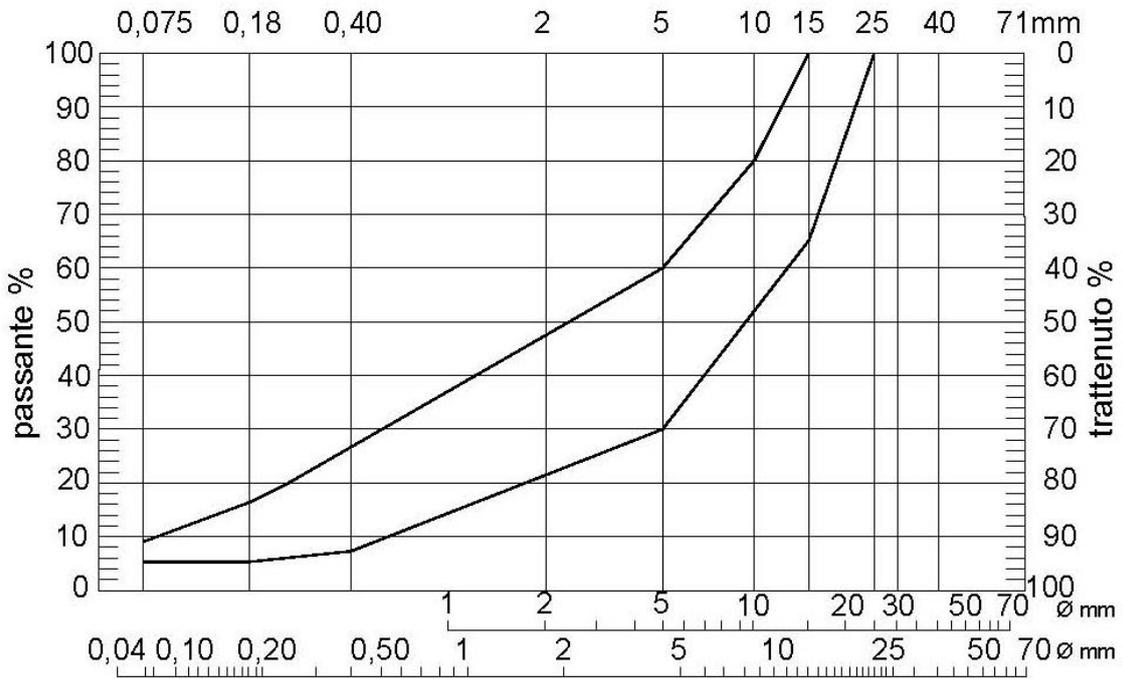


Figura 3 Granulometria per strato di base ( $\varnothing$  max 25-40mm)

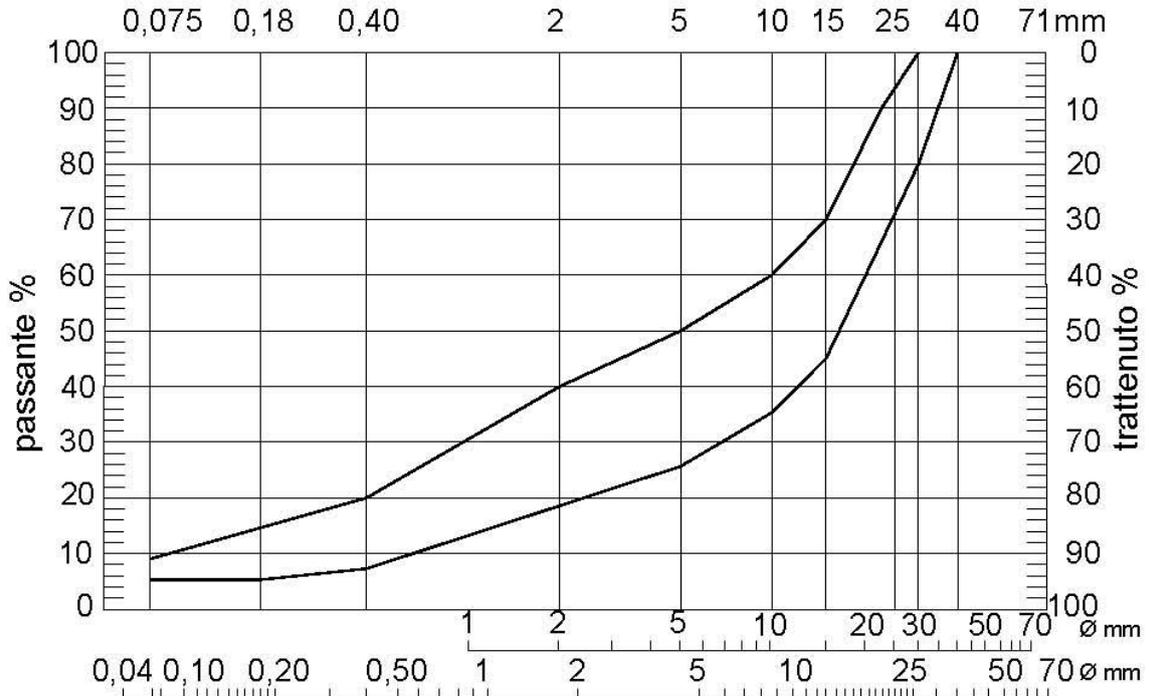


Tabella 1 Caratteristiche dei materiali costituenti gli strati

Conglomerato bituminoso per strato di usura						
traffico (1)	granulometria (2)	bitume %	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall %
			(kg)	(daN)		
PP	fig.1	4,5÷6	≥1100	≥1080	300÷450	4÷6
PP	fig.1	4,5÷6	≥1100	≥1080	300÷450	4÷6
M	fig.1	4,5÷6	≥1000	≥980	>300	3÷6
L	fig.1	4,5÷6	≥1000	≥980	>300	3÷6
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 97%						

Conglomerato bituminoso per strato di collegamento						
traffico (1)	granulometria (2)	bitume %	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall %
			(kg)	(daN)		
PP	fig.2	4,5÷5,5	≥1000	≥980	300÷450	3÷6
PP	fig.2	4,5÷5,5	≥1000	≥980	300÷450	3÷6
M	fig.2	4÷5,5	≥900	≥880	>300	3÷7
L	fig.2	4÷5,5	≥900	≥880	>300	3÷7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						

Conglomerato bituminoso per strato di base						
traffico (1)	granulometria (2)	bitume %	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall (kg/mm)	vuoti residui Marshall %
			(kg)	(daN)		
PP	fig.3	4÷5	≥800	≥780	>250	4÷7
PP	fig.3	4÷5	≥800	≥780	>250	4÷7
M	fig.3	3,5÷4,5	≥700	≥690	>250	4÷7
L	fig.3	3,5÷4,5	≥700	≥690	>250	4÷7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						

Misto granulare non legato	
CBR (dopo 4 giorni di immersione in acqua)	CBR ≥ 30%
Densità (rispetto alla densità AASHTO modificata)	≥ 98%

Misto cementato		
	Pav. Semirigida	Pav. Rigida
Classe di cemento	325	325
Contenuto di cemento	2,5÷3,5 %	2,5÷5 %
Resistenza media alla compressione a 7 giorni	2,5 ≤ σ <sub>m</sub> ≤ 4,5 N/mm <sup>2</sup>	4,0 ≤ σ <sub>m</sub> ≤ 7,0 N/mm <sup>2</sup>

Conglomerato cementizio		
	STRADE PRINCIPALI	STRADE SECONDARIE
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>cfm</sub> = 5,5 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cfm</sub> = 4,0 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	E = 47.000 N/mm <sup>2</sup>	E = 34.000 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	ν = 0,2	ν = 0,2

(1) Traffico (T) in numero di veicoli commerciali per giorno sulla corsia più caricata:

PP (molto pesante)	T > 3000 autoveicoli commerciali, ovvero	T > 21900000
P (pesante)	1100 < T < 3000 autoveicoli commerciali, ovvero	8030000 < T < 21900000
P (medio)	450 < T < 1100 autoveicoli commerciali, ovvero	3285000 < T < 8030000
L (leggero)	T < 450 autoveicoli commerciali, ovvero	T < 3285000

(2) Le caratteristiche degli aggregati delle miscele da adottare sono riferite alle stesse indicate dalle norme CNR per le diverse categorie di traffico, individuate in funzione del traffico commerciale complessivo di cui alla nota (1)

## Portanza del sottofondo

La portanza di un terreno rappresenta la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni. La necessità di avere deformazioni contenute del sottofondo, al fine di garantire la regolarità del piano viabile e consentire un'accettabile vita utile della sovrastruttura, condiziona lo spessore complessivo della pavimentazione.

La portanza dipende da una serie di fattori:

- natura, porosità e contenuto d'acqua del terreno;
- entità, area di impronta, velocità di applicazione e numero di applicazioni del carico.

I parametri modulo resiliente  $M_r$  e modulo di deformazione  $M_d$  rappresentano la capacità portante del sottofondo, in mancanza di prove sperimentali si ricavano a partire dalla classifica per i terreni di sottofondo di Casagrande, dove in funzione del materiale che costituisce il sottofondo si ottiene il CBR di laboratorio. Nel caso specifico, in presenza di limi organici, il CBR varia da 4 a 8, si considera **CBR=4**. Da questo valore si ricava il modulo resiliente, attraverso il monogramma di Giannini e Ferrari, riportato nel catalogo la "*Portanza dei sottofondi*", che risulta  **$M_r=30$  MPa**, al quale corrisponde, in base a correlazioni teorico sperimentali un valore di modulo di deformazione  **$M_d=15$  MPa**.

*Si osserva che in presenza di terreni di scadente capacità portante ( $M_r=30$ MPa), nei casi di autostrade, strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, nonché per le strade urbane di scorrimento, le schede di Catalogo prevedono il ricorso ad interventi di bonifica del terreno di sottofondo al fine di garantire la conservazione della regolarità del piano di posa della sovrastruttura sotto il traffico di cantiere e di favorire il costipamento degli strati della pavimentazione.*

*Nei casi in cui lo strato inferiore della pavimentazione è legato, la parte superficiale del sottofondo sarà costituita da uno strato di raggugliamento in misto granulare non legato dello spessore minimo di 10 cm.*

Figura 4 Classifica di Casagrande

tipo di terra	sigla	NOOME	Comportamento come fondazione	Comportamento come strato di base	Azione del gelo	Compressibilità ed espansione	Caratteristiche del drenaggio	Macchine per il costipamento	Peso per unità di volume ( $\gamma / m^3$ )	C B R	K (MPa/m)
terru a grana grossa ( terre ghiaioso-sabbiose ) CBR ghiaia o terreno ghiaioso	GV	Ghiaia o ghiaia sabbiosa ben graduata	eccellente	buono	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommato Trattore cingolato	20.000 - 22.500	60 - 80	≥ 80
	GP	Ghiaia o ghiaia sabbiosa poco graduata	da eccellente a buono	da scadente a discreto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommato Trattore cingolato	19.000 - 21.000	35 - 60	≥ 60
	GU	Ghiaia o ghiaia sabbiosa uniforme	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato Trattore cingolato	18.500 - 20.000	25 - 60	≥ 80
	GH	Ghiaia limosa o ghiaia sabbia limosa	da eccellente a buono	da discreto a buono	da lieve a media	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	21.000 - 23.000	40 - 60	≥ 80
	GC	Ghiaia argillosa o ghiaia sabbia argillosa	buono	scadente	da lieve a media	lieve	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 22.500	20 - 40	≥ 80
	SV	Sabbia o sabbia ghiaiosa ben graduata	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato Trattore cingolato	17.500 - 21.000	20 - 40	60 - 80
	SP	Sabbia o sabbia ghiaiosa poco graduata	da discreto a buono	scadente o inadatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato Trattore cingolato	17.000 - 19.000	15 - 25	60 - 80
	SU	Sabbia o sabbia ghiaiosa uniforme	da discreto a buono	non adatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato Trattore cingolato	16.000 - 18.500	10 - 20	60 - 80
terru a grana fine ( terre limo-argillose ) CBR elevata compressibilità Il < 50	SH	Sabbia limosa o sabbia limo-ghiaiosa	buono	scadente	da lieve a bassa	molto lieve	da discreta a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 21.500	20 - 40	60 - 80
	SC	Sabbia argillosa o sabbia argillosa-ghiaiosa	da discreto a buono	non adatto	da lieve a bassa	da lieve a media	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	17.000 - 21.000	10 - 20	60 - 80
	HL	Limo, sabbia limosa, limo ghiaioso	da discreto a scadente	non adatto	da media a molto bassa	da lieve a media	da discreta a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
	CL	Argille magre argille sabbiose o ghiaiose	da discreto a scadente	non adatto	da media a bassa	media	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
terru a grana fine ( terre limo-argillose ) CBR Basse compressibilità Il > 50	OL	Limi organici o argille organiche magre	scadente	non adatto	da media a bassa	da media a bassa	scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	4 - 8	30 - 60
	HL	Argille ricche	scadente	non adatto	da media a molto bassa	bassa	da discreta a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 16.000	4 - 8	30 - 60
	CH	Argille grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	11.500 - 17.500	3 - 5	15 - 30
	OH	Argille organiche grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 17.000	3 - 5	15 - 30
Torba o altre terre organ. di fibre	pt	Torba, humus ed altro	non adatto	non adatto	lieve	molto bassa	da discreta a scadente	non eseguibile il costipamento	—	—	—

## Predimensionamento

Il Catalogo delle pavimentazioni stradali offre un ventaglio di soluzioni di sovrastrutture stradali di varie tipologie valide per le condizioni di traffico ambientali tipiche dell'Italia. L'ambito di applicazione del Catalogo riguarda la progettazione di nuove sovrastrutture e risulta valido per tutto il territorio nazionale purché ad altitudini inferiori a 1000 metri s.l.m. In funzione del numero totale di veicoli commerciali transitanti fino all'ultimo anno di vita utile dell'opera pari a 5.820.043, del modulo resiliente del sottofondo pari a 30 MPa, e della tipologia di strada, il Catalogo fornisce i seguenti dati:

Tabella 2 Dimensionamento strada extraurbana secondaria da Catalogo delle Pavimentazioni Stradali

N. 4SR	STRADE EXTRAURBANE SECONDARIE – ORDINARIE					
	Numero di passaggi di veicoli commerciali					
Modulo resiliente del sottofondo	400.000	1.500.000	4.000.000	10.000.000	25.000.000	45.000.000
150 N/mm. <sup>2</sup>	PAVIMENTAZIONE SEMPREVA NON ADATTA AL TIPO ED ENTITA' DEL TRAFFICO				TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA	
90 N/mm. <sup>2</sup>	PAVIMENTAZIONE SEMPREVA NON ADATTA AL TIPO ED ENTITA' DEL TRAFFICO					
30 N/mm. <sup>2</sup>	PAVIMENTAZIONE SEMPREVA NON ADATTA AL TIPO ED ENTITA' DEL TRAFFICO					



CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI USURA



CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI COLLEGAMENTO



CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI BASE



MISTO CEMENTATO



MISTO GRANULARE NON LEGATO

NB. Gli spessori sono indicati in cm.

Si scelgono i seguenti spessori:

- Conglomerato bituminoso per strato di usura                      cm 5;
- Conglomerato bituminoso per strato di collegamento      cm 8;
- Conglomerato bituminoso per strato di base                    cm 10;
- Misto cementato    cm 25;
- Misto granulare non legato:    cm 30.

## Calcolo dello Structural Number (SN)

Lo "structural number" SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione. Esso è funzione degli spessori degli strati  $s_i$ , della resistenza dei materiali impiegati rappresentata attraverso i "coefficienti strutturali di strato"  $a_i$ , e della loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i coefficienti di drenaggio  $m_i$ .

L'espressione analitica è la seguente:

$$SN = \sum_i a_i \cdot m_i \cdot s_i$$

Con:

$i$  il numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;

$a_i$  un coefficiente che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione delle caratteristiche del materiale, e sono stati ricavati dai monogrammi presenti sull'AASHTO GUIDE in funzione della stabilità Marshall scelta per i rispettivi strati;

$s_i$  lo spessore dello strato  $i$ esimo;

$m_i$  un coefficiente funzione della qualità del drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale la pavimentazione è esposta a livelli di umidità prossimi alla saturazione, che viene considerato pari a 1 poiché gli strati in conglomerato bituminoso, o realizzati con materiali legati, non sono influenzati da un eventuale cattivo drenaggio o dall'esposizione a condizioni di saturazione.

Il contributo del sottofondo viene valutato a partire dalla sua capacità portante CBR e solo per valori  $CBR \geq 3$  con la seguente relazione:

$$SNSG = 3,51 \cdot \log_{10} CBR - 0,85 \cdot (\log_{10} CBR)^2 - 1,43$$

Lo Structural Number è stato valutato a partire dai coefficienti rappresentati in tabella 3, come di seguito riportato:

Strati	(cm)	(inches)	ai	mi	sni
Usura	5	1,97	0,425	1	0,84
Binder	8	3,15	0,300	1	0,94
Base	10	3,94	0,200	1	0,79
Misto cementato	25	9,84	0,160	1	1,57
Misto granulare non legato	30	11,81	0,040	1	0,47
Sottofondo (SNSG)					0,38
SN					4,99

Tabella 3 Coefficienti strutturali di strato

Pavement Layer	Layer Strength Coefficient a <sub>i</sub>				Cenk and Patrick (1994)
	TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	CRRi (1993b)	
<b>Surface Courses</b>					
Surface Treatment (ST)			0.20 - 0.40		0.300
Surface Dressing (SSD/DSD)	0.100				
Premix Carpet (PMC)				0.180	
Semi-Dense Carpet (SDC), 25mm Asphalt Mixture (cold/hot premix of low stability)	0.200		0.200	0.250	0.200
Asphalt Concrete (AC), 25 mm	0.180				
Asphalt Concrete (AC), 40/ 25 mm				0.300	
AC, MR30 = 1500 MPa			0.300		0.300
AC, MR30 = 2500 MPa			0.400		0.400
AC, MR30 = 4000 MPa			0.500		0.450
Elastic Mod. at 68F, E = 100,000 psi		0.200			
Elastic Mod. at 68F, E = 200,000 psi		0.300			
Elastic Mod. at 68F, E = 300,000 psi		0.350			
Elastic Mod. at 68F, E = 400,000 psi		0.425			
<b>Base Courses</b>					
GB, CBR = 30%	0.070	0.095	0.00-0.07		
GB, CBR = 50%	0.100	0.110	0.00-0.10		
GB, CBR = 70%	0.120	0.125	0.10-0.12		
CBR = 90%	0.135	0.130	0.12-0.13		
CBR = 110%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam (WBM)				0.140	0.140
CB, UCS = 0.7 MPa	0.100	0.100	0.100		
CB, UCS = 2.0 MPa	0.150	0.140	0.150		
CB, UCS = 3.5 MPa	0.200	0.175	0.200		
CB, UCS = 5.0 MPa	0.245	0.205	0.240		
Bituminous Base Material			0.320		
Dense Bituminous Macadam/ Built-Up Spray Grout (BUGG)				0.200	
Thin Bituminous Layer, BT				0.160	
AB, Marshall Stability, 200 lb		0.120			
AB, Marshall Stability, 400 lb		0.160			
AB, Marshall Stability, 800 lb		0.200			
AB, Marshall Stability, 1200 lb		0.240			
<b>Sub-base Courses</b>					
GB, CBR = 5%	0.055	0.040	0.060		
GB, CBR = 15%	0.085	0.090	0.090		
GB, CBR = 25%	0.100	0.100	0.100		
GB, CBR = 50%	0.120	0.130	0.120		
GB, CBR = 100%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam, Oversized				0.140	
Brick Soling				0.120	
Brick Ballast/ Aggregates				0.120	
Local Gravel/ Kankar				0.100	
Cemented Materials.			0.140		

Source: Chakrabarti and Bennett (1994)

## Calcolo del traffico in assi standard equivalenti ( $N_{8,2ton}$ )

Stimato il numero di veicoli commerciali transitanti alla fine della vita utile, per calcolare il numero di assi standard equivalenti, si è fatto ricorso ai coefficienti di equivalenza e allo spettro di traffico suggerito dal catalogo delle pavimentazioni (tab.4) con riferimento alle classi di veicoli e ai loro carichi per asse (tab.5)

Tabella 4 Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) autostrade extraurbane	12.2	----	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	----	----	12.2
2) " urbane	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico	----	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	----	----	10.5
4) strade extraurb. second. ordin.	----	----	58.8	29.4	----	5.9	----	2.8	----	----	----	----	0.2	----	----	2.9
5) " extr. second.-turistiche	24.5	----	40.8	16.3	----	4.15	----	2	----	----	----	----	0.05	----	----	12.2
6) " urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1.6	18.2	27.3	----
7) " " di quartiere e locali	80	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	20	----	----
8) corsie preferenziali	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	47	53	----

Tabella 5 Tipo di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN		
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20	
2) " "	"	↓15	↓30	
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80	
4) " " "	"	↓50	↓110	
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80
6) " "	"	↓60	↓100	↓100
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80 ↓80
8) " "	"	↓60	↓100	↓100 ↓100
9) " "	5	↓40	↓80 ↓80	↓80 ↓80
10) " "	"	↓60	↓90 ↓90	↓100 ↓100
11) " "	"	↓40	↓100	↓80 ↓80 ↓80
12) " "	"	↓60	↓110	↓90 ↓90 ↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130 ↓130 ↓130
14) autobus	2	↓40	↓80	
15) " "	2	↓60	↓100	
16) " "	2	↓50	↓80	

La strada in progetto è una strada extraurbana secondaria ordinaria. Si è utilizzato il criterio definito dall'AASHTO per convertire il traffico in numero di passaggi di assi standard (80kN=8,2ton) equivalenti tramite la relazione:

$$N_{8,2} = VC_C \cdot C_{SN}$$

di cui:

$VC_C$  è il numero di veicoli commerciali cumulato che transiteranno durante la vita utile dell'opera;

$C_{SN}$  è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso  $P_i$  e tipologia  $T_i$  (tab.5), e l'asse singolo standard da 8,2 ton, è definito dalla seguente relazione:

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-A}$$

con

$$A = \left\{ 4,79 \cdot [\log(18 + 1) - \log(0,225 \cdot P_i + T_i)] + 4,33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

di cui:

$$G = \log \frac{PSI_{in} - PSI_{fin}}{2,7};$$

$$B_i = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (0,225 \cdot P_i + T_i)^{3,23}}{\left( \frac{SN}{2,54} + 1 \right)^{5,19} \cdot T_i^{3,23}};$$

$B^*$  è il valore che  $B_i$  assume per gli assi da 8,2 ton;

$PS_{in}$  e  $PS_{fin}$  rappresentano lo stato limite della pavimentazione definito attraverso il parametro PSI definito grado di efficienza della pavimentazione, noto come Present Serviceability Index. Esprime la misura della idoneità della pavimentazione ad assicurare la sicurezza della circolazione e le condizioni di confort per gli utenti. Assume valori numerici compresi tra 0 per le strade in pessime condizioni e 5 per le strade in ottime condizioni. Il grado di efficienza ritenuto accettabile per le strade extraurbane principali, prima che si rendano necessari radicali interventi è  $PS_{fin}=2,5$ , mentre si assume un valore  $PS_{in}=4,2$  per tenere conto delle imperfezioni di costruzione;

SN è lo Structural Number definito sopra.

Dai calcoli eseguiti, per la tipologia di strada e lo spettro di traffico suggerito dal Catalogo, si ottengono i seguenti risultati:

Tabella 6 Calcolo del coefficiente di equivalenza per strada extraurbana secondaria, con i parametri di progetto assegnati.

TIPO VEICOLO	n	Pi (kN)	Ti	Bi	CSNi	n x CSNi		
AUTOCARRI LEGGERI	1	0	10	1	0,412942255	0,000287666	0	
	1	0	20	1	0,470794284	0,003115427	0	
	2	0	15	1	0,433805381	0,001132017	0	
	2	0	30	1	0,614324197	0,012800544	0	
AUTOCARRI MEDI E PESANTI	3	58,8	40	1	0,888232523	0,034404822	0,020230035	
	3	58,8	80	1	4,281511142	0,492695944	0,289705215	
	4	29,4	50	1	1,340386255	0,076293615	0,022430323	
	4	29,4	110	1	10,76184687	1,980228071	0,582187053	
AUTOCARRI PESANTI	5	0	40	1	0,888232523	0,034404822	0	
	5	0	160	2	4,281511142	0,677723874	0	
	6	5,9	60	1	2,021232694	0,152327372	0,008987315	
	6	5,9	200	2	8,112157694	1,782703313	0,105179495	
AUTOTRENI E AUTOARTICOLAT I	7	0	40	1	0,888232523	0,034404822	0	
	7	0	90	1	5,971806994	0,816801029	0	
	7	0	80	1	4,281511142	0,492695944	0	
	7	0	80	1	4,281511142	0,492695944	0	
	8	2,8	60	1	2,021232694	0,152327372	0,004265166	
	8	2,8	100	1	8,112157694	1,296000812	0,036288023	
	8	2,8	100	1	8,112157694	1,296000812	0,036288023	
	8	2,8	100	1	8,112157694	1,296000812	0,036288023	
	9	0	40	1	0,888232523	0,034404822	0	
	9	0	160	2	4,281511142	0,677723874	0	
	9	0	160	2	4,281511142	0,677723874	0	
	10	0	60	1	2,021232694	0,152327372	0	
	10	0	180	2	5,971806994	1,123543972	0	
	10	0	200	2	8,112157694	1,782703313	0	
	11	0	40	1	0,888232523	0,034404822	0	
	11	0	100	1	8,112157694	1,296000812	0	
	11	0	240	3	4,281511142	0,816685348	0	
	MEZZI D'OPERA	12	0	60	1	2,021232694	0,152327372	0
12		0	110	1	10,76184687	1,980228071	0	
12		0	270	3	5,971806994	1,353917037	0	
AUTOBUS	13	0,2	50	1	1,340386255	0,076293615	0,000152587	
	13	0,2	120	1	13,98148153	2,928735317	0,005857471	
	13	0,2	390	3	17,83290166	6,979751394	0,013959503	
	14	0	40	1	0,888232523	0,034404822	0	
	14	0	80	1	4,281511142	0,492695944	0	
	15	0	60	1	2,021232694	0,152327372	0	
	15	0	100	1	8,112157694	1,296000812	0	
	16	2,9	50	1	1,340386255	0,076293615	0,002212515	
	16	2,9	80	1	4,281511142	0,492695944	0,014288182	
							1,178318929	CSN

Pertanto il numero di *assi standard equivalenti* transitanti durante la vita utile è pari a:

$$N_{8,2} = 5.820.043 \cdot 1,178 = 6.856.010$$

## Calcolo del traffico sopportabile ( $W_{18}$ )

L'equazione per il calcolo del traffico sopportabile in termini di assi standard equivalenti da 8,2 ton dalle pavimentazioni flessibili, è la seguente:

$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{PSI_{in} - PSI_{fin}}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log M_r - 8,07$$

che tiene conto rispettivamente del traffico di progetto, del grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento, del decadimento limite ammissibile della sovrastruttura e delle caratteristiche del sottofondo, con:

$W_{18}$  il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 18 Kpounds (8,2 ton) sopportabile;

$Z_r$  il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità, che rappresenta la probabilità che il numero di ripetizioni di carico relative al valore PSI ipotizzato sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni realmente applicate alla sovrastruttura;

$S_0$  la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e nelle prestazioni della pavimentazione; le indagini condotte dall'AASHTO raccomandano per le pavimentazioni di tipo flessibile e semirigido un valore compreso tra 0,40 e 0,50;

$PSI_{in}$  e  $PSI_{fin}$  i gradi di efficienza iniziale e finale della pavimentazione precedentemente definiti;

$M_r$  il modulo resiliente del sottofondo espresso in psi (l'AASHTO suggerisce di usare, per terreni a granulometria fine aventi un CBR saturo uguale o minore di 10, la seguente relazione:  $M_r = 1.500 \cdot CBR[psi]$ );

SN lo Structural Number.

Nel Catalogo Italiano delle Pavimentazioni vengono indicati i valori di affidabilità e del PSI differenziati secondo il tipo di strada, come da tabella sotto riportata:

Tabella 7 Affidabilità e PSI

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

Il valore della variabile standardizzata è stato ricavato dalla tabella che segue, in funzione dell'affidabilità considerata per il tipo di strada in oggetto (85%):

Tabella 8 Valori di  $Z_R$  in funzione del livello di affidabilità scelto

AFFIDABILITA' E PSI			
TIPO STRADA	AFFIDABILITA' %	PSI	$Z_R$
AUTOSTRADE EXTRAURB.	90	3	-1,282
AUTOSTRADE URB.	95	3	-1,645
STRADE EXTR. PRINC.E SECOND. A FORTE TRAFFICO	90	2,5	-1,282
STRADE EXTR. SECOND. ORDINARIE	85	2,5	-1,037
STRADE EXTR. SECOND. TURISTICHE	80	2,5	-0,841
STRADE URBANE DI SCORRIMENTO	95	2,5	-1,645
STRADE URBANE DI QUARTIERE E LOCALI	90	2	-1,282
CORSIE PREFERENZIALI	95	2,5	-1,645

Pertanto:

$$Z_r = -1,037; \quad S_0 = 0,45; \quad PSI_i = 4,2; \quad PSI_f = 2,5; \quad M_r = 6000 \text{psi};$$

Da cui si ottiene:

$$W_{18} = 8.036.972 > 6.856.010 \quad \text{Verifica soddisfatta.}$$



## DIMENSIONAMENTO OPERE IDRAULICHE

### Metodo di calcolo e dati pluviometrici

Per il calcolo delle portate delle acque meteoriche si è utilizzato il metodo cinematico o della corrivazione. Tale metodo, tiene conto del fenomeno del ritardo inteso come il tempo necessario al trasferimento dei volumi d'acqua che cadono nei vari punti dell'area colante fino alla sezione di chiusura.

Al fine di semplificare i calcoli si assume il modello lineare, vale a dire effettuare le seguenti ipotesi:

- la formazione della piena è dovuta solo al trasferimento di volumi d'acqua all'interno del bacino;
- ogni goccia che cade sulla superficie segue un percorso invariabile nel tempo che dipende solo dal punto in cui essa è caduta;
- la velocità con cui la goccia si muove lungo la superficie non è influenzata dalla presenza di altre gocce.

Tale metodo, calcola la portata massima  $Q_M$  al colmo per una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione, data dalla seguente formula:

$$Q_M = \frac{\varphi \cdot i \cdot S}{3600} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

con:

$\varphi$  il valore del coefficiente di afflusso del bacino;

$i$  l'intensità media di pioggia calcolata nel tempo di corrivazione;

$S$  la superficie del bacino espressa in  $m^2$ .

Il coefficiente di afflusso viene valutato dalla seguente formula:

$$\varphi = \varphi_{perm.} \cdot \left(1 - \frac{S_{imperv.}}{S_{tot}}\right) + \varphi_{imperv.} \cdot \frac{S_{imperv.}}{S_{tot}}$$

$\varphi_{imperv.}$  si assume pari a 0.90 per superfici in conglomerato bituminoso; si rileva che in assenza di superfici permeabili l'equazione si riduce a  $\varphi = \varphi_{imperv.}$ .

Il tempo impiegato da una goccia per raggiungere, dal punto in cui cade, la sezione di chiusura viene detto tempo di corrivazione. Si definisce tempo di corrivazione  $T_c$  dell'area colante, il tempo necessario di percorrenza di una particella d'acqua lungo il percorso idraulico più lungo dal bacino scolante fino al corso d'acqua in cui viene convogliata. Ai fini dell'applicazione del modello, il tempo di corrivazione del bacino scolante è dato dalla somma di un tempo di ruscellamento  $T_r$  e di un tempo di percorrenza  $T_p$ :

$$T_c = T_r + T_p = T_r + \frac{L}{V}$$

Il tempo di ruscellamento rappresenta il tempo di entrata delle acque in fognatura, dipende dalla pendenza e dalla natura dell'area, dal livello di realizzazione dei drenaggi minori, dall'altezza di pioggia precedente l'evento critico, ed è compreso solitamente tra i 5 e i 15 minuti, i valori più bassi per le aree di minore estensione più attrezzate e di maggiore pendenza, valori più alti negli altri casi.

Il tempo di percorrenza è il tempo impiegato dall'acqua a percorrere il collettore in condizioni di moto uniforme calcolato come rapporto  $L/V$  (percorso più lungo nella rete fognaria fino alla sezione di chiusura, che per l'area oggetto di studio coincide con il canale interrato sito all'interno dell'area Romagnoli), con velocità assunta pari a 1 m/s.

L'intensità media della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione si determina dalla seguente formula:

$$i = \frac{a}{T_c^{1-n}}$$

la quale si ricava a partire dalla formula del Massari:

$$h = aT_c^n$$

che mette in relazione l'altezza di pioggia e la durata, con l'intensità e la durata di eventi piovosi massimi verificatisi in una certa zona in un determinato periodo di tempo.

I parametri  $a$  ed  $n$  sono relativi alle curve di probabilità pluviometrica ottenuti a partire dai dati dei pluviografi più vicini all'area, ricavati tramite il metodo dei minimi quadrati, rendendo minima la somma degli scarti al quadrato tra le altezze di pioggia da interpolare e le corrispondenti altezze calcolate. Tali parametri sono messi a disposizione dal dipartimento regionale della protezione civile Regione Sicilia, per diversi tempi di ritorno e per tutte le stazioni pluviometriche del territorio regionale, come si evince dalla tabella in figura 1.



PARAMETRI a ED n DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA, PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO, DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE DEL TERRITORIO REGIONALE  
(DATI: ANNALI IDROLOGICI 1924-2002 - ELABORAZ. DRPC/SERVIZIO RIA)

BACINI MINORI TRA SIMETO E ALCANTARA																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
ACIREALE	2534582	4163718	194	63	38.3	0.37	46.7	0.37	56.0	0.37	67.7	0.37	79.0	0.37	85.4	0.37	90.0	0.37	93.5	0.37	104.4	0.37	115.3	0.37
CATANIA G.C. OO.MM	2528249	4150435	3	39	28.3	0.34	34.8	0.33	42.1	0.33	51.3	0.32	60.1	0.32	65.1	0.32	68.7	0.32	71.4	0.32	80.0	0.32	88.5	0.31
CATANIA IST. AGRARIO	2527063	4150810	75	17	28.9	0.35	33.9	0.37	39.3	0.38	46.1	0.39	52.6	0.40	56.4	0.40	59.0	0.40	61.1	0.40	67.4	0.41	73.6	0.41
LINGUAGLOSSA	2532713	4187998	560	33	36.3	0.46	42.8	0.46	50.1	0.46	59.2	0.47	68.0	0.47	73.0	0.47	76.6	0.47	79.4	0.47	87.9	0.47	96.3	0.47
NICOLOSI	2522347	4162944	698	15	30.6	0.46	37.7	0.44	45.6	0.42	55.4	0.41	64.9	0.40	70.3	0.39	74.1	0.39	77.1	0.39	86.2	0.38	95.3	0.38
PIEDIMONTE ETNEO	2535697	4184367	348	30	35.7	0.40	44.7	0.38	54.7	0.37	67.3	0.36	79.4	0.36	86.4	0.35	91.3	0.35	95.1	0.35	106.9	0.35	118.6	0.34
VIAGRANDE	2528950	4162800	405	18	33.4	0.37	41.5	0.35	50.6	0.34	62.1	0.33	73.1	0.32	79.4	0.31	83.8	0.31	87.3	0.31	97.9	0.31	108.5	0.30
ZAFFERANA	2529326	4171893	590	58	35.6	0.49	40.9	0.50	46.8	0.51	54.3	0.52	61.5	0.53	65.7	0.53	68.6	0.53	70.9	0.54	77.8	0.54	84.8	0.54
BACINO DEL FIUME TELLARO																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
CASTELLUCCIO	2512597	4087382	208	20	28.3	0.28	33.5	0.31	39.3	0.33	46.6	0.35	53.5	0.36	57.5	0.37	60.3	0.37	62.5	0.38	69.3	0.38	76.0	0.39
BACINO DEL FIUME TIMETO																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
SAN PIERO PATTI	2516976	4211792	440	32	26.7	0.37	31.6	0.36	37.1	0.36	44.0	0.36	50.6	0.36	54.3	0.36	57.0	0.36	59.1	0.36	65.5	0.36	71.9	0.36
BACINO DEL FIUME TORTO																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
ALIA	2406696	4181808	734	25	20.1	0.28	22.9	0.29	26.0	0.30	30.0	0.30	33.8	0.31	36.0	0.31	37.5	0.31	38.7	0.32	42.4	0.32	46.0	0.32
BIVIO CERDA	2413068	4200820	29	17	25.7	0.24	30.4	0.21	35.7	0.19	42.4	0.17	48.7	0.15	52.4	0.15	55.0	0.14	57.0	0.14	63.2	0.13	69.3	0.12
GIOIA	2411493	4175375	560	28	19.5	0.31	22.3	0.34	25.5	0.37	29.5	0.39	33.3	0.40	35.5	0.41	37.1	0.41	38.3	0.42	42.0	0.42	45.8	0.43
BACINI MINORI TRA TORTO E SAN LEONARDO																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
TERMINI IMERESE	2405380	4204940	75	32	25.5	0.28	31.0	0.26	37.1	0.25	44.8	0.23	52.2	0.22	56.4	0.22	59.4	0.22	61.7	0.22	68.9	0.21	76.0	0.21
BACINO DEL FIUME VERDURA																								
STAZIONE	X	Y	QUOTA	N.ro A.F.	TR= 2		TR= 3		TR= 5		TR= 10		TR= 20		TR= 30		TR= 40		TR= 50		TR= 100		TR= 200	
					a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
BURGIO	2369130	4162850	317	22	28.9	0.22	34.5	0.21	40.6	0.21	48.3	0.20	55.7	0.19	59.9	0.19	62.9	0.19	65.3	0.19	72.4	0.19	79.6	0.18
CHIUSA SCLAFANI	2367445	4171335	614	47	26.9	0.29	31.8	0.30	37.3	0.31	44.2	0.31	50.8	0.31	54.6	0.32	57.3	0.32	59.4	0.32	65.8	0.32	72.2	0.32
PALAZZO ADRIANO	2377042	4172209	679	57	24.8	0.33	29.2	0.33	34.1	0.33	40.3	0.33	46.2	0.33	49.7	0.33	52.1	0.33	53.9	0.33	59.7	0.33	65.4	0.33
PIANO DEL LEONE	2384674	4170397	831	46	23.4	0.33	28.1	0.32	33.3	0.32	39.9	0.32	46.3	0.31	49.9	0.31	52.4	0.31	54.4	0.31	60.5	0.31	66.6	0.31
RIBERA	2367282	4152104	230	17	34.1	0.19	41.7	0.19	50.1	0.19	60.8	0.20	71.0	0.20	76.9	0.20	81.0	0.20	84.2	0.20	94.2	0.20	104.0	0.20

Figura 2 Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica

Per lo studio delle piogge storiche si è considerato il dato della stazione pluviometrica più vicina, ovvero Catania Genio Civile, gestita dall'Ufficio Idrografico della Regione Sicilia. Considerando un tempo di ritorno di 30 anni, si sono individuati i valori di a ed n, rispettivamente pari a 65.1 e 0.32.

## Dimensionamento condotte

La portata massima  $Q_{\max}$  delle tubazioni circolari dipende:

- dalla sezione di scorrimento, detta sezione idraulica o sezione bagnata;
- dalla velocità di deflusso dell'acqua all'interno della condotta.

Per la valutazione delle portate e delle pendenze delle condotte orizzontali si è fatto riferimento alla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q_{\max} = v_{\max} \cdot A = K_s \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot A$$

dove

$v_{\max}$  = velocità massima di deflusso (m/s);

$K_s$  = coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler (o coefficiente di scabrezza) ( $m^{1/3}/s$ );

$i$  = pendenza (m/m);

$R_H$  = raggio idraulico, definito come il rapporto tra l'area bagnata e il perimetro bagnato (m);

$A$  = sezione idraulica o area bagnata ( $m^2$ ).

A seguire si mostra la tabella di calcolo delle portate delle condotte di scarico per pendenze variabili, in funzione del diametro interno e del relativo riempimento, riferite ad un coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, valido per tubi nuovi in Pe, PVC e PRFV:

								0,10%	0,20%	0,30%	0,40%	0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%	1,00%	1,20%	1,40%
D est	s	D int	empimen	h	A	P	R	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
mm	mm	m		m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>3</sup> /s											
110	6,4	0,104	50%	0,052	0,00421	0,163	0,026	0,0013	0,0018	0,0022	0,0026	<b>0,0029</b>	<b>0,0031</b>	<b>0,0034</b>	<b>0,0036</b>	<b>0,0039</b>	<b>0,0041</b>	<b>0,0044</b>	<b>0,0048</b>
110	6,4	0,104	70%	0,073	0,00630	0,205	0,031	0,0021	0,0030	0,0037	0,0043	<b>0,0048</b>	<b>0,0053</b>	<b>0,0057</b>	<b>0,0061</b>	<b>0,0064</b>	<b>0,0068</b>	<b>0,0074</b>	<b>0,0080</b>
110	6,4	0,104	80%	0,083	0,00723	0,229	0,032	0,0025	0,0035	0,0043	0,0050	0,0056	0,0061	0,0066	0,0071	0,0075	0,0079	0,0087	0,0094
110	6,4	0,104	100%	0,104	0,00843	0,325	0,026	0,0026	0,0036	0,0044	0,0051	0,0057	0,0063	0,0068	0,0073	0,0077	0,0081	0,0089	0,0096
160	9,4	0,151	50%	0,075	0,00891	0,237	0,038	0,0035	0,0049	0,0060	0,0070	<b>0,0078</b>	<b>0,0085</b>	<b>0,0092</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,0104</b>	<b>0,0110</b>	<b>0,0121</b>	<b>0,0130</b>
160	9,4	0,151	70%	0,105	0,01332	0,299	0,045	0,0058	0,0082	0,0101	0,0117	<b>0,0130</b>	<b>0,0143</b>	<b>0,0154</b>	<b>0,0165</b>	<b>0,0175</b>	<b>0,0184</b>	<b>0,0202</b>	<b>0,0218</b>
160	9,4	0,151	80%	0,120	0,01528	0,333	0,046	0,0068	0,0096	0,0118	0,0136	0,0152	0,0167	0,0180	0,0192	0,0204	0,0215	0,0236	0,0255
160	9,4	0,151	100%	0,151	0,01781	0,473	0,038	0,0070	0,0098	0,0121	0,0139	0,0156	0,0170	0,0184	0,0197	0,0209	0,0220	0,0241	0,0260
200	12,2	0,188	50%	0,094	0,01385	0,295	0,047	0,0063	0,0089	0,0109	0,0125	<b>0,0140</b>	<b>0,0154</b>	<b>0,0166</b>	<b>0,0177</b>	<b>0,0188</b>	<b>0,0198</b>	<b>0,0217</b>	<b>0,0235</b>
200	12,2	0,188	70%	0,131	0,02071	0,372	0,056	0,0105	0,0148	0,0182	0,0210	<b>0,0235</b>	<b>0,0257</b>	<b>0,0278</b>	<b>0,0297</b>	<b>0,0315</b>	<b>0,0332</b>	<b>0,0364</b>	<b>0,0393</b>
200	12,2	0,188	80%	0,150	0,02376	0,416	0,057	0,0123	0,0173	0,0212	0,0245	0,0274	0,0300	0,0324	0,0347	0,0368	0,0388	0,0425	0,0459
200	12,2	0,188	100%	0,188	0,02770	0,590	0,047	0,0125	0,0177	0,0217	0,0251	0,0280	0,0307	0,0332	0,0355	0,0376	0,0397	0,0434	0,0469
250	14,6	0,235	50%	0,118	0,02176	0,370	0,059	0,0115	0,0162	0,0198	0,0229	<b>0,0256</b>	<b>0,0281</b>	<b>0,0303</b>	<b>0,0324</b>	<b>0,0344</b>	<b>0,0362</b>	<b>0,0397</b>	<b>0,0429</b>
250	14,6	0,235	70%	0,165	0,03254	0,467	0,070	0,0192	0,0271	0,0332	0,0384	<b>0,0429</b>	<b>0,0470</b>	<b>0,0507</b>	<b>0,0542</b>	<b>0,0575</b>	<b>0,0606</b>	<b>0,0664</b>	<b>0,0718</b>
250	14,6	0,235	80%	0,188	0,03732	0,521	0,072	0,0224	0,0317	0,0388	0,0448	0,0501	0,0548	0,0592	0,0633	0,0672	0,0708	0,0776	0,0838
250	14,6	0,235	100%	0,235	0,04352	0,740	0,059	0,0229	0,0324	0,0397	0,0458	0,0512	0,0561	0,0606	0,0648	0,0687	0,0724	0,0793	0,0857
315	18,4	0,297	50%	0,148	0,03455	0,466	0,074	0,0212	0,0300	0,0367	0,0424	<b>0,0474</b>	<b>0,0520</b>	<b>0,0561</b>	<b>0,0600</b>	<b>0,0636</b>	<b>0,0671</b>	<b>0,0735</b>	<b>0,0794</b>
315	18,4	0,297	70%	0,208	0,05166	0,588	0,088	0,0355	0,0502	0,0615	0,0710	<b>0,0794</b>	<b>0,0870</b>	<b>0,0940</b>	<b>0,1005</b>	<b>0,1065</b>	<b>0,1123</b>	<b>0,1230</b>	<b>0,1329</b>
315	18,4	0,297	80%	0,237	0,05926	0,657	0,090	0,0415	0,0586	0,0718	0,0829	0,0927	0,1016	0,1097	0,1173	0,1244	0,1311	0,1436	0,1551
315	18,4	0,297	100%	0,297	0,06909	0,932	0,074	0,0424	0,0600	0,0735	0,0848	0,0949	0,1039	0,1122	0,1200	0,1273	0,1341	0,1469	0,1587
400	23,4	0,377	50%	0,188	0,05570	0,592	0,094	0,0401	0,0567	0,0694	0,0802	<b>0,0897</b>	<b>0,0982</b>	<b>0,1061</b>	<b>0,1134</b>	<b>0,1203</b>	<b>0,1268</b>	<b>0,1389</b>	<b>0,1500</b>
400	23,4	0,377	70%	0,264	0,08329	0,747	0,112	0,0671	0,0949	0,1163	0,1343	<b>0,1501</b>	<b>0,1645</b>	<b>0,1776</b>	<b>0,1899</b>	<b>0,2014</b>	<b>0,2123</b>	<b>0,2326</b>	<b>0,2512</b>
400	23,4	0,377	80%	0,301	0,09553	0,834	0,115	0,0784	0,1109	0,1358	0,1568	0,1753	0,1920	0,2074	0,2217	0,2352	0,2479	0,2715	0,2933
400	23,4	0,377	100%	0,377	0,11139	1,183	0,094	0,0802	0,1134	0,1389	0,1604	0,1793	0,1964	0,2122	0,2268	0,2406	0,2536	0,2778	0,3000
500	29,2	0,471	50%	0,235	0,08704	0,740	0,118	0,0727	0,1028	0,1260	0,1454	<b>0,1626</b>	<b>0,1781</b>	<b>0,1924</b>	<b>0,2057</b>	<b>0,2182</b>	<b>0,2300</b>	<b>0,2519</b>	<b>0,2721</b>
500	29,2	0,471	70%	0,330	0,13016	0,933	0,139	0,1218	0,1722	0,2109	0,2435	<b>0,2723</b>	<b>0,2983</b>	<b>0,3222</b>	<b>0,3444</b>	<b>0,3653</b>	<b>0,3851</b>	<b>0,4218</b>	<b>0,4556</b>
500	29,2	0,471	80%	0,377	0,14930	1,042	0,143	0,1422	0,2010	0,2462	0,2843	0,3179	0,3482	0,3761	0,4021	0,4265	0,4495	0,4925	0,5319
500	29,2	0,471	100%	0,471	0,17409	1,479	0,118	0,1454	0,2057	0,2519	0,2909	0,3252	0,3562	0,3848	0,4114	0,4363	0,4599	0,5038	0,5442
630	36,8	0,593	50%	0,297	0,13819	0,932	0,148	0,1347	0,1905	0,2333	0,2693	<b>0,3011</b>	<b>0,3299</b>	<b>0,3563</b>	<b>0,3809</b>	<b>0,4040</b>	<b>0,4259</b>	<b>0,4665</b>	<b>0,5039</b>
630	36,8	0,593	70%	0,415	0,20664	1,176	0,176	0,2255	0,3189	0,3906	0,4510	<b>0,5043</b>	<b>0,5524</b>	<b>0,5966</b>	<b>0,6378</b>	<b>0,6765</b>	<b>0,7131</b>	<b>0,7812</b>	<b>0,8438</b>
630	36,8	0,593	80%	0,475	0,23702	1,314	0,180	0,2633	0,3723	0,4560	0,5266	0,5887	0,6449	0,6966	0,7447	0,7898	0,8326	0,9120	0,9851
630	36,8	0,593	100%	0,593	0,27637	1,864	0,148	0,2693	0,3809	0,4665	0,5387	0,6023	0,6598	0,7126	0,7618	0,8080	0,8518	0,9330	1,0078

Tabella 1 Portate condotte circolari, con K=110

Ai fini del calcolo, a vantaggio di sicurezza, si è considerato un grado di riempimento della sezione circolare pari al 70% per tenere conto della eventuale riduzione di sezione dovuta a depositi sul fondo della condotta.

Sono state individuate cinque aree scolanti, così denominate: nuova strada sezione 1-17, nuovo piazzale sezione 40-50, nuova strada sezione 28-40, riqualifica strada esistente sezione 12-28, riqualifica strada esistente sezione 1-12.

Determinate le portate massime di pioggia per ogni area scolante, si è calcolato il diametro minimo della condotta principale sulla quale verranno convogliate le acque meteoriche provenienti dai pozzetti sifonati posti ai margini della sede stradale, tale da garantire una portata massima in esercizio superiore alla massima portata di pioggia, tenendo conto della somma delle portate provenienti dalle superfici scolanti che sottendono l'area scolante in esame. Per ogni innesto si realizzerà un pozzetto di ispezione.

*Prima area scolante: nuova strada sezione 1-17*

Il primo tratto di strada da realizzare darà accesso alle aree militari e costeggia i fabbricati della guardia costiera. La lunghezza complessiva è pari a 194 metri, ha una superficie di circa 1800 m<sup>2</sup> ed una pendenza longitudinale media del 1,9‰. Il tempo di ruscellamento si considera pari a 300", il tempo di percorrenza massimo lungo la rete fino alla sezione di chiusura è pari a 620". Le sezioni trasversali avranno pendenze minimo del 2,5% per consentire il deflusso delle acque verso le caditoie sifonate disposte ai margini della strada. Per l'asfalto si considera un coefficiente di afflusso pari a 0,90:

$$T_c = 300+620=920 \text{ s} = 0.256 \text{ h}$$

$$\varphi = 0.90$$

$$i = \frac{65,10}{0.256^{1-0.32}} = 164.62 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_M = \frac{0.90 \cdot 164.62 \cdot 1800}{3600} = 0.074 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 74.08 \text{ l/s.}$$

Tenuto conto dei parametri di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 30 anni, della forma, dimensione e caratteristiche delle superfici drenanti e del tempo di corrivazione, si determina una portata massima al colmo di 74 l/s.

Dal calcolo della portata delle condotte circolari con coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, rappresentato in tabella 1, si determina il diametro utile della condotta sufficiente a raccogliere le acque meteoriche provenienti dall'area scolante in esame. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 2,5‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 377 mm.

*Seconda area scolante: nuovo piazzale sezione 40-50*

Il piazzale da realizzare dovrà consentire la sosta e la manovra dei mezzi di servizio dedicati al trasporto dei passeggeri dalla stazione ferroviaria verso l'aeroporto. Ha una superficie di circa 2600 m<sup>2</sup> e una pendenza longitudinale media del 1,0‰. Il tempo di ruscellamento si considera pari a 300", il tempo di percorrenza massimo lungo la rete fino alla sezione di chiusura pari a 500". Per l'asfalto si considera un coefficiente di afflusso pari a 0,90:

$$T_c = 300+500=800 \text{ s} = 0.222 \text{ h}$$

$$\varphi = 0.90$$

$$i = \frac{65,10}{0.222^{1-0.32}} = 181.04 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_M = \frac{0.90 \cdot 181.04 \cdot 2600}{3600} = 0.118 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 117.68 \text{ l/s.}$$

Tenuto conto dei parametri di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 30 anni, della forma, dimensione e caratteristiche delle superfici drenanti e del tempo di corrivazione, si determina una portata massima al colmo di 118 l/s.

Dal calcolo della portata delle condotte circolari con coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, si determina il diametro utile della condotta sufficiente a raccogliere le acque meteoriche provenienti dall'area scolante in esame. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 10‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 377 mm. La condotta calcolata si innesterà, nella terza area scolante, con la condotta proveniente dalla prima area scolante, determinando una portata complessiva di 192 l/s.

*Terza area scolante: nuova strada sezione 28-40*

La strada in questione consentirà il collegamento delle precedenti aree alla strada esistente. La lunghezza complessiva è pari a 135 metri, ha una superficie di circa 1400 m<sup>2</sup> e una pendenza longitudinale media del 1,1%. Il tempo di ruscellamento è pari a 300", il tempo di percorrenza massimo lungo la rete fino alla sezione di chiusura è pari a 420". Le sezioni trasversali avranno pendenze minime del 2,5% per consentire il deflusso delle acque verso le caditoie sifonate disposte ai margini della strada. Per l'asfalto si considera un coefficiente di afflusso pari a 0,90:

$$T_c = 300 + 420 = 720 \text{ s} = 0.20 \text{ h}$$

$$\varphi = 0.90$$

$$i = \frac{65,10}{0.20^{1-0.32}} = 194.48 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_M = \frac{0.90 \cdot 194.48 \cdot 1400}{3600} = 0.68 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 68.07 \text{ l/s.}$$

Tenuto conto dei parametri di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 30 anni, della forma, dimensione e caratteristiche delle superfici drenanti e del tempo di corrivazione, si determina una portata massima al colmo di 68 l/s, a questa si aggiunge la portata proveniente dalle aree scolanti n.1 e 2, con una portata complessiva di 260 l/s.

Dal calcolo della portata delle condotte circolari con coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, rappresentato in tabella 1, si determina il diametro utile della condotta sufficiente a raccogliere le acque meteoriche provenienti dall'area scolante in esame. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 6‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 471 mm.

*Quarta area scolante: riqualifica strada esistente sezione 12-28*

Per la strada in questione si realizza un nuovo sistema di drenaggio delle acque rispetto all'esistente, a prosecuzione dei precedenti summenzionati. La lunghezza complessiva è pari a 125 metri, ha una superficie di circa 1300 m<sup>2</sup> e una pendenza longitudinale media dello 0,56%. Il tempo di ruscellamento è pari a 300", il tempo di percorrenza massimo lungo la rete fino alla sezione di chiusura è pari a 280". Le sezioni trasversali avranno pendenze minime del

2,5% per consentire il deflusso delle acque verso le caditoie sifonate disposte nel margine della carreggiata. Per l'asfalto si considera un coefficiente di afflusso pari a 0,90:

$$T_c = 300+280=580 \text{ s} = 0.161 \text{ h}$$

$$\varphi = 0.90$$

$$i = \frac{65,10}{0.161^{1-0.32}} = 225,29 \left[ \frac{mm}{h} \right]$$

$$Q_M = \frac{0.90 \cdot 225.29 \cdot 1300}{3600} = 0.73 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 73.22 \text{ l/s.}$$

Tenuto conto dei parametri di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 30 anni, della forma, dimensione e caratteristiche delle superfici drenanti e del tempo di corrivazione, si determina una portata massima al colmo di 73 l/s, a questa si aggiunge la portata proveniente dalle aree scolanti che la precedono, con una portata complessiva di 333l/s.

Dal calcolo della portata delle condotte circolari con coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, si determina il diametro utile della condotta sufficiente a raccogliere le acque meteoriche provenienti dall'area scolante in esame. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 3‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 593 mm.

*Quinta area scolante: riqualifica strada esistente sezione 01-12*

Anche per la strada esistente in questione si realizza un nuovo sistema di drenaggio delle acque rispetto all'esistente, a prosecuzione dei precedenti. La lunghezza complessiva del tratto di strada è pari a 130 metri, con una superficie di circa 1400 m<sup>2</sup> e una pendenza longitudinale media dello 0,12%. Il tempo di ruscellamento si considera pari a 300", il tempo di percorrenza massimo lungo la rete fino alla sezione di chiusura pari a 420". Le sezioni trasversali avranno pendenze minime del 2,5% per consentire il deflusso delle acque verso le caditoie sifonate disposte nel margine della carreggiata. Per l'asfalto si considera un coefficiente di afflusso pari a 0,90:

$$T_c = 300+320=620 \text{ s} = 0.17 \text{ h}$$

$$\varphi = 0.90$$

$$i = \frac{65,10}{0.17^{1-0.32}} = 215,30 \left[ \frac{mm}{h} \right]$$

$$Q_M = \frac{0.90 \cdot 215.30 \cdot 1400}{3600} = 0.75 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 75.35 \text{ l/s.}$$

Tenuto conto dei parametri di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno di 30 anni, della forma, dimensione e caratteristiche delle superfici drenanti e del tempo di corrivazione, si determina una portata massima al colmo di 75 l/s.

Dal calcolo della portata delle condotte circolari con coefficiente di Gauckler Strickler pari a 110, si determina il diametro utile della condotta sufficiente a raccogliere le acque meteoriche provenienti dall'area scolante in esame. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 2 ‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 377 mm.

A cavallo tra la quarta e la quinta area scolante, in prossimità del raccordo stradale verranno convogliate la totalità delle acque meteoriche provenienti dall'area in progetto in una condotta circolare fino alla sezione di chiusura, rappresentata dal canale interrato sito nell'area Romagnoli. La portata complessiva, per un tempo di ritorno di 30 anni risulta pari a 408 l/s. Con un coefficiente di riempimento del 70% e una pendenza minima del 4‰, il diametro interno utile dovrà essere maggiore o uguale a 593 mm.

## Dimensionamento cunetta

Ai margini della carreggiata, si prevede la realizzazione di una cunetta in calcestruzzo tipo zanella francese per permettere il tempestivo allontanamento dell'acqua ruscellante sulla piattaforma stradale, ed evitare l'invasione della sede stradale da parte della linea d'acqua. Come previsto dalle *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*, la pendenze trasversali della carreggiata e della banchina, saranno del 2,5%; gli elementi del margine esterno dovranno avere una pendenza trasversale del 4% con una profondità di almeno 10 cm, la larghezza della cunetta dovrà essere di almeno 80 cm.

La portata massima transitante nella cunetta verrà calcolata con la formula di Gauckler-Strickler valida per le correnti a pelo libero:

$$Q_{\max} = v_{\max} \cdot A = K_s \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot A$$

dove

$v_{\max}$  = velocità massima di deflusso (m/s);

$K_s$  = coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler (o coefficiente di scabrezza) ( $m^{1/3}/s$ );

$i$  = pendenza longitudinale media della strada (m/m);

$R_H$  = raggio idraulico, definito come il rapporto tra l'area bagnata e il perimetro bagnato (m);

$A$  = sezione idraulica o area bagnata ( $m^2$ ).

Si considera la realizzazione di cunette di larghezza 80 cm e profondità massima 10 cm, per cui, per la prima area scolante si ha:

$K_s$  = 83,33  $m^{1/3}/s$  (valido per superfici in calcestruzzo);

$i$  = 0.001;

$R_H$  = area bagnata pari a 0,040  $m^2$ , perimetro bagnato pari a 0,906 m per cui  $R_H=0,044$  (m);

Dai dati summenzionati si determina la portata massima consentita nella cunetta:  $Q_{\max}=0.013$   $m^3/s = 13$  l/s.

La prima area scolante ha una portata massima al colmo di 74 l/s, captata da 165x2 m di cunette poste nei due margini laterali, che determina una portata di progetto  $q=0.224$  l/s·m. Disponendo le caditoie lungo le cunette ad un interasse di 25 m, si ha una portata media nella cunetta pari a 25m x 0.224 l/m = 6 l/s < 13 l/s, per cui VERIFICA.

Per la seconda area scolante, si determina la portata massima consentita nella cunetta con  $i=0.01$ , si ottiene:  $Q_{\max}=0.042$   $m^3/s = 42$  l/s.

La portata massima al colmo di 118 l/s, captata da 140 m di cunette laterali, determina una portata di progetto  $q=0.843$  l/s·m.

Disponendo le caditoie lungo le cunette ad un interasse di 25 m, si ha una portata media nella cunetta pari a 25m x 0.843 l/m = 21 l/s < 42 l/s, per cui VERIFICA.

Per la terza area scolante, si determina la portata massima consentita nella cunetta con  $i=0.011$ , si ottiene:  $Q_{\max}=0.044 \text{ m}^3/\text{s} = 44 \text{ l/s}$ .

La portata massima al colmo di  $68 \text{ l/s}$ , captata da  $135 \times 2 \text{ m}$  di cunette laterali, determina una portata di progetto  $q=0.252 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ .

Disponendo le caditoie lungo le cunette ad un interasse di  $25 \text{ m}$ , si ha una portata media nella cunetta pari a  $25 \text{ m} \times 0.252 \text{ l/m} = 6 \text{ l/s} < 44 \text{ l/s}$ , per cui VERIFICA.

Per la quarta area scolante, si determina la portata massima consentita nella cunetta con  $i=0.0056$ , si ottiene:  $Q_{\max}=0.031 \text{ m}^3/\text{s} = 31 \text{ l/s}$ .

La portata massima al colmo di  $73 \text{ l/s}$ , captata da  $125 \times 2 \text{ m}$  di cunette laterali, determina una portata di progetto  $q=0.292 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ .

Disponendo le caditoie lungo le cunette ad un interasse di  $25 \text{ m}$ , si ha una portata media nella cunetta pari a  $25 \text{ m} \times 0.292 \text{ l/m} = 7 \text{ l/s} < 31 \text{ l/s}$ , per cui VERIFICA.

Per la quinta area scolante, si determina la portata massima consentita nella cunetta con  $i=0.0012$ , si ottiene:  $Q_{\max}=0.014 \text{ m}^3/\text{s} = 14 \text{ l/s}$ .

La portata massima al colmo di  $75 \text{ l/s}$ , captata da  $130 \times 2 \text{ m}$  di cunette laterali, determina una portata di progetto  $q=0.288 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ .

Disponendo le caditoie lungo le cunette ad un interasse di  $25 \text{ m}$ , si ha una portata media nella cunetta pari a  $25 \text{ m} \times 0.288 \text{ l/m} = 7 \text{ l/s} < 14 \text{ l/s}$ , per cui VERIFICA.

Dai pozzetti sifonati disposti ai margini della seconda area scolante alla condotta principale di raccolta delle acque meteoriche, il collegamento dovrà essere effettuato tramite tubazioni aventi diametro interno minimo  $188 \text{ mm}$  e pendenza minima dello  $0,5\%$ , in tutte le altre aree scolanti il collegamento di cui sopra potrà essere effettuato tramite tubazioni diametro interno  $151 \text{ mm}$  e pendenza dello  $0,5\%$ .

## Dimensionamento caditoia

Il dimensionamento riguarda la determinazione delle dimensioni di ingombro da assegnare alla grata, considerando la frazione efficace dell'area di deflusso. Il calcolo viene eseguito per il caso più sfavorevole avente la portata massima. Per il calcolo delle dimensioni da assegnare alla caditoia si sono effettuate le seguenti ipotesi: moto gradualmente vario con portata decrescente al decrescere della pendenza longitudinale, diminuzione dell'efficienza del dispositivo a una diminuzione della pendenza trasversale, energia costante lungo il percorso della grata, aperture ortogonali al senso del moto nella cunetta stradale.

L'energia della grata si esprime nella seguente forma:

$$H = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2g \cdot l^2 \cdot y^2} = \cos t$$

di cui:

H= energia della grata;

y= carico idraulico;

g= accelerazione gravitazionale;

l= larghezza della grata.

La lunghezza da assegnare alla grata si ricava dalla seguente relazione:

$$\frac{L}{H} = \frac{1}{2 \cdot C \cdot p} \cdot \left[ \operatorname{sen}^{-1} \sqrt{\frac{y_0}{H} + 3} \cdot \sqrt{\frac{y_0}{H} \cdot \left(1 - \frac{y_0}{H}\right)} \right]$$

di cui:

L= lunghezza della grata;

C= coefficiente di contrazione assunto pari a 0,5;

y<sub>0</sub>= battente idrico nella sezione iniziale di ingresso alla grata;

p= frazione efficace della grata, ovvero il rapporto tra la superficie totale delle fessure e la superficie complessiva della grata, considerata pari a 0,40.

Disposte le caditoie ogni 25 metri, accertato che la massima portata di acque smaltite dalle caditoie si ha nella seconda area scolante con un valore di 21 l/s, ipotizzando un lato della grata di 40 cm, un carico idraulico sulla caditoia di 6 cm, un'area netta di smaltimento del 40% dell'area totale della grata, si ottiene, sostituendo i valori nella formula summenzionata, la lunghezza del secondo lato della grata pari a 30 cm.

Pertanto, a vantaggio di sicurezza, la dimensione minima delle caditoie da utilizzare sarà 40x40 cm con una superficie netta di scarico di almeno 640cm<sup>2</sup> e aperture ortogonali al senso del moto nella cunetta stradale.

## Dimensionamento impianto di separazione per liquidi leggeri per acque di prima pioggia

Per la determinazione del tipo e della dimensione degli impianti di separazione si consideri il trattamento dell'acqua piovana contaminata da olio (deflusso superficiale) proveniente da strade come indicato al punto b par. 4.1 della UNI 858-2.

Si definiscono acque meteoriche di prima pioggia "le acque corrispondenti, per ogni evento meteorico, ad una precipitazione di 5 mm uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di drenaggio; ai fini del calcolo delle portate si stabilisce che tale valore si verifichi in 15 minuti". La superficie totale di afferenza è pari a 8500 m<sup>2</sup>, in riferimento ai 5 mm iniziali di pioggia che ricadono nei primi 15 minuti, si ottiene una piovosità pari a 0,0056 l/s·m<sup>2</sup>, pertanto la **portata complessiva di prima pioggia Q<sub>PP</sub>= 47,23 l/s**.

Il volume di prima pioggia è pari a 8500 m<sup>2</sup> · 5 l/m<sup>2</sup>= 42500 l = **V<sub>PP</sub> 42,5 m<sup>3</sup>**

Per il caso di applicazione specifico (prospetto B.2 Appendice B UNI EN 858-2) riferito ad acqua piovana da strade, è ammesso lo scarico nelle acque superficiali dopo il trattamento tipo S-I-P (sedimentatore-separatore classe I-condotto di campionamento).

Le dimensioni del separatore devono essere calcolate con la formula  $NS = (Q_r + f_x \cdot Q_s) \cdot f_d$  dove:

- NS rappresenta le dimensioni nominali del separatore;
- Q<sub>r</sub> è la portata massima dell'acqua piovana in l/s sopra specificata;
- Q<sub>s</sub> è la portata massima delle acque reflue in l/s;
- f<sub>d</sub> è il fattore di massa volumica per il liquido leggero in oggetto;
- f<sub>x</sub> è il fattore di impedimento che dipende dalla natura dello scarico.

Il fattore di impedimento f<sub>x</sub> considera condizioni di separazione sfavorevoli, per esempio la presenza di detersivi nelle acque reflue, per il caso di studio in cui si prevede la sola presenza di acqua piovana la norma indica un fattore di impedimento nullo, pertanto anche il valore della portata massima delle acque reflue è nullo.

Il fattore di massa volumica f<sub>d</sub> permette di considerare le diverse masse volumiche di liquidi leggeri utilizzando combinazioni diverse dei componenti del sistema; avendo specificato l'utilizzo della combinazione S-I-P per una massa volumica di liquido leggero pari a 0,85 g/cm<sup>3</sup>, si considera un fattore di massa volumica f<sub>d</sub>=1.

Le dimensioni nominali NS del separatore sono:

$$NS=(Q_r) \cdot f_d \quad NS=(47,23) \cdot 1=47,23.$$

Il separatore di classe I è del tipo a coalescenza con un contenuto massimo di olio ammissibile di 5,0 mg/l, l'impianto di separazione può comprendere un sedimentatore o in forma di unità separata o come parte integrante del separatore. Il volume minimo del sedimentatore, per una *quantità di fango prevista ridotta*, si calcola dalla seguente formula:

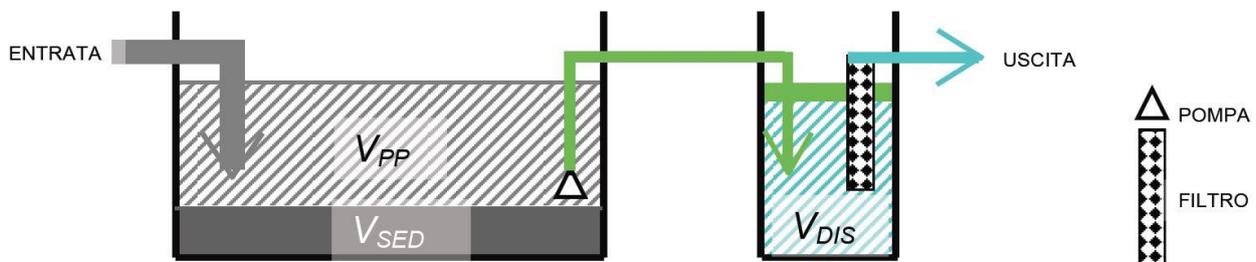
$$V_{SED} = \frac{100 \cdot NS}{f_d}$$

e risulta pari a 4723 l,  $V_{SED}=5 \text{ m}^3$ .

**Il volume totale della vasca di prima pioggia** dovrà essere maggiore o uguale a  $V_{PP} 42,5 + V_{SED} 5 = 47,5 \text{ m}^3$ .

Il separatore sarà dotato di **dispositivo bypass** per consentire il passaggio di una portata eccedente la portata massima ammissibile, ovvero le acque di seconda pioggia, oltrepassando il separatore (4.2.2 UNI 858-2). Le linee guida Arpa riportano, per masse volumiche di liquido leggero pari a  $85 \text{ g/cm}^3$  un tempo di separazione delle sostanze sedimentabili da quelle flottabili  $t_s=16,6 \text{ min}$ , pertanto il volume di disoleazione sarà calcolato in funzione della relativa portata di acque in ingresso all'impianto attraverso la seguente formula:

$$V_{DIS} = Q_I \cdot t_s$$



*Gli impianti di separazione dovranno essere installati esclusivamente su sistemi di scarico in cui i liquidi leggeri dovranno essere separati dall'acqua e trattenuti all'interno del separatore, gli impianti di separazione dovranno essere dotati di dispositivi di chiusura automatica che impediscano il passaggio del liquido leggero staccato attraverso l'uscita del separatore; tali dispositivi devono essere regolati e calibrati per masse volumiche di  $0,85 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,90 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,95 \text{ g/cm}^3$ , in base alla massa volumica del liquido leggero previsto.*

*I liquidi leggeri non devono poter fuoriuscire dall'impianto di separazione o dai pozzi di prolunga. Gli impianti di separazione devono essere installati in modo che il livello del chiusino (livello del suolo) sia più alto rispetto al livello dell'acqua sulla superficie da scaricare, questo impedisce l'eventuale fuoriuscita di liquido leggero dall'impianto. Il rispettivo livello è l'accumulo di acqua piovana massimo possibile quando le acque reflue e l'acqua piovana sono scaricate insieme. Se non è possibile eseguire tale proiezione, deve essere installato un dispositivo di avvertimento per liquidi leggeri.*

## Riferimenti bibliografici e normativi

Catalogo delle pavimentazioni stradali, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Bollettino Ufficiale Norme Tecniche – anno XXIX n. 178 del 15 settembre 1995;

AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993, American Association of State Highway and Transportation Officials;

Portanza dei sottofondi, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia;

Ingegneria stradale, Ferrari P., Giannini F.

Parametri  $a$  ed  $n$  delle curve di possibilità pluviometriche, per diversi tempi di ritorno, delle stazioni pluviometriche regionali – Regione Siciliana, Dipartimento della Protezione Civile;

Norma UNI EN 858-1:2005;

Norma UNI EN 858-2:2004;

Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti;

Linee Guida ARPA LG28/DT – Criteri di applicazione DGR 286/05 e 1860/06;