



COMUNE DI CAGLIARI

SERVIZIO MOBILITA' INFRASTRUTTURE VIARIE E RETI

Interventi infrastrutturali per la salvaguardia
da eventi eccezionali e manutenzione straordinaria
della rete pluviale nel territorio di Pirri
- Collettore 70 -

Progetto Esecutivo

RELAZIONE SPECIALISTICA RELAZIONE IDROLOGICA

DATA:
Gennaio 2016

Aggiornamento:
Febbraio 2020

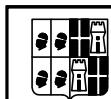
SCALA:

ALL.

2.1

Il Progettista

Dott. Ing. Giacomo Carrus

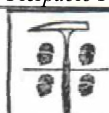


N. 5765

ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA DI CAGLIARI
Dott. Ing. GIACOMO CARRUS

Il Geologo

Dott. Geol. Pierpaolo Pili



N. 447

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE SARDEGNA
Dott. Geol. PIERPAOLO PILI

Il Responsabile del Procedimento

Dott. Ing. Daniele Olla



COMUNE DI CAGLIARI

SERVIZIO MOBILITA' INFRASTRUTTURE VIARIE E RETI

INTERVENTI INFRASTRUTTURALI PER LA SALVAGUARDIA DA EVENTI ECCEZIONALI E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLA RETE PLUVIALE NEL TERRITORIO DI PIRRI - COLLETTORE 70 -

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE SEICIALISTICA

RELAZIONE IDROLOGICA

Sommario

1	Premesse	2
1.1	Premesse allo studio idrologico	2
1.2	Contenuti della relazione idrologica.....	2
1.3	Criteri di dimensionamento adottato per gli spechi.....	4
2	Studio idrologico relativo ai bacini tributari dei collettori.....	8
2.1	Sezioni di controllo	8
2.2	bacini tributari.....	8
2.3	Tempo di corrivazione del bacino complessivo.....	11
2.4	Determinazione degli ietogrammi di progetto.....	12
2.5	Caratterizzazione dei suoli	16
	Capacità di infiltrazione	16
	<i>Uso del suolo</i>	20
2.6	Modello di trasformazione.....	21
2.7	Stima delle perdite di bacino	23
2.8	Portate di progetto alle sezioni di controllo	23

1 Premesse

1.1 PREMESSE ALLO STUDIO IDROLOGICO

La presente relazione, allegata al progetto stralcio di adeguamento della rete di fognatura delle acque bianche di Pirri, analizza e documenta gli aspetti idrologici afferenti al progetto e al dimensionamento dei collettori pluviali principali. Nella predisposizione della relazione si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nelle conclusioni degli studi redatti nel 2007 dal Centro Interdipartimentale di Ingegneria e Scienze ambientali (CINSA) dell'Università di Cagliari sulla base di una convenzione stipulata con il Comune di Cagliari (Responsabile Scientifico Prof. Ing. G.M. Sechi, collaboratore Ing. S. Liberatore) e i risultati contenuti nel successivo studio di aggiornamento del 2015. Pertanto nel seguito si riporta fedelmente, sia per quanto riguarda gli aspetti generali che in quelli di dettaglio relativi alle opere in progetto, quanto a sua volta stabilito nello studio del CINSA del 2007 e del 2015 estraendone i contenuti utili al corretto svolgimento della progettazione.

La relazione contiene le elaborazioni effettuate a supporto della redazione dei progetti stralcio tenendo conto sia del livello progettuale di maggior dettaglio derivante da ulteriori rilievi topografici e dalla analisi delle interferenze con i sotto servizi presenti lungo il tracciato dei condotti.

1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA

La relazione, pur riguardando la progettazione degli interventi a carico dei collettori 38, 39, 70 e 47', analizza dal punto di vista idrologico l'intera zona urbana servita dalla rete pluviale in quanto tali condotti rivestono una importanza cardinale in seno all'intera rete di drenaggio.

Nello studio redatto dal CINSA, l'area oggetto dell'indagine idrologica comprende oltre la zona urbana anche la valutazione dei deflussi provenienti dal bacino contermini del rio Saliu, che ha una estensione di circa 10 km², e che conferisce le portate nel canale di Terramaini. Infatti si è voluto considerare come durante l'evento del 2008 il canale Terramaini abbia minacciato di esondare in sponda destra mantenendo per diverse ore livelli critici tali da impedire il normale deflusso dalla rete dei collettori della rete meteorica di Pirri.

L'analisi idrologica ha valutato i deflussi prodotti dai bacini tributari della rete interna di Cagliari-Pirri ed è stato successivamente utilizzato un modello di simulazione dei deflussi nella rete considerando i collettori principali per complessivi circa 15 km di condotte.

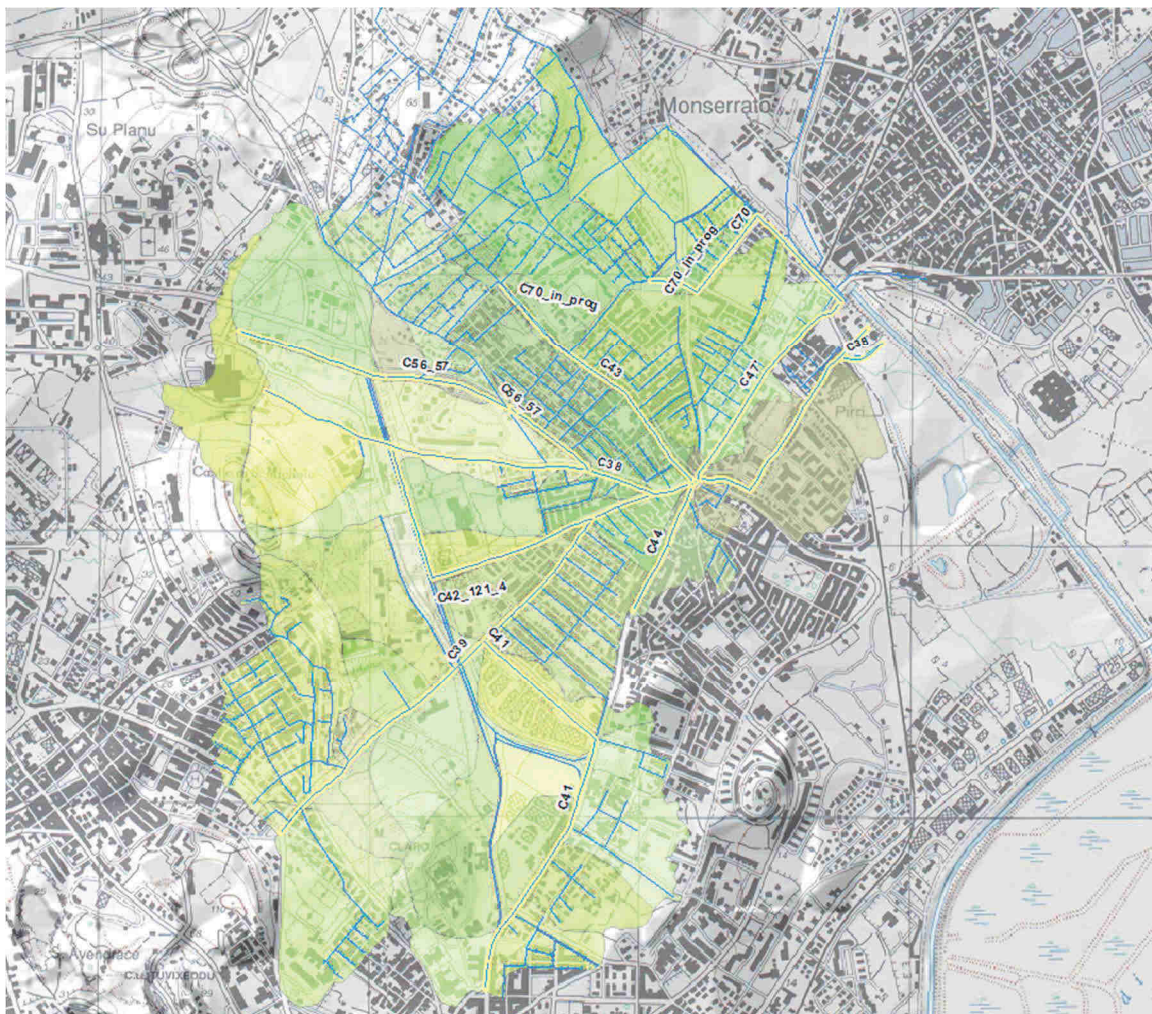


Figura 1 – Bacini idrografici e schema planimetrico dei collettori pluviali principali a servizio della rete di Pirri

Sulla base dei risultati dell'analisi delle criticità esistenti, già dallo studio Cinsa del 2007 erano state messe in evidenza quelle situazioni che necessitavano di un intervento risolutivo di adeguamento degli elementi geometrici delle tubazioni oppure anche dell'andamento plano-altimetrico del tracciato, possibilità di intervento che erano state analizzate congiuntamente con la Direzione tecnica dell'Area dei Servizi del Comune.

Le situazioni esaminate hanno considerato la possibilità pluviometrica con prefissati tempi di ritorno, valutando la risposta della rete di dreno in termini di volumi convogliabili, e volumi dispersi.

Sempre nello Studio del 2007, relativamente all'evento di pioggia sintetico con tempo di ritorno $Tr = 10$ anni, è stata evidenziata la grave insufficienza idraulica del collettore 57 per una lunghezza di circa 300 metri e, più a valle, il parziale allagamento dei pozzetti di ispezione fino quasi alla confluenza con il collettore 38. Anche in corrispondenza della confluenza con il collettore 38 si evidenzia una condizione di annullamento del franco in condotta.

Altre condizioni di annullamento del franco sono individuabili nel collettore 42 (pozz. J22) e nel collettore 44 in corrispondenza della sezione S44.1, mentre a carico del collettore 38 si manifestano gravi insufficienze idrauliche nel tratto finale, presso l'attraversamento ferroviario.

Le criticità per l'evento pluviometrico sintetico con tempo di ritorno $Tr=15$ anni sono pressoché sovrapponibili a quelle riscontrate negli eventi storici: sono sempre presenti le gravi insufficienze idrauliche relative ai collettori 56 e 57 e quelle relative al collettore 38 nel tratto finale, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario e a valle di esso, con la generalizzata insufficienza idraulica di tutto il collettore 57 e del collettore 56 nei tratti estremi di monte e di valle.

L'evento sintetico con tempo di ritorno $Tr=30$ anni aggrava le criticità nella rete esistente, già evidenziate per $Tr=15$ anni. Nella situazione attuale le criticità risultano interessare quasi tutti i collettori precedentemente citati. Questo accade in particolare nei loro tratti più vallivi e, localmente anche per il collettore 42, il collettore 43 e per il collettore 41, restando per il resto confermate le criticità relative ai tempi di ritorno inferiori.

Si ricorda che durante l'evento del settembre 2006 si evidenziarono una serie di gravi insufficienze idrauliche a carico del collettore 56 e del 57 e gravi criticità nel tratto finale del collettore 38 nella via Ampere e in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario; altre criticità si manifestarono nel collettore 39, in prossimità della rotatoria all'incrocio tra le vie Cadello e dei Valenzani. Le criticità osservate durante l'evento del 2006, assieme ad altre insufficienze, di minore rilevanza nei collettori 38, 57 e 56, sono state confermate dal modello di simulazione idraulica della rete di Pirri.

Si ricorda infine che lo studio predisposto dal CINSa nel 2007 per l'intera rete meteorica ricostruiva le insufficienze manifestatesi in concomitanza di alcuni eventi osservati di recente che avevano provocato pericolosi allagamenti, evidenziando la necessità di realizzare un nuovo collettore (Collettore 70) che intercettasse le portate defluenti dal bacino del collettore 57.

1.3 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO ADOTTATO PER GLI SPECHI

L'analisi delle criticità degli eventi recenti è sintetizzata nella Figura 3 dove si evidenzia l'andamento della "curva dei massimi" utilizzata nel progetto originario (Curva Cioppa) e le intensità massime registrate durante gli eventi del 2002, 2005, 2006 e 2008 per le durate di 15, 30 minuti e un ora. Da tale Figura si riscontra, come è già stato evidenziato, come per le durate di 15 e 30 minuti l'evento del 2006 sia stato relativamente più critico tra quelli considerati mentre per le durate uguali o superiori a quella oraria l'evento maggiormente critico è quello del 2008.

Riguardo gli eventi del 2002 e del 2006, essi risultano pressoché sovrapponibili, almeno per quanto riguarda i dati delle registrazioni disponibili, tenendo tuttavia conto del fatto che per l'evento del 2002 ci si basa sul pluviometro di Cagliari e non (come per il 2005 e il 2006) su quello di Pirri. Dal grafico di Figura 3 si può osservare inoltre come nel 2006 la massima intensità relativa alla durata 15' ha un tempo di ritorno di circa 10 anni, quella di durata 30' ha un tempo

di ritorno compreso tra i 20 e i 30 anni, mentre quella di durata oraria ha tempo di ritorno di poco inferiore a 15 anni.

Il grafico di Figura 3 evidenzia anche che tutti gli eventi considerati giacciono al di sotto rispetto alla “curva dei massimi” adottata nel progetto del 1966 (hanno quindi criticità minore), mentre soltanto il dato di precipitazione oraria del 2008 ne rimane ben al di sopra e molto prossimo alla curva di possibilità pluviometrica (TCEV) degli eventi con tempo di ritorno centenario.

Quest’ultima considerazione suggerisce che il criterio idrologico adottato originariamente per il dimensionamento degli specchi risulti adeguato nei confronti degli eventi del 2002 e del 2006 e in parte per quello del 2008, evidenziandosi tuttavia drammatiche criticità sotto il profilo funzionale della rete di captazione e di quella di collettamento principale, come evidenziato anche dai precedenti studi citati. Nell’ambito della modellizzazione idrologica realizzata nella presente relazione, sono state considerate tutte le aree urbane e periurbane attorno al nucleo originario di Pirri, attualmente servite dalla rete di captazione e in particolare comprendendo quelle zone di espansione urbanistica verso la collina di “Barracca Manna” e nel suo versante orientale, come del resto già effettuato nello studio del Cinsa del 2007, ma che non rientravano nel dimensionamento originario dei collettori.

Il criterio di determinazione della pioggia di progetto adottato considera uno ietogramma di tipo Chicago relativamente ad un evento di assegnato tempo di ritorno e durata totale di 4 ore. Tale metodo appare essere il più cautelativo sia riguardo alla particolare criticità della configurazione planoaltimetrica del versante sul quale si estende l’area urbana di Pirri, il quale è costituito da numerosi sottobacini aventi differenti tempi di risposta in termini di deflusso, sia riguardo alla particolarità di tale ietogramma di riportare la massima criticità pluviometrica alle varie durate parziali. In tal senso, considerando eventi pluviometrici con tempo di ritorno di 15, 20 e 30 anni, è stato considerato un unico ietogramma per l’intero bacino complessivo della rete di Cagliari Pirri.

Conseguentemente, nel modello di trasformazione, i parametri relativi alla valutazione dei processi di perdita tengono conto del comportamento idrologico della superficie urbanizzata e delle caratteristiche di permeabilità, adeguatamente indagate mediante una apposita indagine riguardante le caratteristiche di uso del suolo della sua natura geolitologica.

Una ulteriore ipotesi riguarda la considerazione dell’efficienza della rete di captazione, ovvero si ipotizza che tutto l’afflusso meteorico depurato della frazione destinata all’infiltrazione e da quella raccolta nei piccoli invasi, sia infine accolta in rete mediante le caditoie stradali. Pur non essendo tale ipotesi strettamente aderente alla realtà, essa è tuttavia cautelativa perché l’entità delle portate defluite in rete potrà tendere al valore qui adottato in relazione ai necessari e progressivi interventi di adeguamento della rete di captazione per migliorare l’aspetto funzionale nelle varie aree servite, il quale determinerà certamente un incremento delle portate collettate. In ogni caso tale miglioramento sarà attuabile solo a condizione di un adeguato dimensionamento della rete di collettamento che qui viene studiata e verificata.

Infine, a fronte della considerazione di diversi tempi di ritorno assunti nella modellazione, il criterio di base assunto nelle verifiche dimensionali dei collettori è quello che utilizza il tempo di ritorno di 15 anni garantendo nel contempo un franco idraulico medio del 25% della massima

profondità dello speco, osservando che tale franco potrebbe comunque essere annullato in caso di eventi con tempo di ritorno superiore.

In linea con la scelta cautelativa del tempo di ritorno, si richiama inoltre il fatto che lo ietogramma di forma adottata consente il mantenimento di ulteriori margini di sicurezza idraulica nel dimensionamento delle reti pluviali urbane.

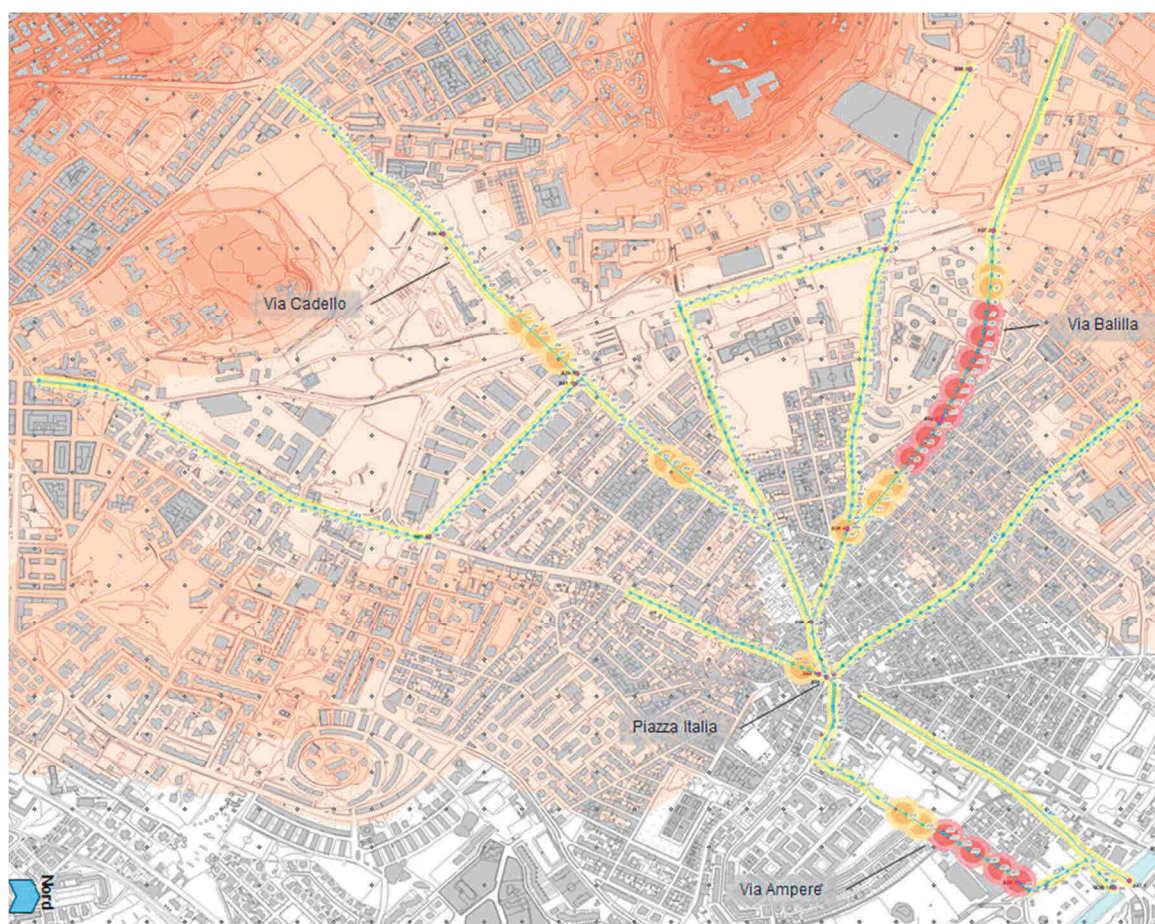


Figura 2 - Rappresentazione delle criticità evidenziate durante l'evento del 2006 e confermate dal modello della rete meteorica di Pirri (Studio Cinsa 2007).

Tabella 1 - Cumulate massime agli intervalli temporali di 15, 30 minuti, 1 e 24 ore per gli eventi indicati: le celle campite indicano i valori massimi per le durate indicate nelle righe

DURATA	2002	2005	2006	2008
15'	20.2 mm	15.4 mm	21.8 mm	16.2 mm
30'	31.0 mm	24.6 mm	31.2 mm	27.4 mm
1 ora	36.4 mm	27.4 mm	35.2 mm	54.0 mm
giorno	40.8 mm	30.6 mm	54.6 mm	94.6 mm

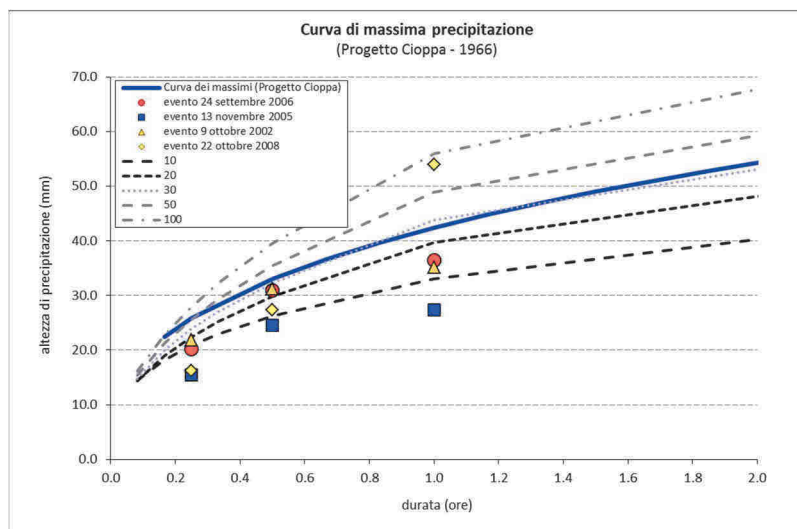


Figura 3 - Valutazione probabilistica degli eventi pluviometrici di interesse di durata minore o uguale a 1 ora

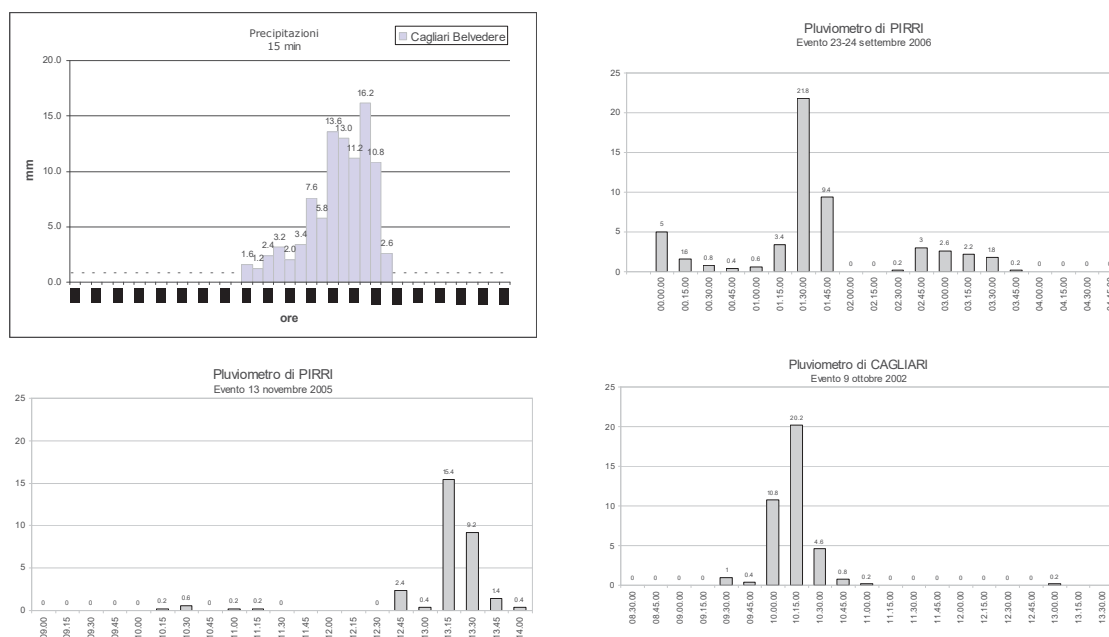


Figura 4 - Ietogramma dell'evento del 2008 registrato dal pluviometro di Cagliari-Belvedere . Ietogrammi degli eventi registrati rispettivamente nel 2002, 2005 e 2006

2 Studio idrologico relativo ai bacini tributari dei collettori

2.1 SEZIONI DI CONTROLLO

L'indagine idrologica si è dapprima concentrata sui bacini sottesi dalle sezioni maggiormente vallive (S38.1/a, S38.1/b) nel definire la stima dei deflussi e la verifica idraulica dei tratti finali dei condotti principali attualmente in esercizio. Altre sezioni di interesse sono state considerate lungo i condotti principali per meglio rappresentare la condizione della rete negli eventi considerati. Nella tabella seguente la denominazione delle sezioni conserva il numero del collettore di appartenenza (separato dal punto), e il numero iniziale indica progressivamente da valle verso monte la sezione considerata. La presenza di bacini molto estesi ha indotto a considerare la loro ulteriore disaggregazione in bacini minori al fine di tenere conto della distribuzione delle opere di dreno delle acque meteoriche e stabilire una più accurata ripartizione dei deflussi attribuiti ai collettori. Ai sottobacini sono state attribuite denominazioni che terminano con una lettera progressiva a, b, c, d... (per es.: S39.4a, S39.4b etc).

Nella Figura 5 è dato uno stralcio planimetrico ove sono indicate le posizioni delle sezioni che individuano (a titolo di esempio) i bacini di interesse S56.2, S57.2, S70.1 ed S70.2.

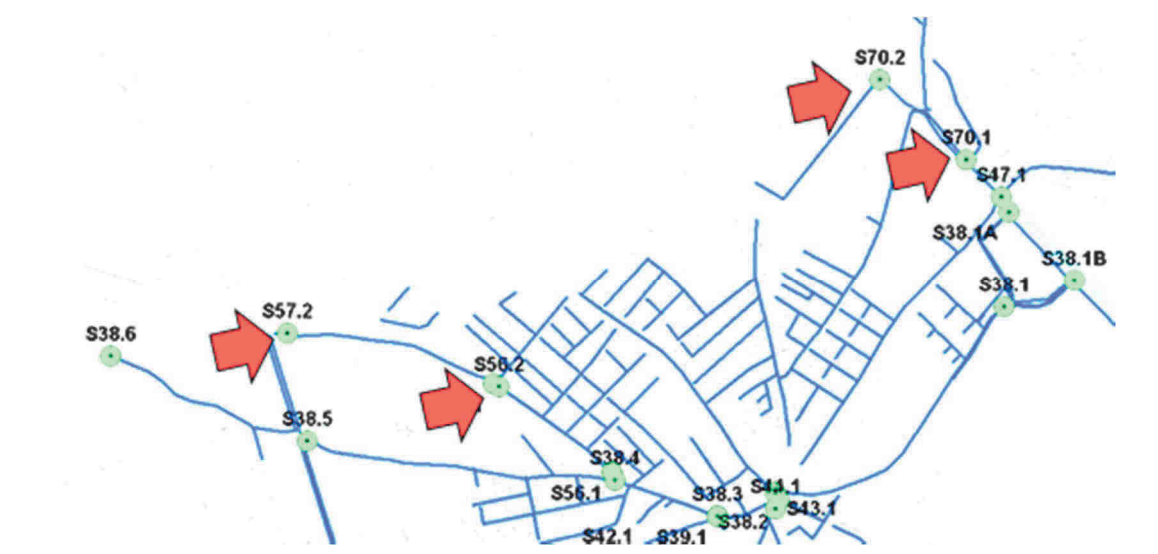


Figura 5 – Porzione della rete meteorica di Cagliari-Pirri e indicazione delle sezioni di interesse

2.2 BACINI TRIBUTARI

Nello studio Cinsa (2007), per l'esecuzione dell'analisi morfologica e di caratterizzazione dei suoli è stata utilizzata, come informazione di base, la cartografia numerica comunale in scala 1:4000 che ha permesso la realizzazione di un modello digitale di terreno ricoprente un'area di 17 kmq.

La procedura adottata attua dapprima la delimitazione di un macro-bacino di interesse che comprende il territorio urbano di Pirri come delimitato dalle alture di baracca Manna, dagli

Successivamente sono state individuate le linee di compluvio e di displuvio all'interno del macro-bacino mediante la discretizzazione delle aree in un reticolo formato da celle di 10m di lato.

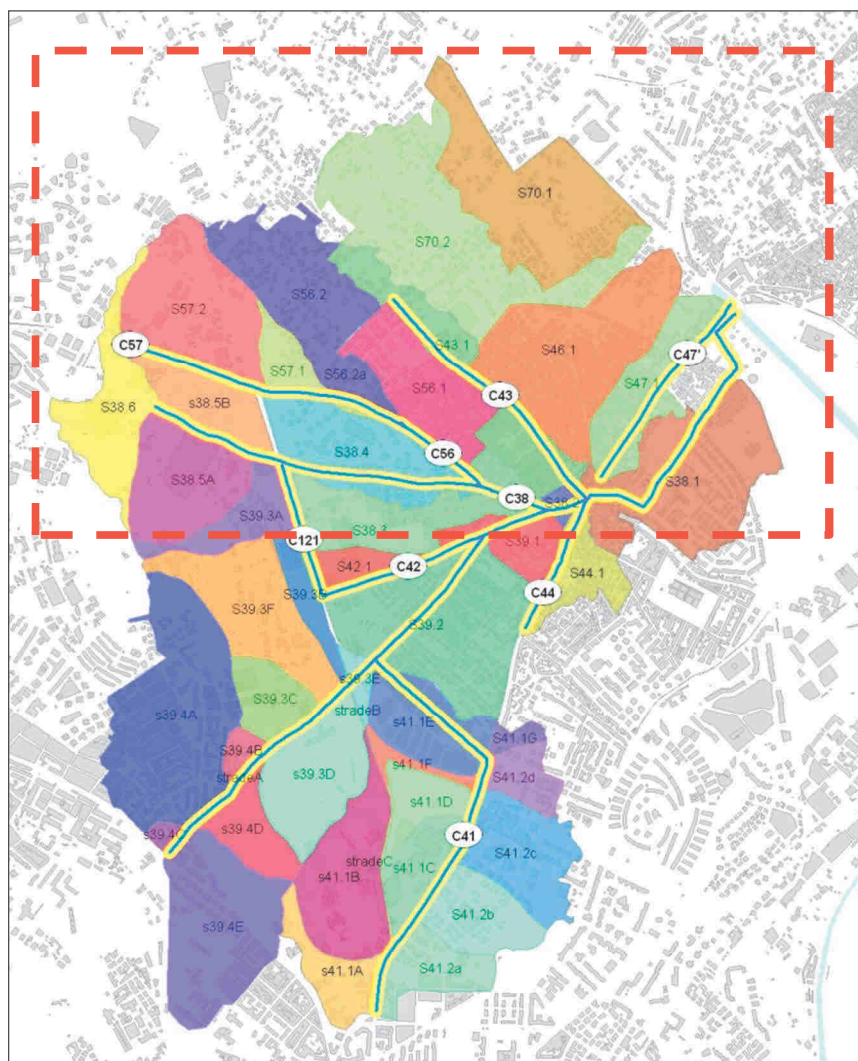


Figura 6 – Inquadramento dei bacini contribuenti al collettore in esame



Figura 7 – Dettaglio dei bacini tributari del collettore 38, 39, C70 e C47'

Tabella 2 – Superficie dei bacini principali sottesi alle sezioni di interesse e loro pendenza

SEZIONE	AREA (ha)	i_b (%)
S56.2	49.1	6.3
S57.2	21.6	4.8
S70.1	27.2	5.9
S70.2	36.1	5.1
S43.1a	7.6	4.2
S46.1	28.6	5.2

Il criterio di definizione dell'afflusso in rete esclusivamente geomorfologico è stato applicato solo laddove la rete fognaria non è presente, come accade per le aree urbane periferiche: nell'effettuare la delimitazione delle aree di contributo ricadenti in zone urbanizzate si è tenuto conto della presenza della rete fognante sia come realizzata allo stato attuale sia nell'assetto derivante dalle varie ipotesi progettuali di adeguamento.

Nella Figura 7 sono individuati i bacini di interesse a fronte di quelli complessivamente ricadenti nell'area urbana di Pirri consegnati come stralcio della figura di inquadramento (Figura 6).

2.3 TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO COMPLESSIVO

Come è noto, la stima del tempo di corrivazione del bacino stima il tempo impiegato da un volume idrico elementare per percorrere il tragitto idraulicamente più lungo per giungere alla sezione di chiusura del bacino. In particolare, per una fognatura urbana esso è spesso indicato come tempo di concentrazione ed è somma del tempo di accesso T_a alla rete e del tempo di traslazione T_r impiegato dalla particella idrica a percorrere il percorso più lungo.

La stima del tempo di accesso T_a può essere effettuata mediante la relazione (Mambretti e Paoletti, 1998):

$$T_{a,i} = \frac{0.5 \cdot l_i}{s_i^{0.375} (i \cdot \varphi_i S_i)^{0.25}}$$

che lega la lunghezza l_i dei percorsi di corrivazione delle acque scolanti all'intensità di pioggia i e ad alcune caratteristiche morfologiche della superficie di un sottobacino, essendo s_i la pendenza media dell' i -esimo sottobacino di superficie S_i e coefficiente di afflusso φ_i .

Per determinare il tempo di traslazione è stata utilizzata la relazione (Becciu et al., 1997):

$$T_r = \sum_i \frac{l_i}{1.5 \cdot V_{u,i}}$$

essendo $V_{u,i}$ la velocità di moto uniforme nel condotto di lunghezza l_i e la sommatoria estesa a tutti i tratti costituenti il percorso più lungo.

Il tempo di corrivazione $T_c = T_a + T_r$ calcolato per il bacino del collettore C38 alla sezione di sbocco finale è di poco inferiore all'ora ($T_c = 0.9$ ore) come indicato nella tabella seguente.

Nello studio sono stati adottati i tempi di concentrazione ottenuti con le relazioni precedenti. A titolo di confronto sono stati calcolati i tempi di corrivazione anche con la relazione fornita dal Soil Conservation Service:

$$T_c = 0.00227 L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7} S^{-0.5}$$

dove il valore di CN (Curve Number) utilizzato è quello relativo alle condizioni di umidità del suolo di tipo AMC-III, ed S è la pendenza media del bacino espressa come valore percentuale.

Tabella 3 – Tempo di concentrazione del bacino sotteso dalla sezione S38.1

TEMPI		ORE
Accesso alla rete	Ta	0.18
Traslazione in condotta	Tr	0.68
Tempo totale	Tc	0.86

2.4 DETERMINAZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO

Anche nella determinazione degli idrogrammi di pioggia totale si è fatto riferimento allo studio CINSIA del 2007 per la determinazione degli ietogrammi di progetto utilizzati per la verifica idraulica della rete. L'ipotesi assunta, come usuale, prevede che, agli idrogrammi conseguenti agli eventi di pioggia sia attribuito il medesimo tempo di ritorno degli eventi che li generano.

In specifico, , sono stati elaborati due tipi di ietogrammi sintetici: a intensità costante e con intensità di tipo ietogramma Chicago.

Per il primo tipo, individuata preliminarmente la durata dell'evento, sulla base del volume di pioggia cumulata stimata per il tempo di ritorno T_R è calcolata l'intensità costante dell'evento sintetico. Nelle valutazioni sono state utilizzate le curve di possibilità pluviometriche stimate per la Sardegna che utilizzano la distribuzione probabilistica TCEV (Deidda, Piga Sechi, 2000). Lo ietogramma tipo *Chicago* (Keifer e Chu, 1957) è stato elaborato mediante le stesse curve di possibilità pluviometrica calcolando, per ciascun intervallo di tempo nella durata dell'evento, l'intensità di precipitazione corrispondente.

Inoltre, la modellazione documenta come per un evento con $T_R=10$ anni il colmo della piena che si propaga lungo la rete dei collettori giunga in piazza Italia dopo circa 1 - 1.5 ore dall'inizio dell'evento, tempo che può essere assunto come durata critica del bacino di Pirri. Si rileva infine che durante l'evento del 2008, la precipitazione (iniziata intorno alle 7 del mattino) ebbe il massimo intorno alle ore 9 mentre lo scorrimento superficiale ebbe il suo massimo proprio intorno alle ore 10-10.30 della stessa mattina.

Le considerazioni sopra esposte, unite alla scelta di effettuare la modellazione dell'intensità degli eventi critici mediante ietogrammi di tipo Chicago (con fattore di picco $p=0.375$), nella generazione eventi sintetici inducono a considerare cautelativamente durate totali di 4 ore.

La forma dello ietogramma e la posizione del picco ai vari tempi di ritorno sono stati considerati invarianti negli eventi considerati imponendo come coefficiente di picco il valore $p = 0.375$ della durata totale. Lo ietogramma finale è stato discretizzato in intervalli temporali finiti di ampiezza costante pari a 5 minuti primi.

Nei calcoli sono stati definiti gli ietogrammi sintetici per durate critiche fino a 24h e tempi di ritorno di 10, 15, 30 anni, consegnati dalla Figura 8 alla Figura 11.

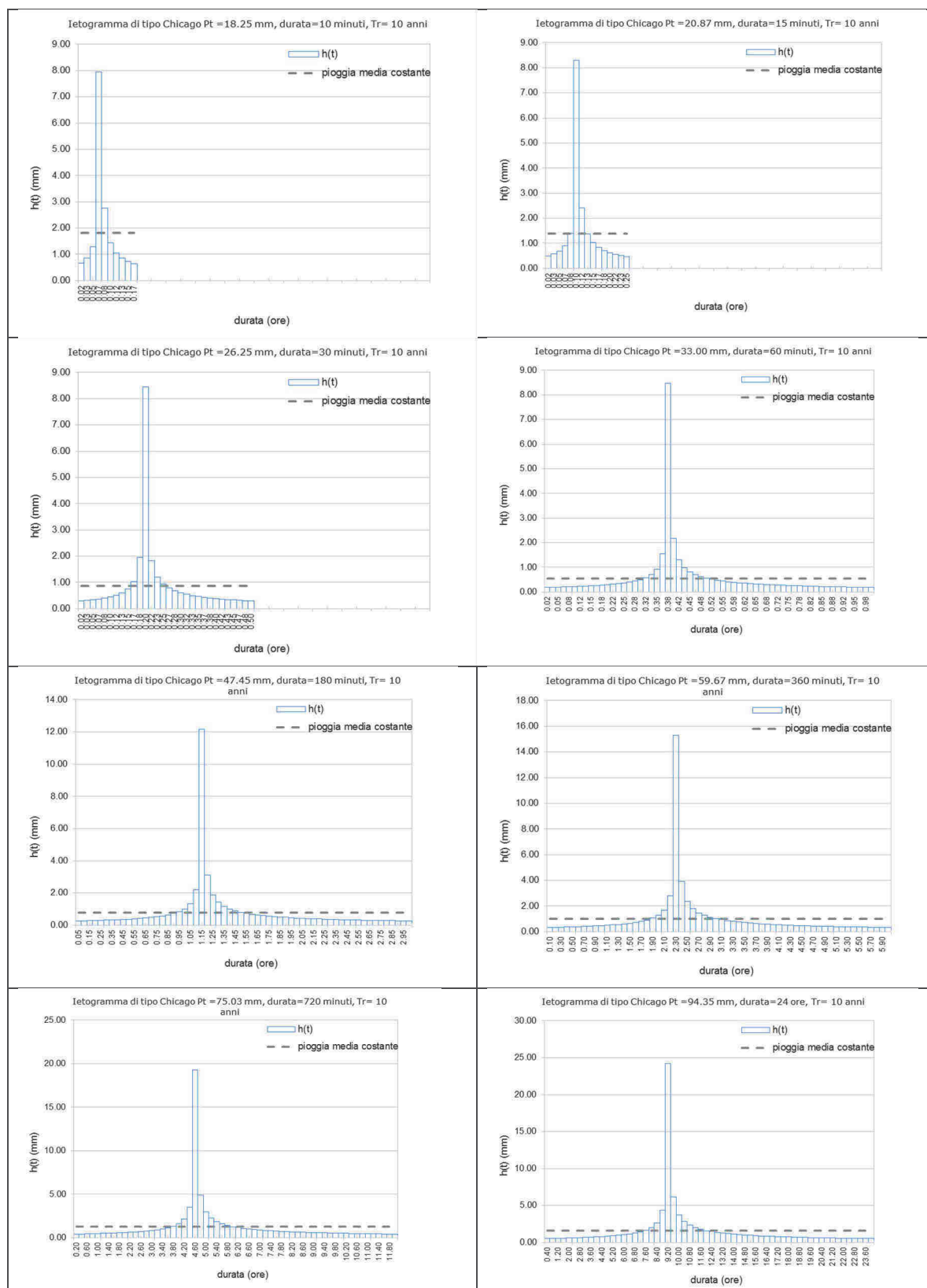


Figura 8 - Ietogrammi di eventi sintetici con tempo di ritorno di 10 anni e durata di 10, 15, 30 minuti, 1, 3, 6, 12 e 24 ore

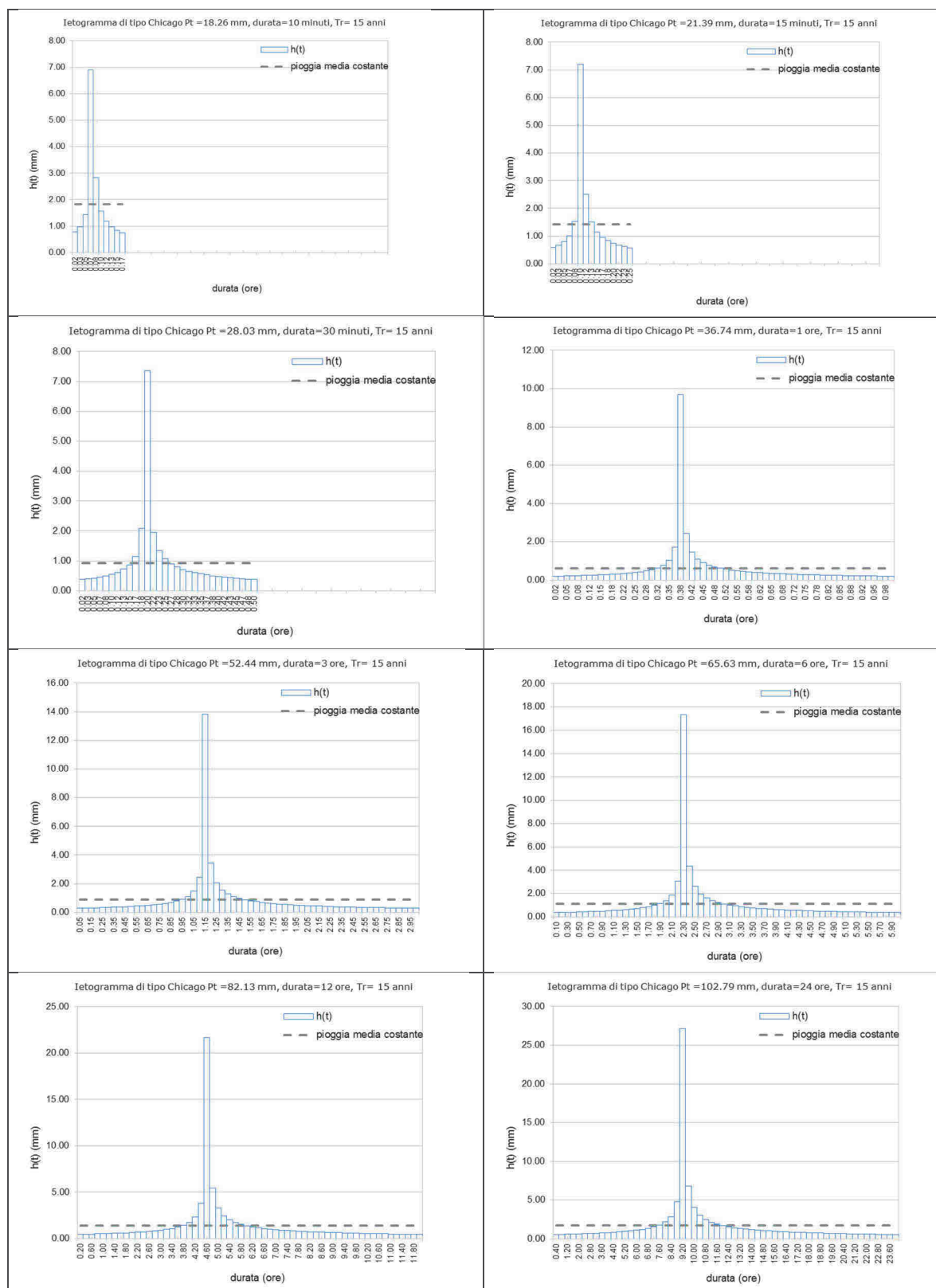


Figura 9 - Ietogrammi di eventi sintetici con tempo di ritorno di 15 anni e durata di 10, 15, 30 minuti, 1, 3, 6, 12 e 24 ore

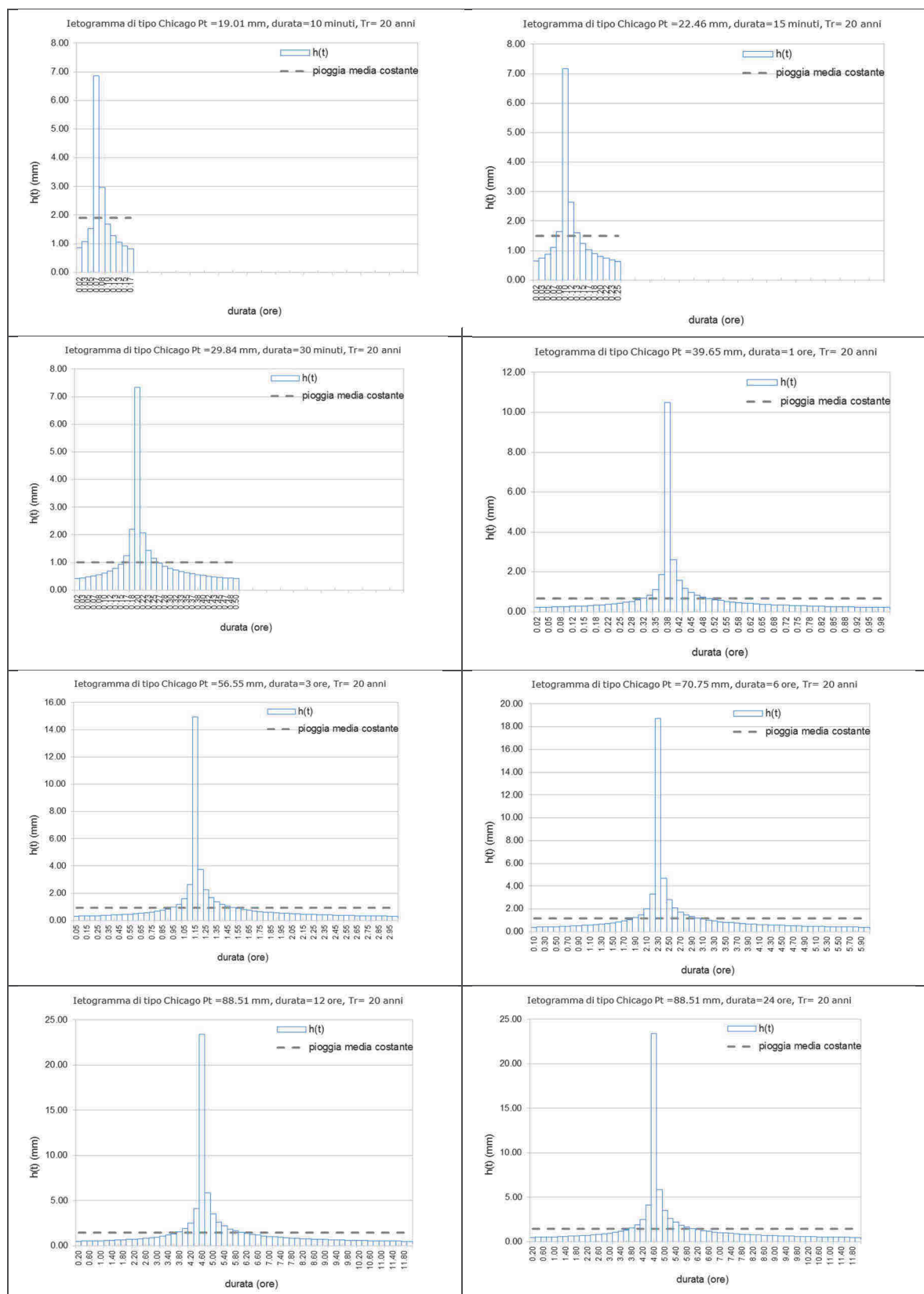


Figura 10 - Ietogrammi di eventi sintetici con tempo di ritorno di 20 anni e durata di 10, 15, 30 minuti, 1, 3, 6, 12 e 24 ore

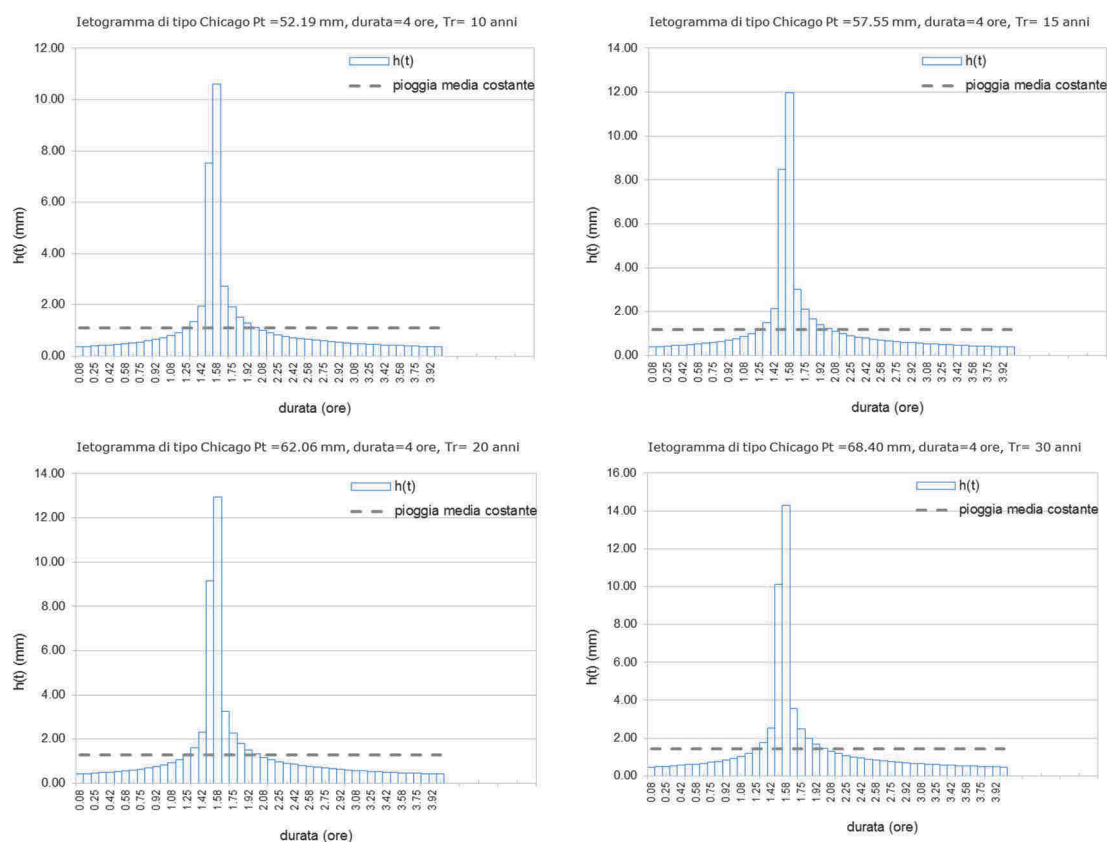


Figura 11 - Ietogramma sintetico di evento di durata 4 ore con tempo di ritorno 10, 15, 20 e 30 anni

2.5 CARATTERIZZAZIONE DEI SUOLI

La caratterizzazione dei suoli dei bacini ricadenti nelle aree in studio è in linea con quanto a suo tempo già determinato nello studio Cinsa del 2007 e risultati ivi contenuti sono riportati nei paragrafi che seguono.

Capacità di infiltrazione

L'indagine geopedologica ha fornito gli elementi utili per valutare le caratteristiche sulla natura dei suoli e sul loro utilizzo in modo da quantificare in termini parametrici la capacità di infiltrazione espressa mediante il coefficiente CN (Curve Number) utilizzato nel metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (SCS, 1975; 1985) per la determinazione della pioggia netta. Per la caratterizzazione idrologica del suolo è necessario tenere conto dell'attitudine dei suoli all'infiltrazione, espressa mediante la classificazione dell'Ente statunitense per la difesa del suolo (NRCS, originariamente chiamato SCS) in base alla conducibilità idraulica in condizioni di saturazione. La classificazione è basata sulla ripartizione in quattro classi di conducibilità, come indicato nella Tabella 4.

A tal fine si sono utilizzati i risultati di uno studio precedentemente svolto sul territorio esaminato per incarico del Comune di Cagliari (*Caratterizzazione geologico tecnica delle terre e analisi dei suoli nel Comune di Cagliari con particolare interesse per il settore Barracca Manna*; Cappai, 2007).

Per un inquadramento generale del territorio, si riporta di seguito quanto riportato nella relazione del consulente geologo (¹) in tale studio.

Nonostante l'area di Cagliari oggetto di studio sia quasi completamente urbanizzata, dalla bibliografia esistente e da un'attento rilevamento di campagna è stato possibile sviluppare una carta di caratterizzazione dei suoli utile poi all'analisi del paesaggio e finalizzata a fornire informazioni esaustive per lo studio dei deflussi superficiali di piena [...].

La classificazione dei suoli attraverso la quale è stata poi sviluppata una carta di dettaglio si è basata appunto nella distinzione dei suoli in tre gruppi (B-C-D) con differente conduttività idraulica come definiti dalla classificazione statunitense NRCS.

Per quanto riguarda i terreni dell'area oggetto di studio, per le loro peculiarità naturali quali il tipo di roccia madre che li determina e il tipo di rilievo che formano, nonché per il clima al quale sono soggetti, si può dire che generalmente non mostrano di aver subito processi pedogenetici molto avanzati. Generalmente i processi di urbanizzazione avvengono spesso in modo spontaneo, non pianificato o pianificato male. La città di Cagliari e tutto l'hinterland hanno subito infatti in pochi anni uno sviluppo urbanistico che, non tenendo conto della suscettività all'edificabilità, ha operato una scelta delle aree non finalizzata alla limitazione quando possibile del danno inevitabilmente arrecato alle risorse naturali, quali appunto i suoli e le acque.

Un'analisi della cartografia predisposta in periodi diversi permette di valutare l'esaurimento graduale dei suoli dovuto prevalentemente ad attività antropiche.

Prima dell'intensa urbanizzazione, oltre i limiti della zona edificata, il territorio di Cagliari e del suo hinterland era costituito da un paesaggio caratterizzato per lo più dalla viticoltura e dall'orticoltura.

¹ Si veda a tale proposito la relazione denominata "*Caratterizzazione geologico-Tecnica delle terre e analisi dei suoli nel comune di Cagliari con particolare interesse per il settore di "Barracca Manna"*". Dott. Geol. A. Cappai (2007) (non allegata al progetto).

Tabella 4 - Classificazione dei suoli del NRCS

GROUP	MEANING	SATURATED CONDUCTIVITY (in/h)
A	Low runoff potential. Soils having high infiltration rates even when thoroughly wetted and consisting chiefly of deep, well to excessively drained sands or gravels	<0.45
B	Soils having moderate infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of moderately deep to deep, moderately well to well-drained soils with moderately fine to moderately coarse textures. E.g., shallow loess, sandy loam	0.30 - 0.15
C	Soils having slow infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of soils with a layer that impedes downward movement of water, or soils with moderately fine to fine textures. E.g., clay loams, shallow sandy loam.	0.15 - 0.05
D	High runoff potential. Soils having very slow infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of clay soils with a high swelling potential, soils with a permanent high water table, soils with a clay-pan or clay layer at or near the surface, and shallow soils over nearly impervious material.	0.05 - 0.00

Per avere una visione di insieme da un punto di vista strettamente pedologico si può dire che sulle alluvioni recenti si sono formati Entisuoli, sulle alluvioni più o meno antiche Alfisuoli, si sono invece formati Inceptisuoli sulle formazioni carbonatiche mioceniche, e Vertisuoli nelle aree più pianeggianti all'interno delle precedenti. Nelle aree più prossime al mare e nelle lagune salate, infine, i suoli erano rappresentati da Aridosuoli.

Il prelievo di acqua dalle falde superficiali e profonde, con portate superiori a quella di regime, vale a dire in quantità superiore alla ricarica, ha determinato un abbassamento dei livelli delle falde con conseguente ingressione di acque salmastre. L'utilizzo per l'irrigazione di queste acque caratterizzate da percentuali elevate di sali solubili ha determinato l'aumento di Aridosuoli.

I suoli sono in generale, classificati sulla base delle caratteristiche fisiche e chimiche presenti nei loro orizzonti.

La classificazione Soil Taxonomy pone l'accento sui caratteri interni dei profili, identificando orizzonti diagnostici e caratteristiche diagnostiche, definendoli con metodo statistico. Un orizzonte diagnostico è un orizzonte dotato di proprietà chimiche fisiche e morfologiche (colori, profondità, volumi, densità ecc), definite quantitativamente, ed essenziali ai fini di una caratterizzazione del comportamento in determinate condizioni ambientali.

In particolare, per questo studio è stata definita l'appartenenza dei diversi tipi di orizzonti riscontrati nell'area, ai gruppi idrologici.

La definizione dei gruppi di suoli idrologici, vale a dire quei suoli sufficientemente umidi nella parte superficiale da permettere l'instaurarsi di condizioni anaerobiche durante la stagione dello sviluppo, si articola in quattro classi: A, B, C, D.

Solamente tre di queste, e precisamente le classi B, C, D, sono tuttavia riscontrabili nell'area di studio oggetto dell'incarico.

L'attribuzione dei terreni dell'area esaminata a ciascuna delle classi suddette è avvenuta mediante comparazione tra le proprietà geologiche, meccaniche e pedologiche, nonché delle caratteristiche di permeabilità (note in letteratura e riscontrate di volta in volta mediante rilievo diretto), dei terreni stessi con le peculiarità dei terreni caratterizzanti le classi della NRCS.

Di sotto si riportano per maggiore chiarezza di esposizione le qualità specifiche di ciascuna classe:

Classe B. I suoli facenti parte di questa classe presentano un moderato grado di infiltrazione in condizioni di forte umidità. Si tratta principalmente di suoli da moderatamente profondi a profondi, da moderatamente ben drenati a ben drenati, con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Possiedono un moderato grado di conduttività idraulica.

Classe C. I suoli appartenenti a questa classe presentano un basso grado di infiltrazione in condizioni di forte umidità. Consistono principalmente in suoli che mostrano un orizzonte che impedisce i movimenti verso il basso dell'acqua, o che presentano tessitura da moderatamente fine a fine. Mostrano un basso grado di conduttività idraulica.

Classe D. I suoli ascrivibili a questa ultima classe presentano un grado di infiltrazione molto basso in condizioni di forte umidità. Consistono principalmente in suoli argillosi ad alto potenziale di immagazzinamento, in suoli con falda sempre presente, in suoli con orizzonti argillosi superficiali o poco profondi, e in suoli superficiali su substrato impermeabile. Posseggono un grado molto basso di conduttività idraulica.

La determinazione delle classi caratterizzate da una differente conduttività idraulica e la conseguente attribuzione dei terreni a ciascuna di queste classi ha permesso la realizzazione di una carta di sintesi che mostra la distribuzione nell'area di tali classi. Come si osserva, la classe B, che presenta valori di conduttività idraulica compresi tra 0.30 e 0.15 in/hr, è quella maggiormente rappresentata, comprendo da sola il 72,85% del territorio.

Il 25,40% del territorio è invece occupato da suoli con grado di infiltrazione molto basso, facenti parte della classe D, caratterizzata da valori di conduttività idraulica compresi 0.15 e 0.05.

La classe meno presente è la classe C, nella misura del 1,75%, e caratterizzata da un valore di conduttività compreso tra 0.05 e 0.00.

Uso del suolo

La carta di uso del suolo è stata utilizzata come dato di importanza complementare rispetto a quella della classificazione effettuata sulla base della conduttività idraulica. Anche in questo caso, l'indagine effettuata nel citato studio pedologico (Cappai, 2007) ha fornito gli elementi di valutazione per giungere alla caratterizzazione idrologica completa del suolo. La carta di uso del suolo è consegnata in allegato 2.4.

Nel seguito si riporta testualmente la parte dello studio riguardante l'uso del suolo.

[...] Il materiale ancillare reperito ed utilizzato per la redazione di questa carta è costituito dalla carta dell'Uso del Suolo in scala 1:25.000 della Regione Autonoma della Sardegna, dalla C.T.R. in scala 1:10.000, dalle immagini satellitari Ikonos 2005, reperibili attraverso il portale del S.I.T.R./I.D.T. della Regione Sardegna. L'analisi di tale materiale, ha permesso il riconoscimento di elementi territoriali molto aggiornati, consentendo la definizione di un quadro attuale e veritiero dell'utilizzo del territorio all'interno del Comune di Cagliari

L'operazione di fotointerpretazione è stata coadiuvata da una campagna di rilievi e di osservazioni sul campo volti ad effettuare una verifica puntuale dei dati fotointerpretati. Le operazioni sopra citate hanno permesso la definizione di undici classi di uso del suolo, di seguito sommariamente descritte:

- Territori agricoli. Comprendono le superfici coltivate regolarmente e sottoposte a sistemi colturali.*
- Prati, pascoli incolti. Comprendono aree a copertura erbacea rada o nulla ove è possibile riconoscere i segni di una sorta di avvicendamento con vecchi sistemi colturali.*
- Prati, pascoli in buone condizioni. Comprendono aree a copertura erbacea densa.*
- Zone a copertura rada o nulla. Comprendono aree in cui non sono riconoscibili segni di copertura vegetale*
- Spazi aperti, parchi, impianti sportivi e cimiteri con buona copertura vegetale. Spazi ricoperti da vegetazione in buono stato di manutenzione compresi nel tessuto urbano. Ne fanno parte parchi urbani di varia natura.*
- Spazi aperti, parchi, impianti sportivi e cimiteri con discreta copertura vegetale. Spazi ricoperti da vegetazione in discreto stato di manutenzione compresi nel tessuto urbano. Ne fanno parte parchi urbani di varia natura.*
- Aree commerciali. Aree a copertura artificiale senza vegetazione al servizio di strutture commerciali.*
- Aree industriali e di servizio. Aree a copertura artificiale senza vegetazione al servizio di strutture produttive o industriali. Comprendono le strutture ospedaliere.*

- *Tessuto urbano continuo. Spazi strutturati dagli edifici e dalla viabilità.*
- *Tessuto urbano rado o discontinuo. Zone urbane discontinue con ampi spazi aperti.*
- *Viabilità e parcheggi pavimentati. Aree a copertura artificiale utilizzate per la viabilità e per i parcheggi. In carta è rappresentata solo la viabilità principale.*

[...] la ripartizione del territorio nelle varie classi è abbastanza omogenea, fatta eccezione per alcune classi presenti in maniera marginale, come ad esempio i territori agricoli e le zone adibite a prato e pascolo. Per contro, come facilmente prevedibile, trattandosi di un'area urbana, il tessuto urbano continuo rappresenta la classe più estesa

2.6 MODELLO DI TRASFORMAZIONE

Il calcolo delle portate defluenti in rete è stata effettuata con un modello distribuito di trasformazione afflussi-deflussi fisicamente basato sulle caratteristiche dei bacini interessati dalle aree in esame, implementato dal software Storm Water Management Model SWMM (USEPA, 1988). Il modello adottato concettualizza il sistema di drenaggio urbano come una serie di flussi calcolati secondo una formulazione deterministica della dinamica dei processi idrologici che si realizzano nel bacino idrografico. La metodologia applicata si articola in fasi successive che prevedono l'utilizzazione di ietogrammi di progetto sintetici determinati sulla base delle curve di possibilità di pluviometrica individuate per la zona in esame e per l'orizzonte temporale di riferimento.

La procedura SWMM fa riferimento ad un modello fisico completo per l'analisi quantitativa e qualitativa del processo di deflusso della rete di drenaggio in ambito urbano. Nella letteratura scientifica esso è indicato come uno degli strumenti più efficienti per simulare adeguatamente i processi idrologici e idraulici che si realizzano nei bacini urbani, con il vantaggio dell'adattabilità al mutare delle condizioni al contorno e dei dati in input.

La validazione scientifica del modello è fornita dalla provenienza degli algoritmi impiegati e dal loro uso divenuto ormai uno standard di riferimento. Il modello, che è ampiamente accettato in ambito scientifico, effettua la simulazione nel tempo discreto ed implementa una procedura che utilizza il principio di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto nei differenti casi di applicabilità rappresentati nella rete.

I processi fisici simulati nel modello sono i seguenti: deflusso superficiale, infiltrazione, acque sotterranee, manto nevoso, propagazione dell'onda di piena, entità dei processi di allagamento e diffusione degli inquinanti. I processi sono simulati applicando per ciascuno di essi il relativo approccio sviluppato per la soluzione del problema fisico specifico. Il processo di infiltrazione è stato modellato con il metodo del Curve Number (NRCS); tale approccio assume che la capacità di infiltrazione totale del suolo dipenda dalla pioggia cumulata e dalla capacità di infiltrazione residua sulla base di un parametro tabellato (CN) della conduttività idraulica e del tempo che impiega il suolo saturo a diventare secco.

Tabella 5 – Valore del Curve Number sulla base della classificazione dei suoli (da *SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, 2nd Ed*)

LAND USE DESCRIPTION		NRCS Soil Group			
		A	B	C	D
Cultivated land					
Without conservation treatment		72	81	88	91
With conservation treatment		62	71	78	81
Pasture or range land					
Poor condition		68	79	86	89
Good condition		39	61	74	80
Meadow					
Good condition		30	58	71	78
Wood or forest land					
Thin stand, poor cover, no mulch		45	66	77	83
Good cover ²		25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
Good condition: grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80
Fair condition: grass cover on 50 - 75% of the area		49	69	79	84
Commercial and business areas (85% imperv.)		89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)		81	88	91	93
Residential ³					
Average lot size (% Impervious ⁴)					
1/8 ac or less (65)		77	85	90	92
1/4 ac (38)		61	75	83	87
1/3 ac (30)		57	72	81	86
1/2 ac (25)		54	70	80	85
1 ac (20)		51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. ⁵		98	98	98	98
Streets and roads					
Paved with curbs and storm sewers ⁵		98	98	98	98
Gravel		76	85	89	91
Dirt		72	82	87	89

La trasformazione dell'afflusso meteorico lordo in deflusso è stata effettuata sulla base della precipitazione, delle caratteristiche pedologiche e di uso del suolo, dei parametri climatici e della rete di dreno; il modello restituisce i valori delle grandezze incluse nel bilancio idrologico del bacino idrografico (volumi defluiti, infiltrati, evaporati, concentrazione degli inquinanti) nonché l'andamento nel tempo dei volumi immessi in rete e consegnati al recapito finale o dispersi.

2.7 STIMA DELLE PERDITE DI BACINO

Nella carta di uso del suolo, ciascuno degli usi è stato codificato con un identificativo e riportato nel sistema informativo territoriale insieme al tematismo riguardante la caratterizzazione del suolo sulla base del coefficiente di conduttività idraulica. L'intersezione tra i due temi ha prodotto una fitta parcellizzazione dell'area in studio essendo ciascuna area individuata e differenziata sia per il parametro di conduttività che per l'uso del suolo. A ciascuna delle suddette parcelle è stato attribuito il parametro CN il quale, mediato sulla delimitazione dei bacini idrografici di interesse, ha consentito di calcolarne il parametro medio per l'intera estensione.

Operativamente, il valore del parametro CN è stato attribuito come media pesata sulle estensioni di ciascuna area omogenea. Sempre per ciascun bacino di interesse, il valore del parametro calcolato relativamente alle condizioni AMC di tipo II è stato ricalibrato per le condizioni più critiche di umidità del suolo nel periodo immediatamente antecedente l'evento di pioggia, ovvero corrispondente alla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition) di tipo III.

Tabella 6 - Valori del parametro CN attribuito a ciascun sottobacino

SEZIONE	CN
S56.2	85.2
S57.2	84.7
S70.1	78.0
S70.2	78.0
S43.1a	81.3
S46.1	81.0

2.8 PORTATE DI PROGETTO ALLE SEZIONI DI CONTROLLO

Il modello idrologico ha consentito il calcolo delle portate in arrivo alle sezioni di interesse del collettore 70. In particolare nella sezione S57.2, posta in corrispondenza del collettore 57, esso riceve il deflusso in arrivo dalla via Peretti e del bacino ad esso allacciato mediante la rete di captazione.

Sulla base del tracciato individuato per il collettore 70, esso accoglie i deflussi provenienti dai bacini gravanti sull'abitato e sottesi dalla rete di captazione. In particolare:

- portate in arrivo al collettore 57,
- deflusso del bacino sotteso alla sezione S56.2
- deflusso del bacino sotteso dalla sezione S43.1, il quale attualmente confluisce nel collettore 43 di via Toti e quindi in piazza Italia;
- deflusso del bacino sotteso dalla sezione S70.2, che esso intercetta lungo il tratto di via S. M. Goretti;
- deflusso del bacino S70.1 in via degli Astri

f) deflusso del bacino S46.1

Sempre in via degli Astri la portata collettata si immetterà sul tronco esistente del collettore 70 con il parallelismo del condotto del rio Saliu ed infine nel canale Terramaini mediante uno scarico con soglia a quota 0.48 m slm.

Per una indicazione sulla disposizione dei bacini intercettati dal tracciato del collettore si rimanda alla Figura 6.

Nella Figura 12 sono invece consegnati gli idrogrammi relativi al deflusso nelle sezioni indicate le quali sottendono i bacini gravanti sul collettore 70 e da esso intercettati.

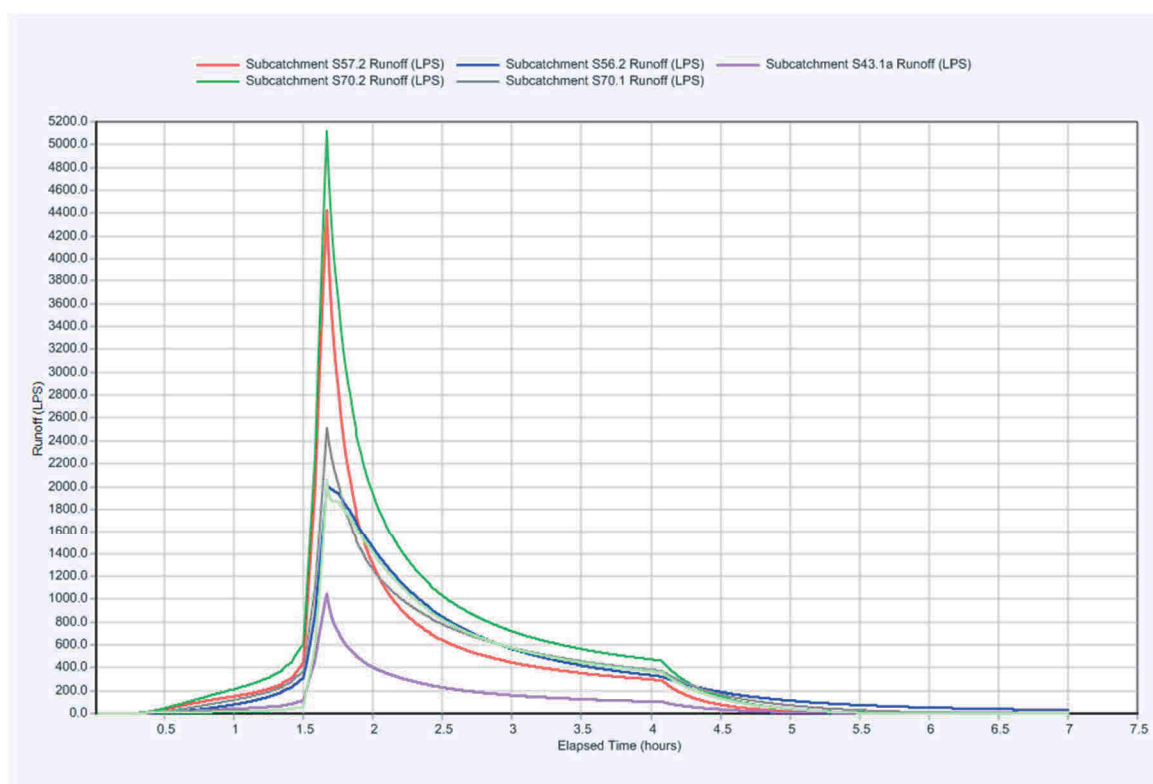


Figura 12 - Idrogrammi del deflusso relativo ai bacini S57.2, S56.2, S43.1a, S70.1 e S70.2 per un evento con tempo di ritorno di 20 anni e durata 4 ore.

Nella relazione idraulica che segue, ciascuno dei contributi di tali sottobacini sarà attribuito al nodo individuato lungo il tracciato e considerato come recapito della rete di captazione del bacino di riferimento.