

# Scenari di mitigazione del rischio idraulico residuo per il caso di studio in Sardegna

**Report n.2 - Prodotto T2.2.3. redatto da:**

Ilaria Gnecco

Anna Palla

## Sommario

Premessa.....	3
1 Il caso di studio .....	4
1.1 Analisi del contesto .....	4
1.2 Informazioni territoriali .....	4
1.3 La permeabilità dell'area ante intervento COLANDER .....	9
1.4 Dati pluviometrici.....	10
2 Implementazione del modello semplificato per il rischio idraulico IDRORES .....	11
2.1 Schematizzazione degli elementi.....	11
2.2 Parametri idrologici-idraulici degli elementi.....	12
3 La condizione attuale di rischio .....	13
4 Azioni per la mitigazione del rischio idraulico .....	15
4.1 Pavimentazioni drenanti .....	15
4.2 Giardini di pioggia.....	18
4.3 Scenari di intervento .....	19
5 Risultati .....	19
5.1 Scenario con sistemi secchi .....	20
5.2 Scenario con sistemi umidi.....	23
6 Conclusioni.....	24
Riferimenti bibliografici.....	25

## Premessa

Tale documento costituisce il Report n.2 del prodotto T.2.2.3. relativo all'attività T.2.2 "Modellazione del rischio idraulico residuo per il caso pilota principale ed i casi di studio semplificati" ed illustra i risultati relativi all'analisi di rischio idraulico residuo per quanto riguarda il caso di studio di Solarussa, selezionato nel territorio Sardo.

Il presente report tecnico è organizzato in 5 sezioni principali:

- nella prima sezione viene descritto nel dettaglio il contesto in cui si colloca il caso di studio; vengono elencate le informazioni reperite al fine dell'implementazione del caso nella piattaforma e vengono riportate le analisi condotte per quanto riguarda la permeabilità dell'area ed il regime di precipitazione;
- nella seconda sezione viene illustrato lo schema modellistico implementato nella piattaforma TRIG-Eau;
- nella terza sezione viene presentata la condizione di rischio idraulico attuale;
- nella quarta sezione viene formalizzato e progettato l'intervento per la mitigazione del rischio idraulico attuale, ovvero la realizzazione dell'intervento pilota COLANDER;
- nella quinta sezione viene descritta la condizione di rischio idraulico residuo ovvero la condizione di rischio post – installazione dei sistemi proposti.

## 1 Il caso di studio

### 1.1 Analisi del contesto

L'isolato di via Grazia Deledda nel Comune di Solarussa, dove è stato realizzato il progetto pilota COLANDER finanziato nell'ambito del progetto TRIG Eau è stato selezionato quale caso di studio per l'applicazione del modello di rischio idraulico residuo sviluppato nell'ambito del progetto TRIG Eau.

L'isolato di via Grazia Deledda ha una natura prevalentemente residenziale a bassa densità abitativa ma antecedentemente alla realizzazione dell'intervento pilota presentava limitate aree permeabili. L'isolato nel corso degli eventi alluvionale del 2013 ha subito allagamenti, dovuti principalmente all'insufficienza del canale tombato che delimita l'isolato. L'intervento pilota COLANDER "Create Opportunity in LANDscape in Enviroment Risk" realizzato nel corso del progetto TRIG Eau ha previsto la realizzazione di aree di sosta in pavimentazione drenante e di aree vegetate progettato per l'immagazzinamento temporaneo (giardini di pioggia) delle acque meteoriche al fine di ridurre lo scorrimento superficiale.

In Figura 1 è riportata l'ortofoto dell'area di studio con un focus sull'isolato oggetto dell'intervento pilota COLANDER.



Figura 1: Ortofoto dell'area di studio nel comune di Solarussa (Solarussa): l'isolato di via Grazia Deledda e l'intervento pilota COLANDER. Fonte dei dati: Regione Sardegna

### 1.2 Informazioni territoriali

La caratterizzazione dell'area di studio è avvenuta reperendo tutte le informazioni disponibili. In particolare, per quanto riguarda i dati spaziali, le seguenti informazioni sono state reperite nella forma di mappe georiferite (.shp o GEOTIFF) :

- Perimetrazione dell'area di studio;
- Ortofoto;
- Litologia;
- Uso del suolo;
- Modello digitale del terreno e delle superfici.

Gli estratti delle sopradette mappe sono illustrati nelle Figure 2 – 5.



Figura 2: Estratto dell'ortofoto del Comune di Solarussa e perimetrazione dell'area di studio: isolato di via Grazia Deledda ed intervento pilota COLANDER (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Sardegna



Figura 3: Estratto della mappa relativa alla litologia del Comune Solarussa e perimetrazione dell'area di studio: isolato di via Grazia Deledda ed intervento pilota COLANDER (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: PUC di Solarussa.



Figura 4: Estratto della mappa relativa all'uso del suolo del Comune Solarussa e perimetrazione dell'area di studio: isolato di via Grazia Deledda ed intervento pilota COLANDER (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Provincia di Oristano

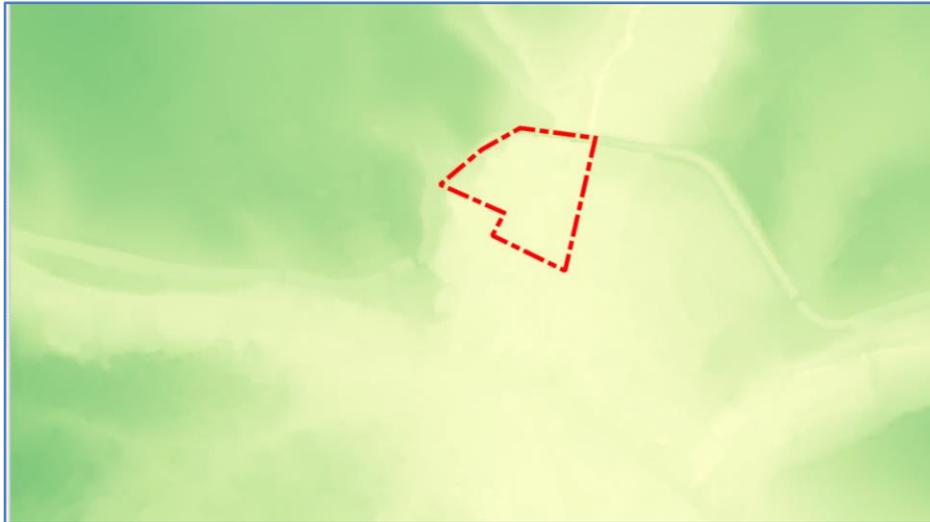


Figura 5: Estratto della Modello digitale del terreno (1mx1m) e perimetrazione dell'area di studio: isolato di via Grazia Deledda ed intervento pilota COLANDER (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana, dtm\_006\_2008\_3003.

In riferimento alle informazioni planimetriche della rete di drenaggio delle acque meteoriche è stata visionata la tavola di progetto della rete esistente e rete di nuova realizzazione fornita dal Comune di Solarussa in formato .dwg (cfr. Figura 6).

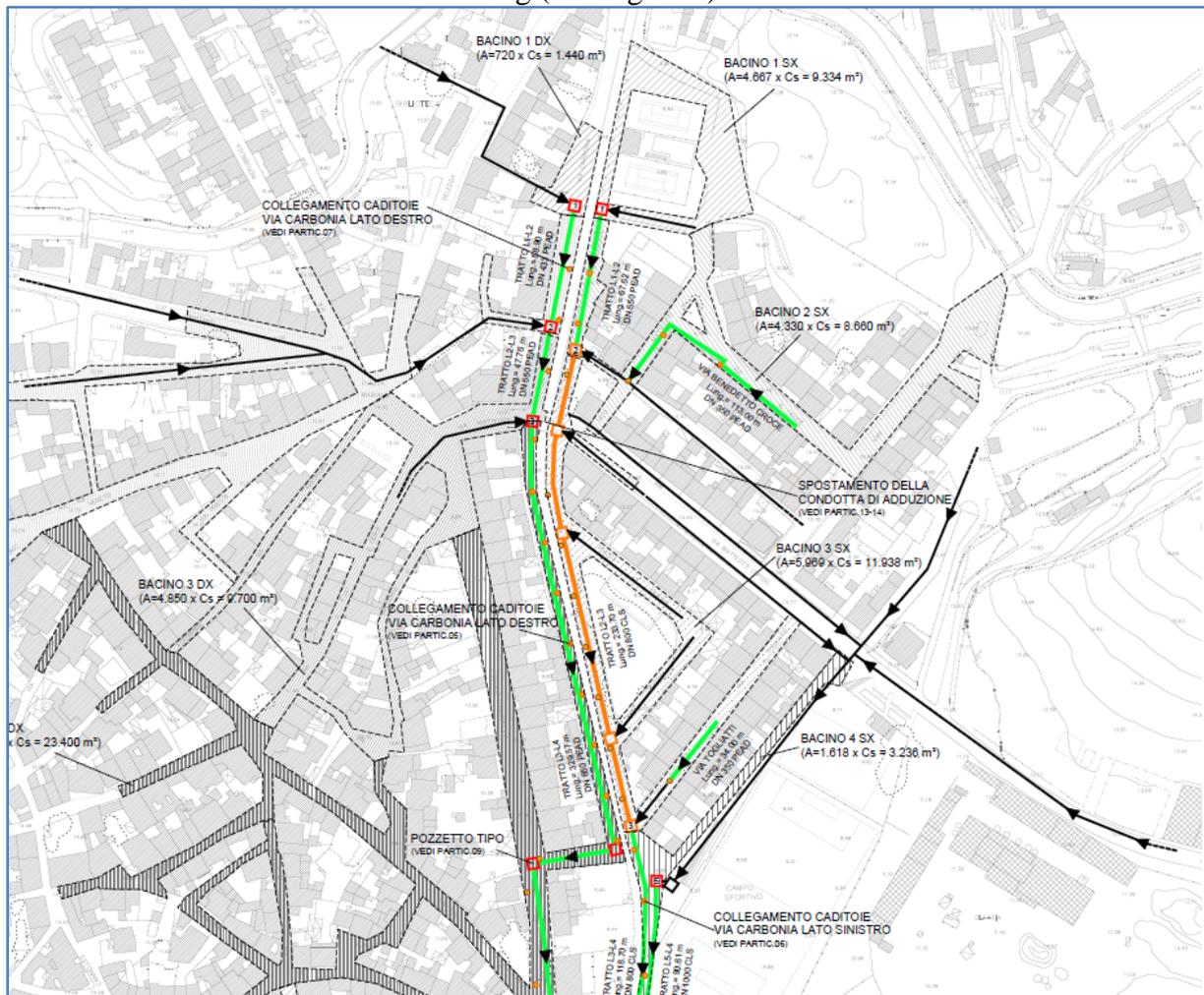


Figura 6: Estratto della tavola Individuazione delle opere di progetto (rete di smaltimento delle acque meteoriche) quali interventi urgenti per la sicurezza e per il ripristino di infrastrutture per opere pubbliche danneggiate dall'alluvione del 18-19 novembre 2013. Fonte: Comune di Solarussa.

Le seguenti altre informazioni spaziali di dettaglio relative all'intervento pilota COLANDER sono state messe a disposizione nell'ambito del progetto TRIG Eau in formato .dwg:

- Masterplan di progetto;
- Planimetria architettonica di progetto;
- Particolari architettonici esecutivi;
- Impianti di progetto.

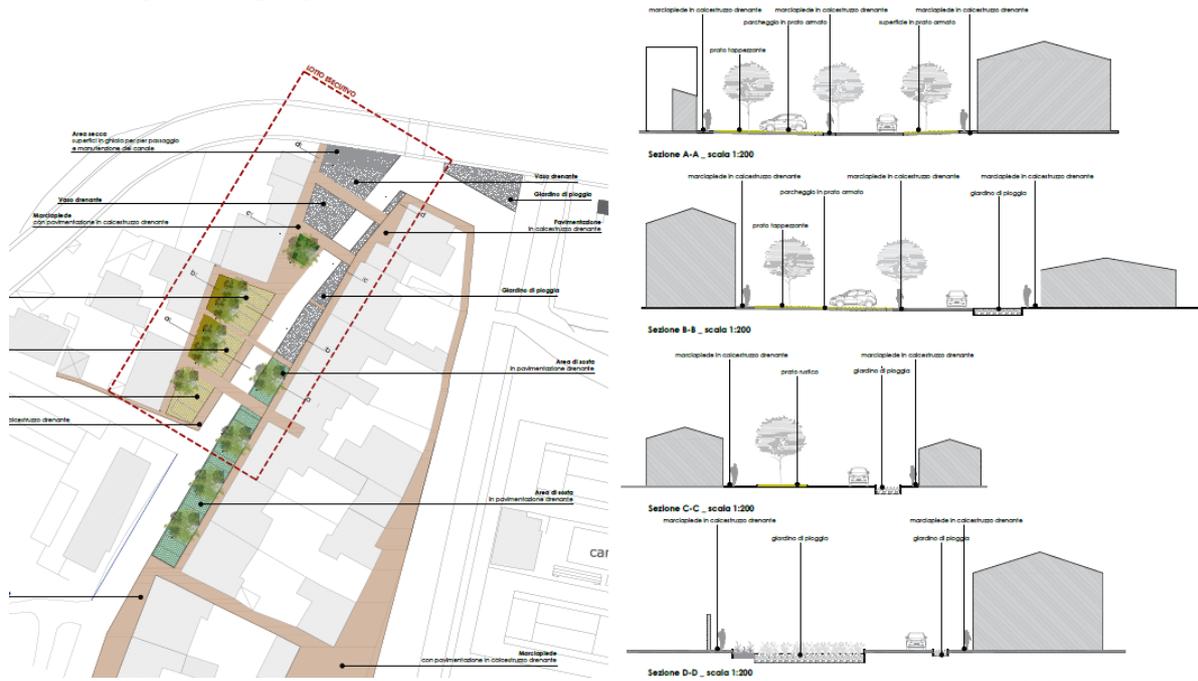


Figura 7: Estratto della tavola "Masterplan di progetto", con indicazione del lotto esecutivo, dell'intervento pilota COLANDER.



Figura 8: Estratto della tavola "Planimetria architettonica di progetto" dell'intervento pilota COLANDER.

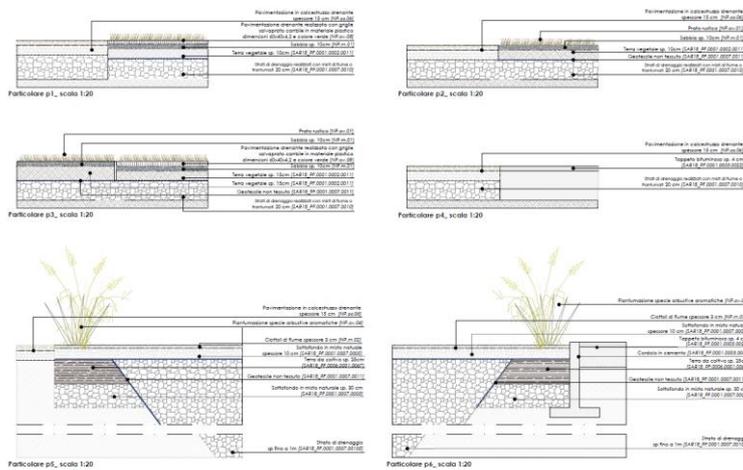


Figura 9: Estratto della tavola "Particolari architettonici esecutivi" dell'intervento pilota COLANDER.



Figura 10: Estratto della tavola “Impianti di progetto” dell’intervento pilota COLANDER.

### 1.3 La permeabilità dell’area ante intervento COLANDER

Per l’analisi della permeabilità dell’area ante intervento COLANDER si è fatto riferimento alla carta relativa all’uso ed alla copertura del suolo nonché all’ortofoto.

La carta relativa alla copertura e all’uso del suolo riporta per l’area di studio una sola classe relativa a tessuto residenziale compatto e denso. La classificazione è stata dettagliata mediante l’analisi dell’ortofoto ed in particolare sono state definite due macro classi, aree impermeabili ed aree permeabili a cui fanno riferimento rispettivamente le seguenti categorie di uso del suolo:

- Per le aree impermeabili: tetti, strade e parcheggi;
- Per le aree permeabili: giardini.

Nella Tabella 1 si riportano i risultati relativi alla permeabilità dell’area di studio, in particolare l’isolato di via Grazia Deledda, ante intervento COLANDER si conferma un’area poco permeabile con una percentuale di aree impermeabili pari al 93% di cui una porzione significativa è destinata alla viabilità ed alle aree di sosta (strade e parcheggi). La percentuale di aree destinate a edificati (tetti pari a 43%) così come quella destinata alla viabilità interna (50%) sono coerenti con la natura residenziale compatta e densa.

Categoria di Uso del suolo	Area [ha]	Area [%]
Tetti	0.1821	43.2%
Strade e Parcheggi	0.2114	50.2%
<b>Tot Area Impermeabile</b>	<b>0.3935</b>	<b>93.4%</b>
Giardini	0.0277	6.6%
<b>Tot Area Permeabile</b>	<b>0.0277</b>	<b>6.6</b>
<b>Tot</b>	<b>0.4212</b>	<b>100.0%</b>

Tabella 1: Uso del suolo dell'area di studio e categorizzazione in aree permeabili ed impermeabili.

#### 1.4 Dati pluviometrici

Il regime pluviometrico per l'area oggetto di studio è stato valutato facendo riferimento allo studio regionale "Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia, sintesi del rapporto regionale Sardegna" per quanto riguarda la determinazione degli eventi di progetto.

Per quanto concerne gli eventi di progetto si è fatto riferimento alla stima regionale delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) valutate sull'area dello studio, in particolare la regionalizzazione fa riferimento a due leggi di potenza monomia per la stima della pioggia indice e del fattore di crescita:

$$\mu(d) = a_1 \cdot d^{n_1}$$

$$K(d, T) = a_2(T) \cdot d^{n_2(T)}$$

$$h(d, T) = \mu(d) \cdot K(d, T) = a_1 \cdot a_2(T) \cdot d^{n_1+n_2(T)}$$

dove  $\mu(d)$  è la pioggia indice per la durata  $d$ ,  $K(d, T)$  è il coefficiente di crescita per la durata assegnata e per il periodo di ritorno  $T$  e  $h(d, T)$  è la massima altezza di assegnata durata e periodo di ritorno. I parametri  $a_1$  e  $n_1$  sono valutabili in funzione della pioggia indice giornaliera stimata nel terzo livello di regionalizzazione, mentre i parametri  $a_2(T)$  e  $n_2(T)$  sono valutabili in funzione della sottozona omogenea.

L'area di studio si trova nella sottozona omogenea 1 (SZO 1) ed è stata stimata una pioggia indice giornaliera pari a 45 mm per la quale si ottengono i valori di 20.4 mm/h<sup>n</sup> e 0.29 rispettivamente per  $a_1$  e  $n_1$ .

Nella Tabella seguente per i periodi di ritorno di interesse nelle valutazioni di rischio idraulico in contesto urbano si riportano i valori dei parametri  $a_2(T)$  e  $n_2(T)$  valutati per l'area di studio.

Parametri Fattore di crescita	Periodo di ritorno [anni]		
	2	5	10
Coefficiente $a_2$	0.92	1.26	1.52
Esponente $n_2$	-0.0043	-0.0097	-0.0138

Tabella 2: Parametri della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica per l'area di studio dell'isolato di via Grazia Deledda e dell'intervento COLANDER, desunti dalla Regionalizzazione delle precipitazioni intense per la Sardegna, SZO 1

Gli eventi di progetto sono stati definiti facendo riferimento allo Ietogramma Chicago (Keifer e Chu, 1957), con un tempo di base pari a 30 minuti ed una scansione temporale fine pari a 5 minuti, nell'obiettivo di simulare la componente critica per l'area in esame, ovvero al fine di simulare le massime portate temibili nella rete di drenaggio per assegnato periodo di ritorno.

In Figura 11 sono illustrati gli ietogrammi di progetto per l'area di studio dell'isolato di via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER valutati per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

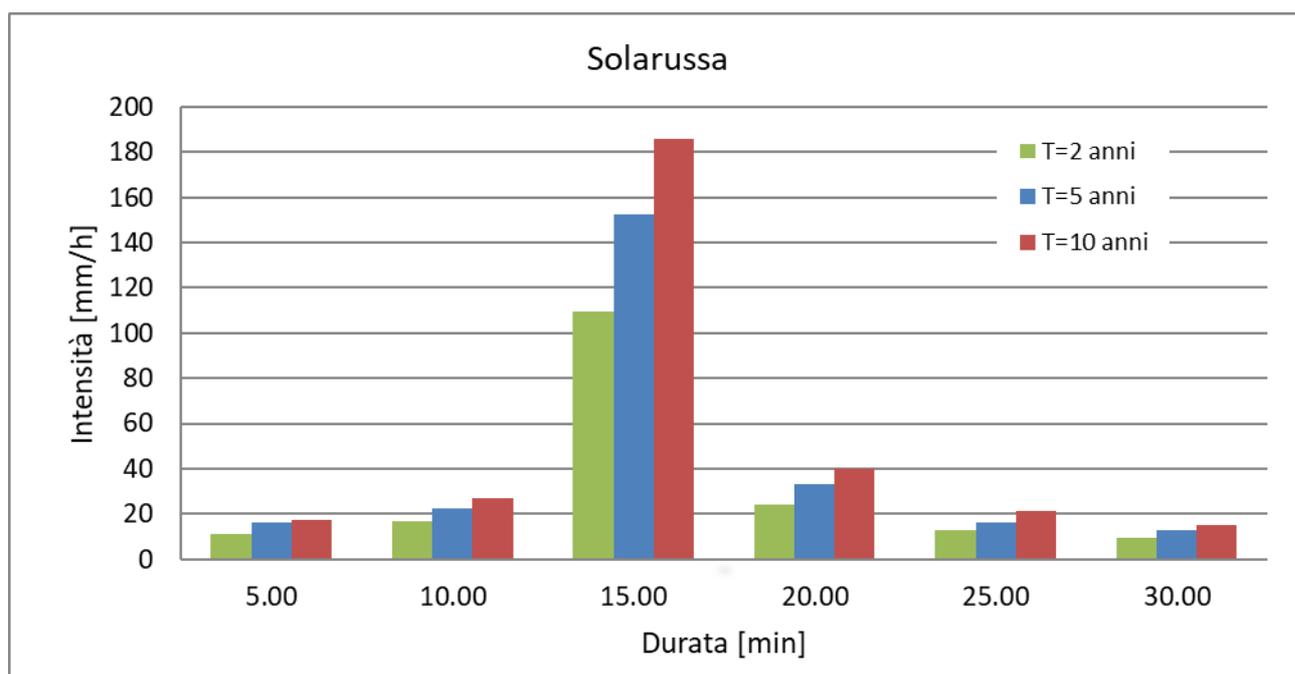


Figura 11: Ietogrammi di progetto per l'area di studio dell'isolato di via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

## 2 Implementazione del modello semplificato per il rischio idraulico IDRORES

Il modello semplificato per il rischio idraulico residuo consente di misurare gli effetti degli interventi di drenaggio urbano sostenibile (altrimenti dette infrastrutture verdi) in termini di riduzione del rischio idraulico.

Il modello è stato implementato per quanto concerne il caso di studio sulla base delle informazioni territoriali facendo riferimento ad una schematizzazione di dettaglio.

### 2.1 Schematizzazione degli elementi

L'isolato di via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ha un'estensione complessiva pari a 0.42 ed è stato restituito nella piattaforma modellistica TRIG-Eau, utilizzando uno schema di dettaglio per quanto riguarda la rete di drenaggio ed i relativi sottobacini contribuenti, in particolare il criterio di discretizzazione spaziale per la rete ha seguito il progetto definitivo in riferimento alla rete principale, mentre per i sottobacini ha seguito l'approccio di categoria di uso del suolo omogenea.

Per quanto riguarda la rete di drenaggio sono stati definiti 9 nodi e 7 condotte come riportato in Figura 12 in conformità con quanto riportato nelle tavole di progetto. In Figura 12 il tracciato della rete di drenaggio delle acque meteoriche è riportato con una linea nera, dove il diametro di ciascuna condotta è indicato come un'etichetta blu (diametro espresso in cm) mentre la pendenza è indicata con un'etichetta nera.

Per quanto riguarda i sottobacini sono stati restituiti nella piattaforma TRIG-Eau, 26 sottobacini caratterizzati dalle seguenti categorie di uso del suolo:

- G-Giardini;
- P- parcheggi;
- S-Strade;
- T- superfici a tetto.

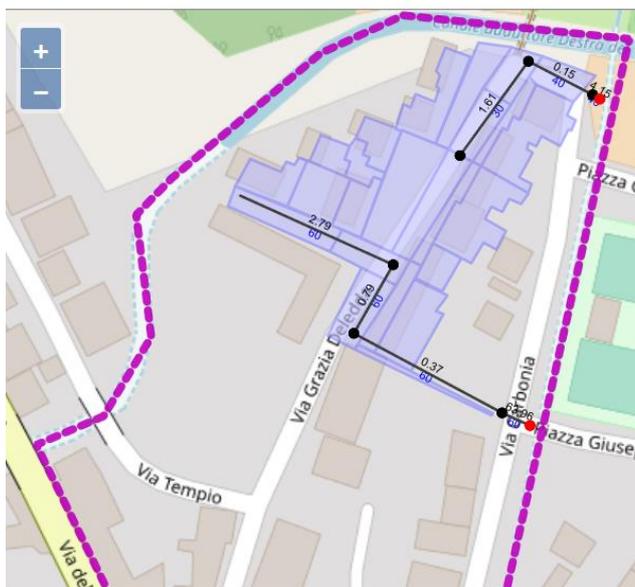


Figura 12: Implementazione nella piattaforma TRIG Eau del caso di studio dell'isolato di via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER. Indicazione dei sottobacini (poligoni azzurri) e della rete di drenaggio delle acque meteoriche (linea nera) comprensiva di valori dei diametri in cm (etichette blu) e delle pendenze (etichette nere) di ciascun ramo.

## 2.2 Parametri idrologici-idraulici degli elementi

Ciascun tratto di rete viene descritto mediante le sue caratteristiche geometriche (diametro, pendenza) nonché un parametro idraulico che ne descrive la resistenza al moto, ovvero la scabrezza. Nel presente modello in conformità ai materiali indicati negli elaborati di progetto (PVC) si è fatto riferimento ad un coefficiente  $n$ -di Manning per le condotte pari a  $0.013 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Ciascun sottobacino viene altresì descritto mediante le sue caratteristiche geometriche (area, pendenza), nonché parametri idraulici che ne descrivono la resistenza al moto per lo scorrimento superficiale (scabrezza) e parametri idrologici che ne descrivono le perdite ovvero la capacità di infiltrazione dei deflussi. Per quanto riguarda la modellazione delle perdite idrologiche si è fatto riferimento al modello del SCS – CN (SCS, 1972). In particolare, per le 4 categorie di uso di suolo omogenee definite nel presente progetto si sono assegnati i seguenti valori dei parametri idrologici ed idraulici come riportato in Tabella 3.

Sottobacino	CN	% <sub>imp</sub>	$n_{\text{imp}}$	$n_{\text{perv}}$
Giardini	50	35	0.011	0.13
Parcheggi	85	80	0.011	0.13

Strade	90	95	0.011	0.13
Tetti	95	100	0.011	0.13

Tabella 3: Percentuale di area impermeabile, parametri idrologico (CN) ed idraulici ( $n$ -manning per la porzione impermeabile e per la porzione permeabile) di ciascuna categoria di sottobacini

### 3 La condizione attuale di rischio

Per l'analisi della condizione di rischio attuale si fa riferimento all'implementazione di una mappa georeferenziata, per una valutazione speditiva, ed alla valutazione di due indicatori numerici di rischio, per una valutazione completa. La condizione di rischio viene valutata per i tre eventi di progetto relativi ai valori di periodo di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

La condizione attuale di rischio idraulico viene valutata graficamente visualizzando una mappa illustrante il grado di riempimento massimo degli elementi della rete di drenaggio nonché il coefficiente di deflusso associato a ciascun sottobacino. I tratti di rete che presentano un grado di riempimento da considerarsi a rischio, ovvero un grado di riempimento superiore a 0.8 sono riportati in rosso per una rapida visualizzazione delle criticità.

Gli indicatori relativi alla condizione di funzionamento della rete di drenaggio, sono definiti in accordo con quanto proposto da Ercolani et al. (2018) e vengono calcolati come segue:

- NSI (Indice di Stress della Rete) calcolato come il numero di rami che presentano un grado di riempimento massimo superiore o pari a 0.8 rispetto al numero di rami totale;
- NFI (Indice di Allagamento dei nodi) calcolato come il numero che presentano allagamento rispetto al numero di nodi totale.

La condizione attuale di rischio del caso di studio si dimostra nulla in quanto dalla valutazione dell'insufficienza idraulica anche per l'evento più severo con periodo di ritorno decennale non si osserva nessun sovraccarico della rete. Le problematiche riscontrate nell'area negli eventi alluvionali del 2013 furono causati infatti dalla totale assenza della rete di drenaggio mentre per queste simulazioni è stata implementata la rete di drenaggio prevista a progetto che risulta anche alla luce di queste simulazioni dimensionata correttamente per lo smaltimento della portata di progetto con periodo di ritorno decennale.

Le valutazioni specifiche mediante mappe del massimo grado di riempimento dei rami ed analisi degli indicatori NSI- Indice di Stress della Rete ed NFI- Indice di Allagamento dei nodi sono riportate nelle Figure 13, 14 e 15 rispettivamente per gli eventi con periodo di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

In particolare si osserva che nella condizione attuale il rischio idraulico è nullo anche per l'evento più severo, come atteso vista la recente rete di drenaggio correttamente progettata per smaltire la portata di progetto di periodo di ritorno decennale.

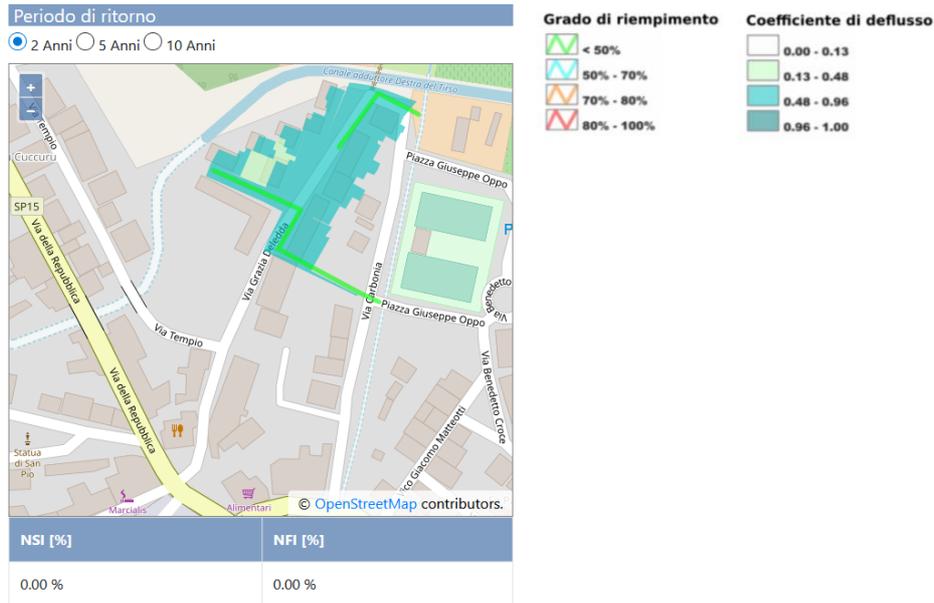


Figura 13: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI-Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.

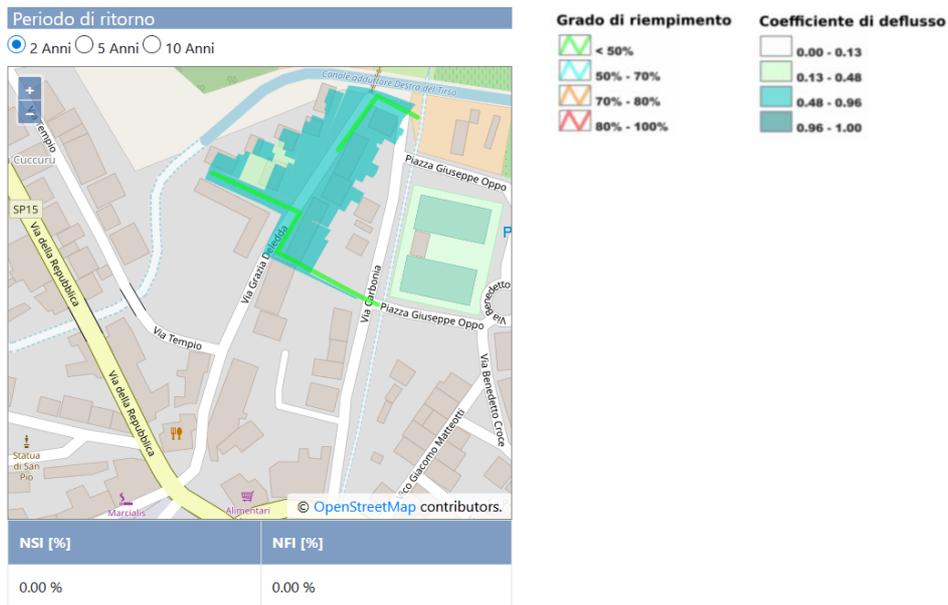


Figura 14: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI-Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.

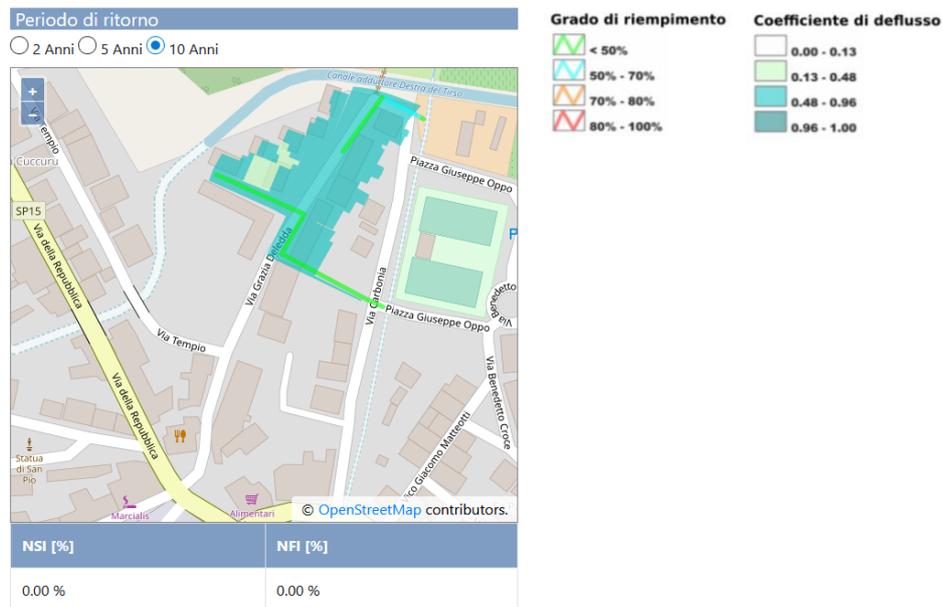


Figura 15: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.

## 4 Azioni per la mitigazione del rischio idraulico

L'azione prevista per la mitigazione del rischio idraulico nel caso di studio è la realizzazione dell'intervento pilota COLANDER finanziato e realizzato nel corso del progetto TRIG Eau. L'intervento pilota COLANDER ha previsto la realizzazione di pavimentazioni drenanti per le aree di sosta e di giardini di pioggia per l'immagazzinamento temporaneo delle acque meteoriche con il duplice obiettivo di migliorare l'efficienza del drenaggio ed aumentare il potenziale ecologico urbano.

### 4.1 Pavimentazioni drenanti

L'intervento pilota COLANDER ha visto la realizzazione di pavimentazioni drenanti continue differenziate nella stratigrafia e nella pavimentazione in funzione della fruizione dell'area come illustrato in Figura 16. In particolare, nel portale TRIG Eau sono state restituite tre differenti tipologie di pavimentazioni permeabili, PP1, PP2 e PP3 rispettivamente in riferimento ad area di sosta carrabile, area a transito prevalentemente pedonale ed area a servizio della manutenzione del canale. L'implementazione di tali sistemi nel modello di rischio residuo avviene utilizzando il modulo LID - Permeable Pavement nativamente implementato nel software EPA SWMM (Rossmann, 2010); i parametri geometrici ed idraulici sono stati differenziati per le tre tipologie in funzione delle informazioni tecniche rese disponibili negli elaborati progettuali.

Le aree di sosta carrabile sono realizzate con griglie salvapratò carrabile in materiale plastico secondo lo schema di posa illustrato in Figura 17. Nella piattaforma i relativi parametri modellistici per lo schema PP1 che fa riferimento alla sosta carrabile sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (cfr. Tabella 4).

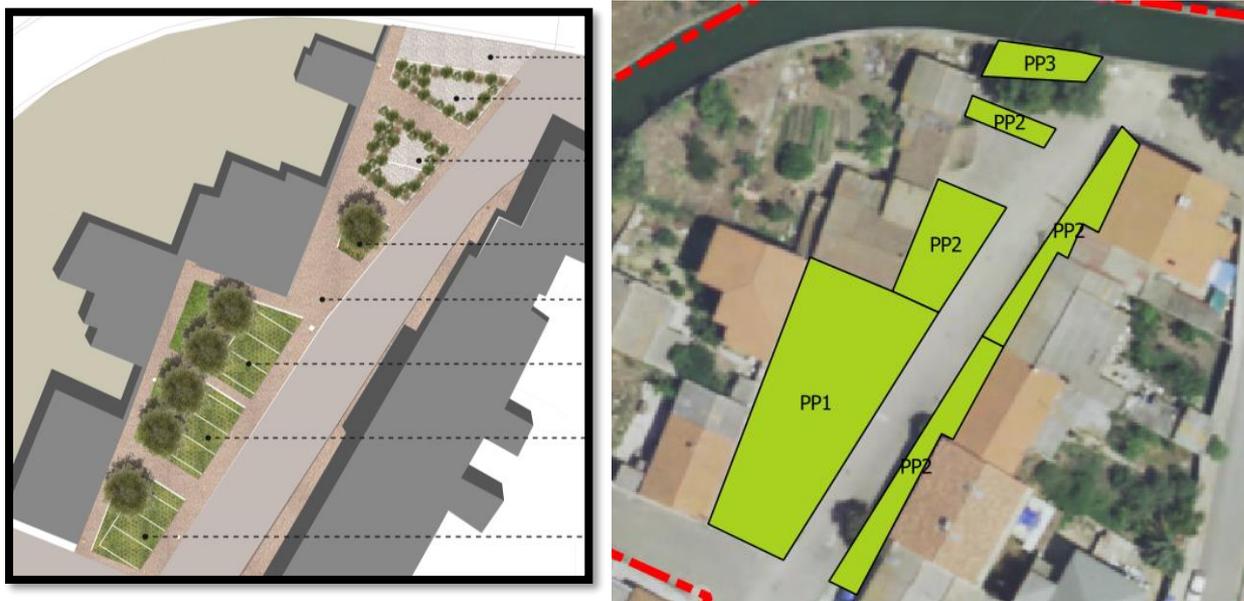


Figura 16 Restituzione nella piattaforma TRIG Eau del sistema di pavimentazioni permeabili realizzati nell'isolato di via Grazia Deledda previsti dall'intervento pilota COLANDER.

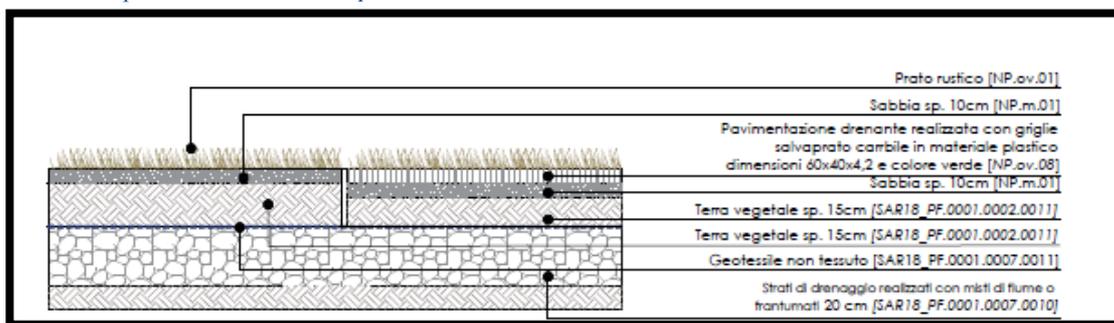


Figura 17 Stratigrafia dell'area di sosta in pavimentazione drenante con griglie salvaprato, implementata nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato PP1.

Pavimentazione PP1	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Pavimentazione	42	0.35	9000
Strato accumulo drenante	400	0.6	1000

Tabella 4: Parametri assegnati per la modellazione delle aree di sosta in pavimentazione drenante con griglie salvaprato – implementate nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP1.

Le aree a transito prevalentemente pedonale sono realizzate con uno strato di finitura con pavimentazione in calcestruzzo drenante secondo lo schema di posa illustrato in Figura 18. Nella piattaforma i relativi parametri modellistici per lo schema PP2 che fa riferimento al transito pedonale sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (cfr. Tabella 5).

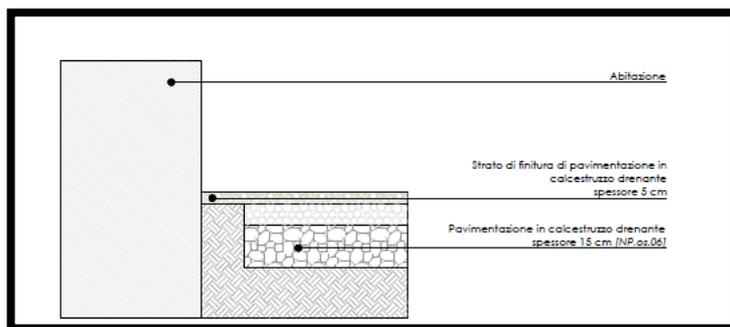


Figura 18 Stratigrafia delle aree a transito prevalentemente pedonale implementata nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato PP2.

Pavimentazione PP2	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Pavimentazione	50	0.18	9000
Strato accumulo drenante	200	0.6	1000

Tabella 5: Parametri assegnati per la modellazione delle aree a transito prevalentemente pedonale – implementate nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP2.

L'area secca a servizio della manutenzione del canale è realizzata con uno strato di finitura di ciottoli di fiume secondo lo schema di posa illustrato in Figura 19. Nella piattaforma i relativi parametri modellistici per lo schema PP3 che fa riferimento all'area secca a servizio della manutenzione del canale sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (cfr. Tabella 6).

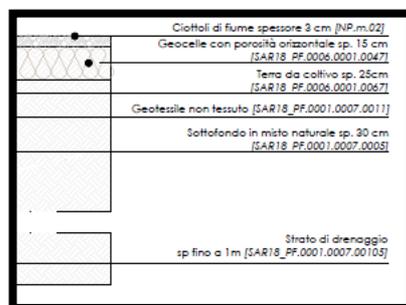


Figura 19 Stratigrafia dell'area secca a servizio della manutenzione del canale implementata nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato PP3.

Pavimentazione PP3	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Pavimentazione	30	0.6	1000
Strato accumulo drenante	150	0.9	1000

Tabella 6: Parametri assegnati per la modellazione dell'area secca a servizio della manutenzione del canale – implementata nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP3.

## 4.2 Giardini di pioggia

L'intervento pilota COLANDER ha visto la realizzazione di due aree di infiltrazione controllate denominate giardini di pioggia che sono state coerentemente implementate nel portale TRIG Eau come illustrato in Figura 20.

L'implementazione dei giardini di pioggia nel modello di rischio residuo avviene utilizzando il modulo LID – Bioretention Cell nativamente implementato nel software EPA SWMM (Rossmann, 2010).

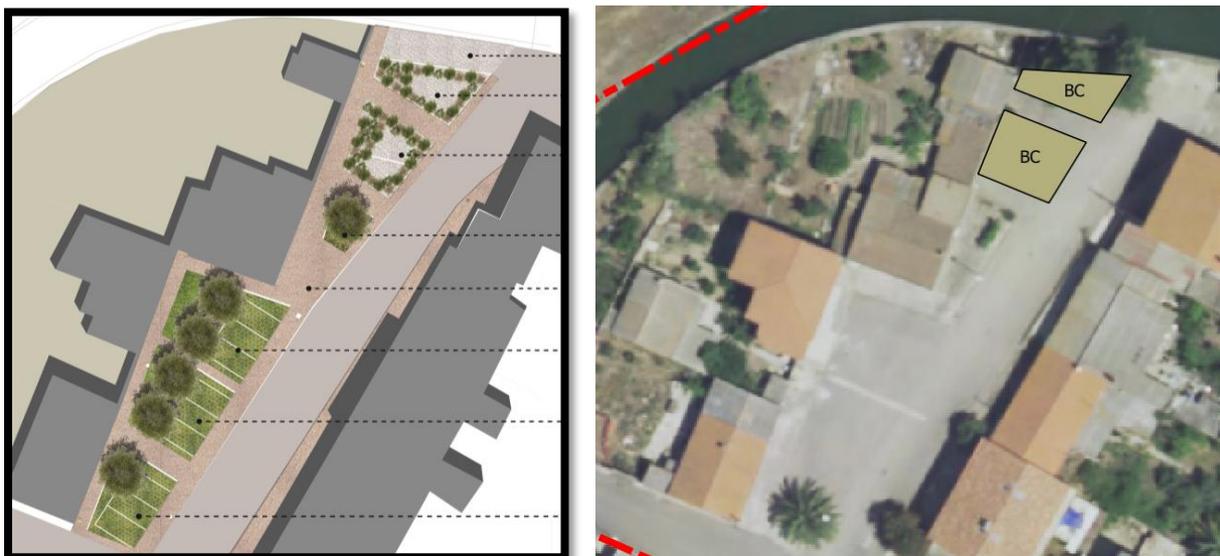


Figura 20 Restituzione nella piattaforma TRIG Eau del sistema di giardini di pioggia realizzati nell'isolato di via Grazia Deledda previsti dall'intervento pilota COLANDER.

Il giardino di pioggia è realizzata con uno strato di finitura di ciottoli di fiume e con la piantumazione di specie arbustive aromatiche secondo lo schema di posa illustrato in Figura 19. Nella piattaforma i relativi parametri modellistici per lo schema BC che fa riferimento ai giardini di pioggia sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (cfr. Tabella 7).

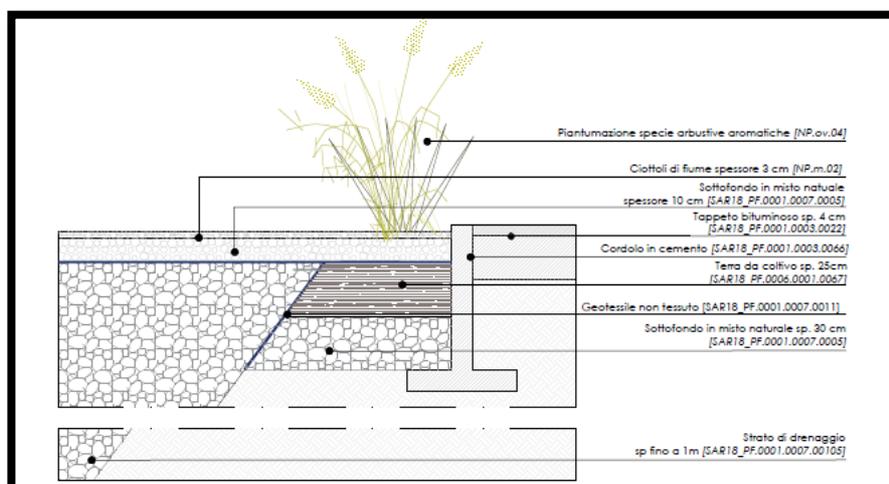


Figura 21 Stratigrafia giardini di pioggia implementati nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato BC.

Vasca drenante BC	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Superficie	30	-	-
Suolo	100	0.52	150
Strato accumulo drenante	1000	0.4	1000

Tabella 7: Parametri assegnati per la modellazione dei giardini di pioggia – implementati nel portale TRIG Eau secondo lo schema BC.

### 4.3 Scenari di intervento

Le aree complessivamente destinate all'intervento sono pari a 0.42 ha ovvero è stata convertita a sistemi di drenaggio sostenibili il 7% dell'area.

Quali scenari di intervento sono state valutate due condizioni limite di funzionamento dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile realizzati con l'intervento pilota COLANDER, sistemi secchi e sistemi umidi. L'analisi dei risultati dei due scenari limite è risultata necessaria per stabilire il livello di incertezza nella stima dell'efficacia associata all'intervento pilota.

Sebbene la condizione attuale non presenti alcuna criticità idraulica, in quanto la rete di drenaggio risulta correttamente progettata per smaltire l'evento di progetto di periodo di ritorno decennale, l'intervento pilota COLANDER costituisce un'azione per la riduzione dell'impatto ambientale complessivo sul ricettore finale in termini di ripristino del ciclo idrologico naturale.

## 5 Risultati

Per l'analisi della condizione di rischio idraulico residuo, ovvero la condizione post-intervento, si fa riferimento, per una valutazione speditiva, all'analisi della mappa georeferenziata, illustrante il massimo grado di riempimento di ciascun ramo della rete di drenaggio in analogia alla valutazione della condizione di rischio attuale. Parallelamente alla valutazione degli indicatori numerici di rischio, NSI e NFI, sono valutati ulteriori indicatori prestazionali per misurare l'efficacia dell'intervento proposto. In particolare, in riferimento alla mitigazione del rischio idraulico sono valutati oltre ai consueti indicatori di prestazioni idrologiche (Palla e Gnecco, 2015) anche due indicatori costruiti sui sopraddetti indicatori di rischio.

Le prestazioni idrologiche, relative all'intervento selezionato sono valutate mediante i seguenti indicatori così valutati:

- PR: riduzione relativa percentuale della portata la colmo di piena valutata prima dell'intervento e dopo l'intervento;
- VR: riduzione relativa percentuale del volume di deflusso superficiale complessivo alla sezione di chiusura valutato prima dell'intervento e quella dopo l'intervento.

Le prestazioni circa lo stato di rischio idraulico residuo del sistema, relative all'intervento selezionato sono valutate mediante i seguenti indicatori così valutati:

- NSR (Riduzione dello Stress della rete) calcolato come riduzione relativa percentuale tra la condizione prima dell'intervento e quella dopo l'intervento;
- NFR (Riduzione dell'allagamento nei nodi) calcolato come riduzione relativa percentuale tra la condizione prima dell'intervento e quella dopo l'intervento.

La condizione di rischio residuo viene valutata per i tre eventi di progetto relativi ai valori di periodo di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni e per i due scenari di intervento “Sistemi secchi” e “Sistema umidi”.

## 5.1 Scenario con sistemi secchi

Sebbene non vi sia rischio idraulico nella condizione attuale, l’intervento proposto nello scenario “sistemi secchi” si rivela efficace in riferimento alla riduzione dell’impatto ambientale sul ricettore finale. In particolare, l’intervento proposto si dimostra efficace nel ridurre significativamente sia le portate al colmo che i volumi sversati nel ricettore, migliorando pertanto le condizioni di deflusso della rete di valle.

Gli indicatori relativi alle condizioni di deflusso sono sempre nulli anche nella condizione post-intervento per tutti gli eventi di progetto caratterizzati dai periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni, come atteso vista l’assenza di condizione di rischio della condizione attuale (cfr. Figura 22, Figura 24 e Figura 26). Ne consegue che per tutti gli eventi di progetto nello scenario “sistemi secchi” le prestazioni relative allo stato della rete (NSR e NFR) sono sempre pari al 100% (cfr. Figura 23, Figura 25 e Figura 27).

L’intervento proposto si dimostra efficace anche nel parziale ripristino del ciclo idrologico naturale come confermato dalle apprezzabili prestazioni idrologiche pari a circa il 15% sia per il volume, VR, che per la portata di picco, PR per la sezione 1 e pari a circa il 29% ed 25% rispettivamente per VR e PR della sezione 2 (Figura 27).

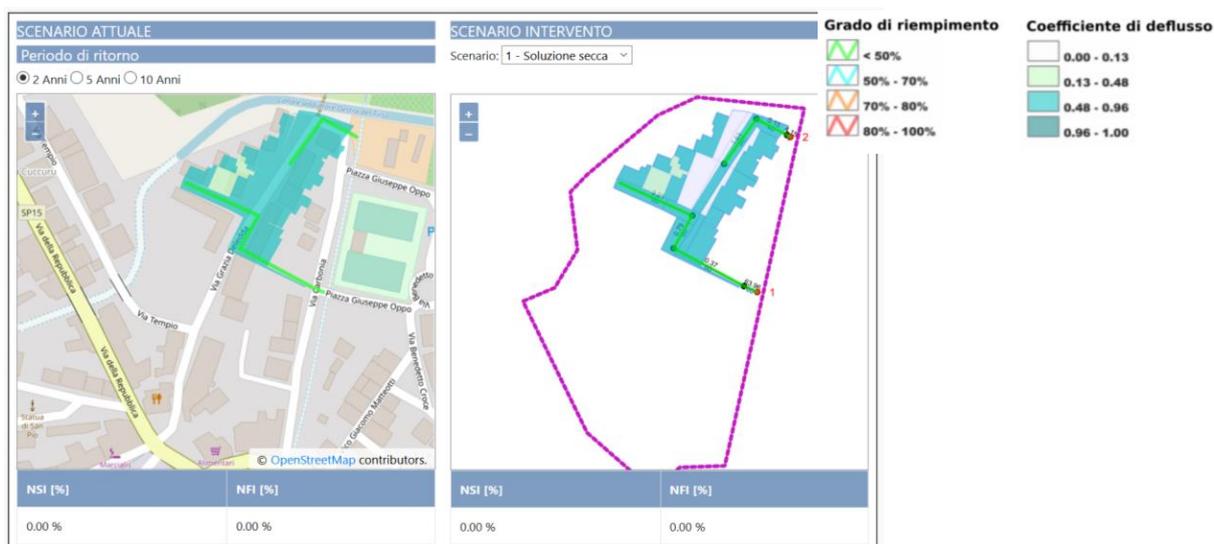


Figura 22: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario “sistemi secchi” (a destra) per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell’intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.



Figura 23: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Sistemi secchi" per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni.

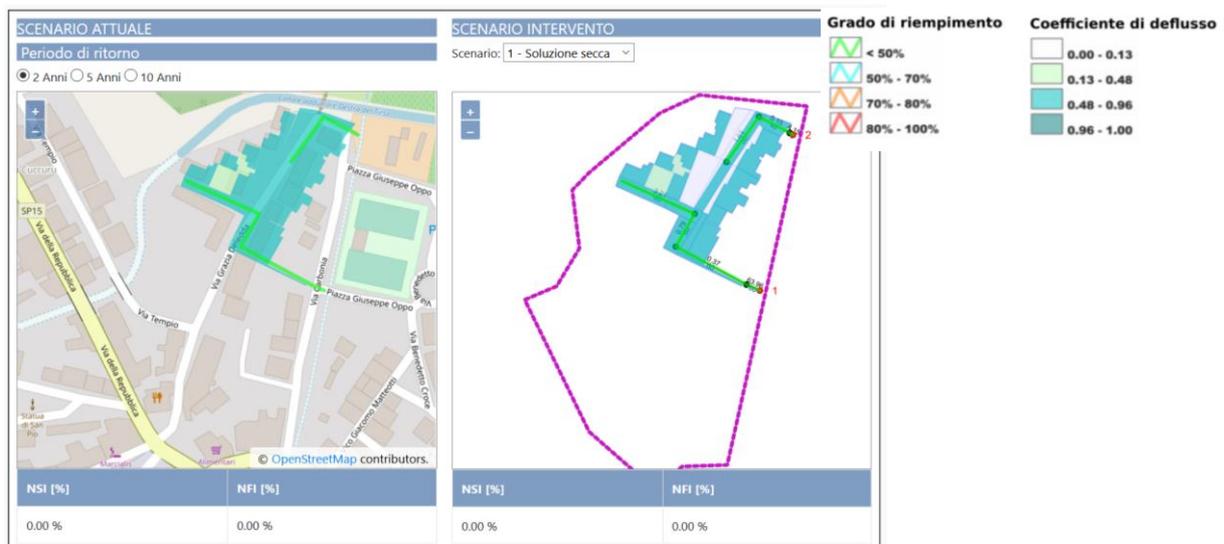


Figura 24: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Sistemi secchi" (a destra) per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.

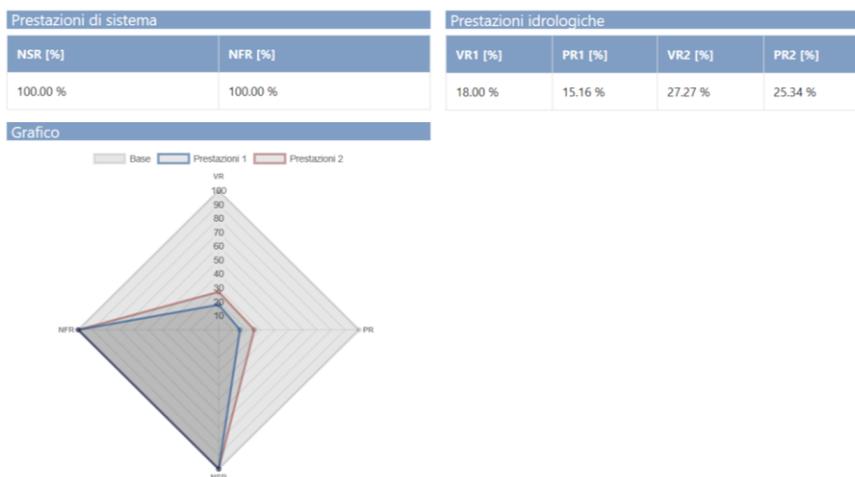


Figura 25: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Sistemi Secchi" per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni.

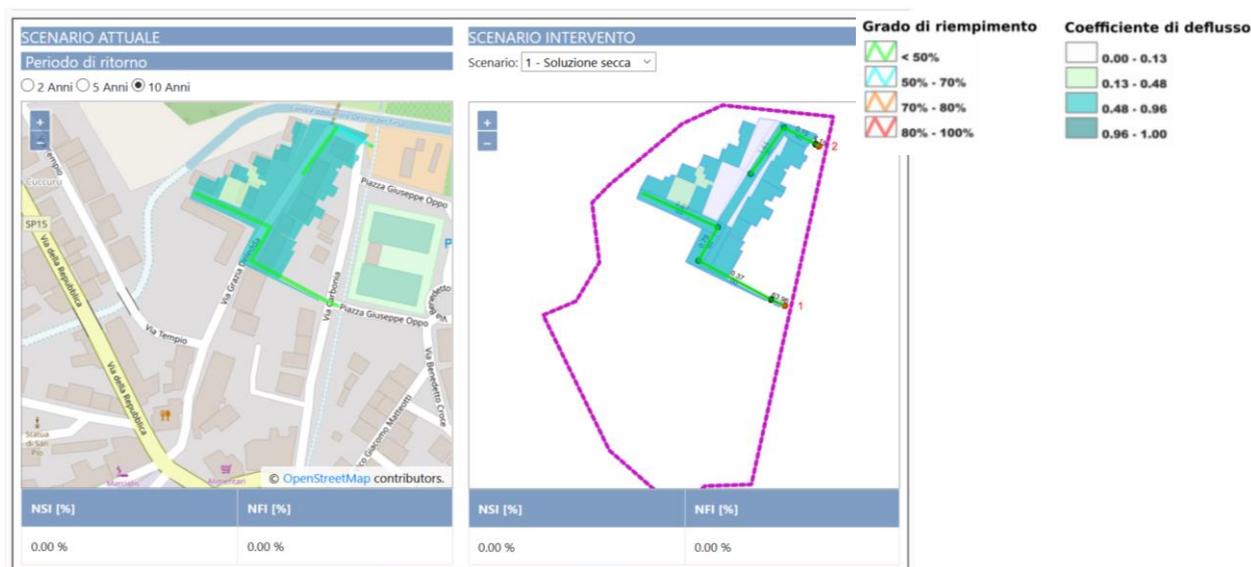


Figura 26: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Sistemi secchi" (a destra) per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.

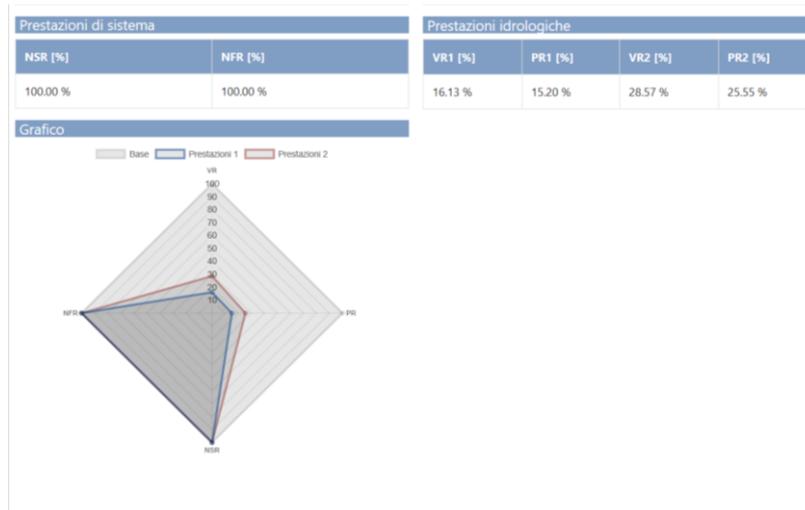


Figura 27: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Sistemi secchi" per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell'intervento COLANDER e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni.

## 5.2 Scenario con sistemi umidi

Sebbene non vi sia rischio idraulico nella condizione attuale, l'intervento proposto nello scenario "sistemi umidi" si rivela efficace in riferimento alla riduzione dell'impatto ambientale sul ricettore finale. In particolare, l'intervento proposto si dimostra efficace nel ridurre significativamente sia le portate al colmo che i volumi sversati nel ricettore, migliorando pertanto le condizioni di deflusso della rete di valle. Gli indicatori prestazionali relativi alle condizioni di deflusso nella rete sono pari al 100% per tutti gli eventi di progetto caratterizzati dai periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni, come atteso vista l'assenza di condizione di rischio della condizione attuale.

L'intervento proposto nello scenario "sistemi umidi" si dimostra efficace anche nel parziale ripristino del ciclo idrologico naturale con le medesime prestazioni idrologiche osservate nel caso "sistemi secchi". Per l'evento di progetto più severo caratterizzato da un periodo di ritorno pari a 10 anni, le prestazioni idrologiche per le due sezioni di chiusura sul ricettore finale si confermano apprezzabili con valori rispettivamente pari a circa il 16% per il volume, VR, e a 29% per la portata di picco, PR per una sezione ed a circa 15% e circa 26% per l'altra sezione (cfr. Figura 29).

Le soluzioni progettate e previste nell'intervento pilota COLANDER si confermano pertanto idrologicamente ed idraulicamente efficaci indipendentemente dalla condizione di umidità iniziale, ovvero efficaci anche nel caso di eventi intensi che occorrono con breve distanza temporale da eventi di precipitazioni anche meno severi. Tale presupposto conferisce ai risultati ottenuti in termini di ripristino del ciclo idrologico e di minimizzazione dell'impatto ambientale un grado di incertezza minimo ovvero un'elevata attendibilità.



Figura 28: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario “Sistemi umidi” (a destra) per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell’intervento COLANDER ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni. In alto a sinistra è riportata la legenda degli elementi (grado di riempimento delle condotte e coefficiente di deflusso dei sottobacini) riportati nella mappa.



Figura 29: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell’allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario “Sistemi umidi” per il caso di studio di Via Grazia Deledda oggetto dell’intervento COLANDER e per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni.

## 6 Conclusioni

L’analisi delle condizioni di rischio idraulico residuo del caso di studio sardo è stata condotta utilizzando la piattaforma TRIG-Eau, sviluppata all’interno del progetto. I risultati specifici relativi al caso di studio dell’isolato di via Grazia Deledda hanno confermato l’efficacia idrologica idraulica dell’intervento pilota COLANDER.

Dall’analisi dei risultati delle simulazioni per la condizione attuale, emerge una condizione di rischio idraulico nulla; in particolare la rete di drenaggio è stata progettata coerentemente con l’evento di progetto decennale.

Verificata la scarsa permeabilità del sito con una limitata presenza di aree verdi, l'intervento pilota COLANDER ha previsto la realizzazione di pavimentazioni drenanti per le aree di sosta e di giardini di pioggia per l'immagazzinamento temporaneo delle acque meteoriche con il duplice obiettivo di migliorare l'efficienza del drenaggio ed aumentare il potenziale ecologico urbano.

Dall'analisi dei risultati circa la condizione di rischio idraulico residuo si evince che l'intervento pilota COLANDER si dimostra efficace a livello ambientale, in particolare la riduzione significativa dei deflussi meteorici in termini di volumi e portate al colmo ha un impatto positivo non solo sulla rete ma anche sul ricettore finale ed in generale sulla fruibilità dell'area.

Le soluzioni progettate e previste nell'intervento pilota COLANDER si confermano inoltre idrologicamente ed idraulicamente efficaci indipendentemente dalla condizione di umidità iniziale, ovvero efficaci anche nel caso di eventi intensi che occorrono con breve distanza temporale da eventi di precipitazioni anche meno severi.

### Riferimenti bibliografici

- Ercolani, G., Chiaradi, E.A., Gandolfi, C., Castelli, F., Masseroni, D., "Evaluating performances of green roofs for storm water runoff mitigation in a high flood risk urban catchment", *Journal of Hydrology*, 566, 830-845, 2018.
- Keifer, D.J., Chu, H.H., "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design," *ASCE Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 83 (HY4), pp: 1332.1-1332.25, 1957.
- Palla, A., Gnecco, I. "Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale", *J. Hydrol.*, 528, 361-368, 2015.
- Palla, A., Gnecco, I., Carbone, M., Garofalo, G., Lanza, L.G., Piro, P. "Influence of stratigraphy and slope on the drainage capacity of permeable pavements: laboratory results", *Urban Water J.*, 12(5), 394-403, 2015.
- Rossman, L.A., 2010. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*, EPA/600/R-05/040, US EPA National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, USA.
- SCS. "SCS National Engineering Handbook", Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture: Washington, DC, 1972.