

# Scenari di mitigazione del rischio idraulico residuo per il caso di studio in PACA (Francia)

**Report n.3 - 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 .....	7
1.4 Dati pluviometrici.....	7
2 Implementazione del modello semplificato per il rischio idraulico IDRORES .....	8
2.1 Schematizzazione degli elementi.....	9
2.2 Parametri idrologici-idraulici degli elementi.....	10
3 La condizione attuale di rischio .....	11
4 Azioni per la mitigazione del rischio idraulico .....	13
4.1 Pavimentazioni drenanti .....	13
4.2 Aree di bioritenzione .....	14
4.3 Bacino di detenzione .....	16
4.4 Scenari di intervento .....	18
5 Risultati .....	18
5.1 Scenario con sistemi secchi .....	19
5.2 Scenario con sistemi umidi.....	22
6 Conclusioni.....	24
Riferimenti bibliografici.....	24

## Premessa

Tale documento costituisce il Report n.3 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 Hyères, selezionato nel territorio PACA in Francia.

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 l'installazione di pavimentazioni drenanti e di bacini di detenzione;
- 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

Il bacino urbano ad Est di Avenue Ambroise Thomas delimitato a Nord dal Casino des Palmiers e a Sud dalla piscina comunale nel Comune di Hyères, di seguito denominato bacino Est di Avenue Ambroise Thomas, è stato selezionato quale caso di studio nella regione PACA - Provenza-Alpi-Costa Azzurra (Francia) per l'applicazione del modello di rischio idraulico residuo sviluppato nell'ambito del progetto TRIG Eau.

Il bacino Est di Avenue Ambroise Thomas è attraversato nella direzione Est-Ovest da un'importante infrastruttura, la strada nazionale DN98 mentre la viabilità a servizio dell'area segue sostanzialmente un reticolo a griglia Nord-Sud ed Est-Ovest. Aree residenziali ed aree per insediamenti commerciali e servizi si alternano nel bacino che si configura pertanto come un'area di studio ottimale per la diversificazione degli ambiti coinvolti.

In Figura 1 è riportata l'ortofoto della regione di studio con un focus sul sottobacino urbano selezionato quale caso di studio per la regione PACA (Francia).



*Figura 1: Ortofoto dell'area di studio nel comune di Hyères (PACA-Francia): il bacino urbano ad Est di Avenue Ambroise Thomas delimitato a Nord dal Casino des Palmiers e a Sud dalla piscina comunale. Fonte dei dati: BD ORTHO 2017*

### 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;
- Carta topografica;
- Condotte e nodi della rete di drenaggio urbana;
- Suddivisione in sottobacini;
- Modello digitale del terreno.

Gli estratti delle sopradette mappe sono illustrati nelle Figure 2 – 6.

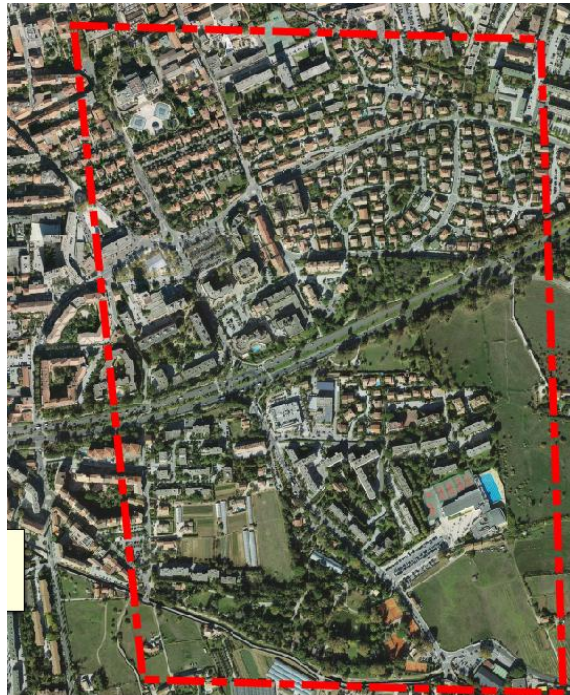


Figura 2: Estratto dell'ortofoto del Comune di Hyères e perimetrazione dell'area di studio: bacino est di Avenue Ambroise Thomas. Fonte dei dati: BD ORTHO 2017



Figura 3: Estratto della carta topografica del Comune di Hyères e perimetrazione dell'area di studio: bacino est di Avenue Ambroise Thomas. Fonte dei dati: geoportail.gouv.fr

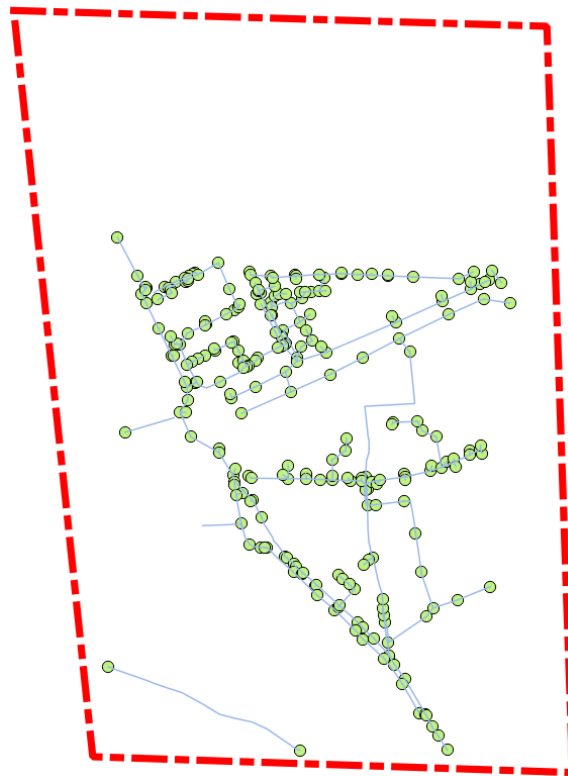


Figura 4: Mappa dei layer Nodi e Condotte dell'area di studio: bacino est di Avenue Ambroise Thomas. Fonte dei dati: Métropole Toulon Provence.

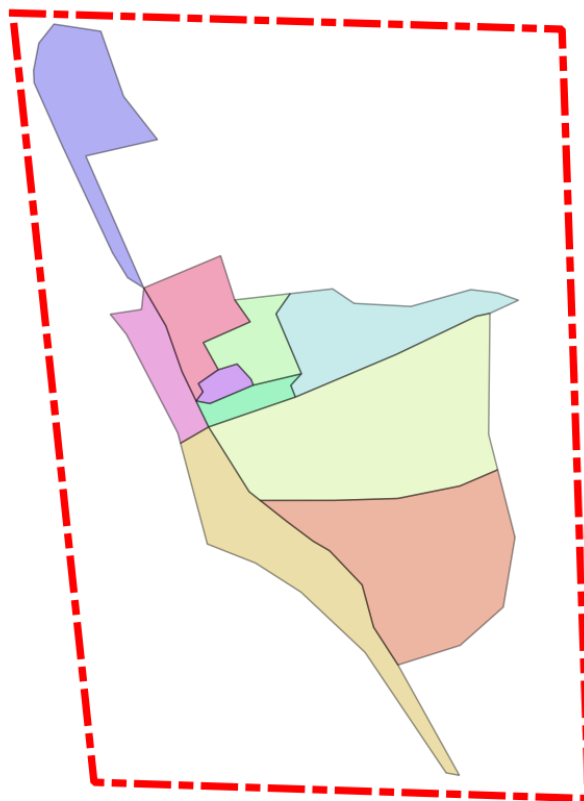


Figura 5: Mappa del Layer Sottobacini dell'area di studio: bacino est di Avenue Ambroise Thomas. Fonte dei dati: Métropole Toulon Provence.

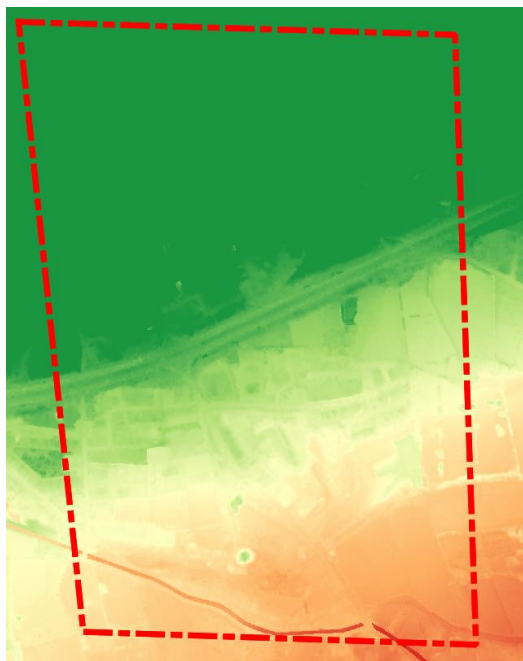


Figura 6: Estratto della Modello digitale del terreno (1mx1m) e perimetrazione dell'area di studio: bacino est di Avenue Ambroise Thomas (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Métropole Toulon Provence

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

Per l'analisi della permeabilità dell'area è stata utilizzata l'ortofoto, in particolare sono state classificate come aree impermeabili le superfici distinguibili come tetti, strade e parcheggi mentre come aree permeabili le aree caratterizzate dalla presenza di vegetazione.

Nella Tabella 1 si riportano i risultati relativi alla permeabilità dell'area di studio, in particolare il bacino Est di Avenue Ambroise si conferma un'area parzialmente permeabile con una percentuale di aree permeabili pari al 54%.

	Area [ha]	Area [%]
<b>Area Impermeabile</b>	14.23	55%
<b>Area Permeabile</b>	11.46	45%
<b>Tot</b>	25.7	<b>100.0%</b>

Tabella 1: Analisi di permeabilità per l'area di studio..

### 1.4 Dati pluviometrici

Il regime pluviometrico per l'area oggetto di studio è stato valutato facendo riferimento ai parametri della formula di Montana valutati da Meteo France per il periodo (1977-2005).

In particolare, la formula di Montana consente di stimare la precipitazione di progetto al variare del periodo di ritorno secondo una legge di potenza a due parametri nell'ipotesi di assenza di invarianza di scala.

$$I(d, T) = a(T) \cdot d^{-b(T)}$$

dove  $I(d, T)$  è l'intensità di progetto per la durata  $d$  e per il periodo di ritorno  $T$ .

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

Parametri Fattore di crescita	Periodo di ritorno [anni]		
	2	5	10
Coefficiente $a$ [ $\text{mm}/\text{min}^{1-b}$ ]	4.838	5.23	6.325
Esponente $b$ [-]	0.573	0.561	0.567

Tabella 2: Parametri della formula di Montana per l'area di studio del sottobacino Est di Avenue Ambroise Thomas, ottenuti da Meteo France da analisi statistiche sul periodo (1977-2005).

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 7 sono illustrati gli ietogrammi di progetto per l'area di studio del sottobacino Est di Avenue Ambroise Thomas valutati per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

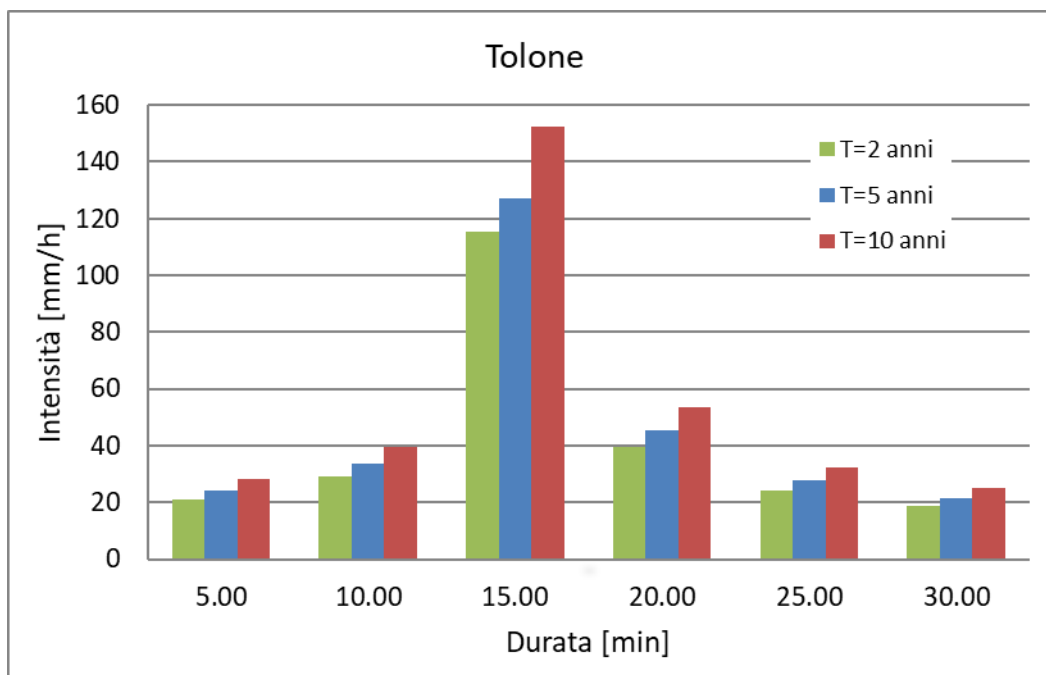


Figura 7: Ietogrammi di progetto per l'area di studio del bacino Est di Ambroise Thomas per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

## 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 per sottobacini principali vista la significativa estensione dell'area.

## 2.1 Schematizzazione degli elementi

Il sottobacino Est di Avenue Ambroise Thomas ha un'estensione complessiva pari a 25.7 ha ed è stato restituito nella piattaforma modellistica TRIG-Eau, utilizzando uno schema semplificato per quanto riguarda la rete di drenaggio ed i relativi sottobacini contribuenti, in particolare il criterio di discretizzazione spaziale per la rete ha seguito la gerarchia dei sottobacini definiti da Métropole Toulon Provence.

Il bacino oggetto dello studio è stato discretizzato in 10 sottobacini di forma ed area differenti; il criterio di discretizzazione spaziale ha fatto riferimento a categoria di uso del suolo prevalente. In Tabella 3 è riportata la schematizzazione implementata nel portale con riferimento alla categoria di uso del suolo prevalente ed all'estensione in ettari ed in percentuale.

Etichetta	Categoria prevalente	A (ha)	A (%)
S1	Casinò	2.59	10.1%
S2	Residenziale	1.49	5.8%
S3	Residenziale	1.06	4.1%
S4	Carrefour	1.05	4.1%
S5	Spazio Aperto Verde	0.48	1.9%
S6	Residenziale	2.56	10.0%
S7	Residenziale e parco	7.13	27.8%
S8	Servizi	5.62	21.9%
S9	Area Residenziale	3.41	13.3%
S10	Hotel Mercure	0.28	1.1%
	<b>totale</b>	<b>25.69</b>	<b>100%</b>

Tabella 3: Discretizzazione spaziale dei sottobacini per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas

Per quanto riguarda la rete di drenaggio, la schematizzazione per l'implementazione nel portale ha riguardato i collettori principali della rete di drenaggio esistente. Pendenze, diametri e nodi dei collettori principali sono stati implementati nel portale facendo riferimento alle informazioni di dettaglio fornite da Métropole Toulon Provence ed illustrata in Figura 4.

In Figura 8 è illustrato lo schema di sottobacini (poligoni azzurri) e della rete di drenaggio (linea nera) implementato nella piattaforma TRIG Eau per lo sviluppo del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas.

Per l'implementazione nel portale TRIG Eau della rete di drenaggio sono stati definiti 39 nodi e 40 condotte come riportato in Figura 8. In Figura 8 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 indicato con una etichetta nera.

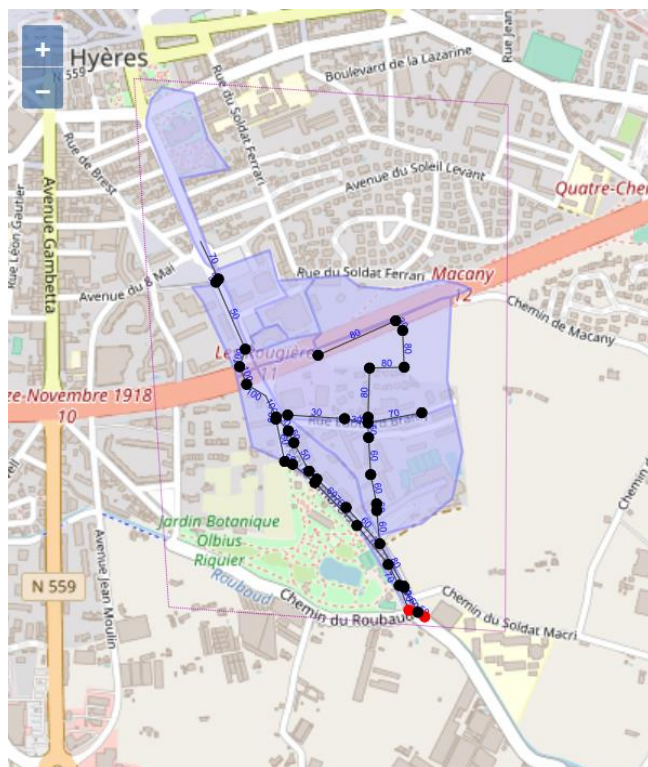


Figura 8: Implementazione nella piattaforma TRIG Eau del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas. Indicazione dei sottobacini (poligoni azzurri) e della rete di drenaggio delle acque meteoriche (linea nera) comprensiva di valori dei diametri in cm (etichette blu) e delle pendenze (etichette 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 si è fatto riferimento ad un coefficiente n-di Manning per le condotte circolari pari a  $0.013 \text{ s/m}^{1/3}$  e per i canali rettangolari aperti pari a  $0.021 \text{ s/m}^{1/3}$ .

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 i 10 sottobacini definiti nel presente progetto sono assegnati i seguenti valori dei parametri idrologici ed idraulici come riportato in Tabella 4.

Etichetta	Categoria prevalente	%imp	$n_{imp}$ ( $\text{s/m}^{1/3}$ )	$n_{perv}$ ( $\text{s/m}^{1/3}$ )
-----------	----------------------	------	-------------------------------------	--------------------------------------

S1	Casinò	80	0.011	0.13
S2	Residenziale	80	0.011	0.13
S3	Residenziale	65	0.011	0.13
S4	Carrefour	85	0.011	0.13
S5	Spazio Aperto Verde	50	0.011	0.13
S6	Residenziale	40	0.011	0.13
S7	Residenziale e parco	40	0.011	0.13
S8	Servizi	65	0.011	0.13
S9	Area Residenziale	40	0.011	0.13
S10	Hotel Mercure	85	0.011	0.13

Tabella 4: Percentuale di area impermeabile, parametri idrologico (CN) ed idraulici ( $n$ -manning per la porzione impermeabile e per la porzione permeabile) per ciascun sottobacino dell'area di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas

### 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 elevata in quanto dalla valutazione dell'insufficienza idraulica anche per l'evento meno con periodo di ritorno biennale si osservano allagamenti diffusi e diverse porzioni della rete in sovraccarico idraulico.

La condizione attuale di rischio è determinata dalla progettazione della rete esistente che evidentemente è avvenuta per fasi successive e non ha sempre tenuto in considerazione gli sviluppi dell'area, con il risultato di una gerarchia dei diametri non coerente con la direzione del flusso e con locali restringimenti nelle sezioni dei collettori.

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 14, 15 e 16 rispettivamente per gli eventi con periodo di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

In particolare, per l'evento di periodo di ritorno pari a 2 anni, si osservano 17 rami su 40 che presentano criticità ovvero con un massimo grado di riempimento superiore a 0.8, come confermato dall'indicatore NSI pari a 42.5% ed inoltre si osservano allagamenti in 13 nodi su 39 come mostrato dall'indicatore NFI pari a circa il 33% (cfr. Figura 9).

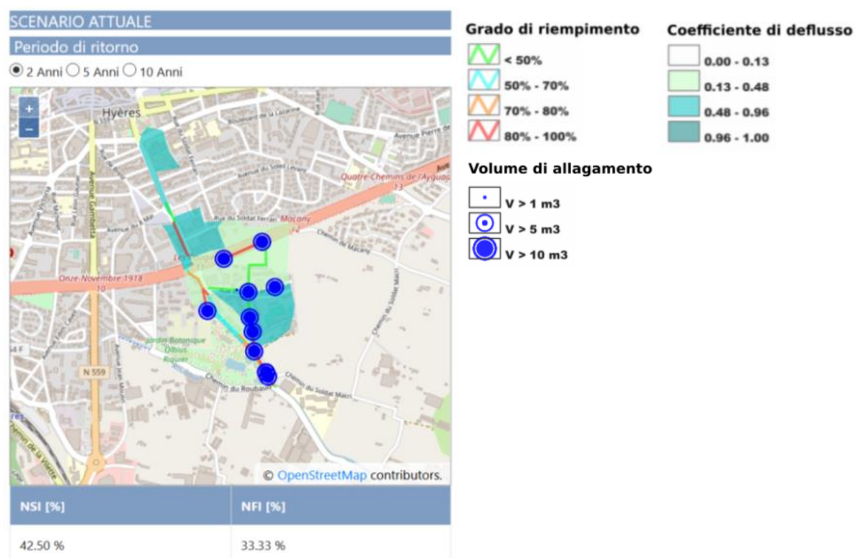


Figura 9: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno 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.

Per gli eventi di periodo di ritorno pari a 5 e 10 anni, si osservano criticità più diffuse per quanto riguarda la condizione di deflusso nelle condotte con rispettivamente 18 e 21 rami su 40 che presentano con un massimo grado di riempimento superiore a 0.8 come confermato dagli indicatori NFI pari a, rispettivamente, 45% e 50%; mentre gli allagamenti restano sostanzialmente invariati in termini di numerosità dei nodi allagati sebbene aumentino i volumi di esondazione in come confermato dagli indicatori NFI pari a, rispettivamente, 33% e 36% (cfr. Figura 10 e Figura 11).

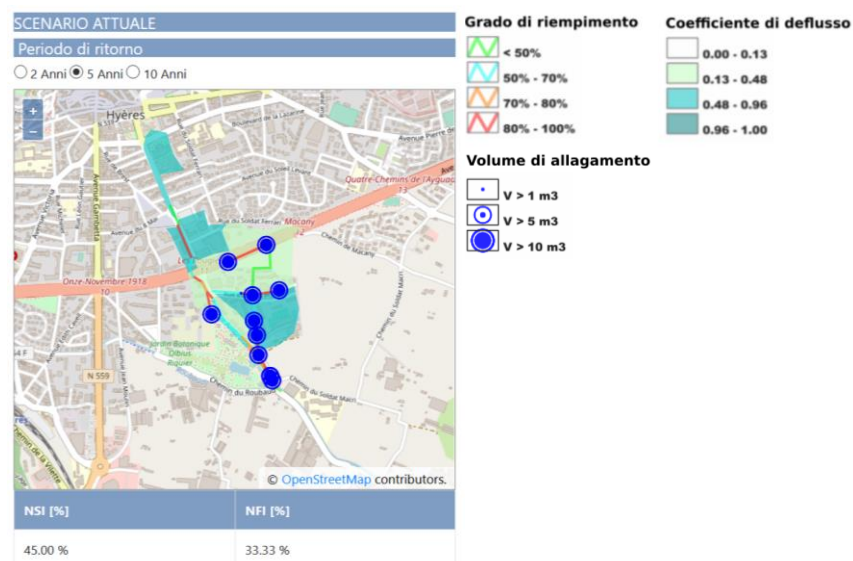


Figura 10: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno 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.

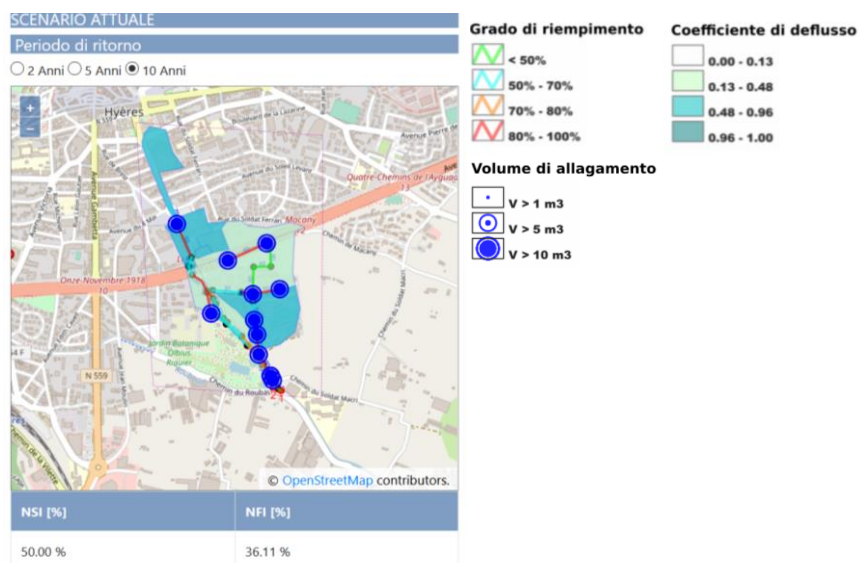


Figura 11: Mappa della condizione di rischio idraulico del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 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 di pavimentazioni drenanti per le aree di sosta, di aree di bio-ritenzione a servizio della viabilità principale ed un esteso bacini di detenzione 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'implementazione delle pavimentazioni drenanti 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 imputati in relazione alla soluzione tecnica ipotizzata.

Le aree di sosta carrabile illustrate in Figura 12 sono convertite in pavimentazioni drenanti da realizzarsi con autobloccanti in calcestruzzo poroso secondo lo schema di posa illustrato in Figura 13. I relativi parametri modellistici per lo schema PP che fa riferimento alla sosta carrabile sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (Palla e Gnecco, 2015). In Tabella 5 sono riportati i principali parametri idraulici relativi alle aree di sosta realizzate in pavimentazione drenante con autobloccanti in calcestruzzo poroso – implementate nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP.



Figura 12: Restituzione nella piattaforma TRIG Eau del sistema di pavimentazioni permeabili (aree verdi) da realizzarsi nel bacino Est di Avenue Ambroise Thomas.

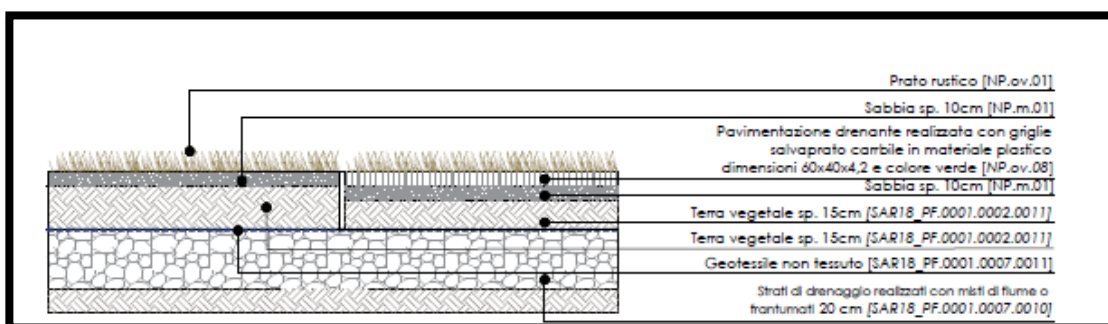


Figura 13 : Stratigrafia dell'area di sosta in pavimentazione drenante con autobloccanti in calcestruzzo poroso da Palla et al., 2015.

Pavimentazione PP1	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Pavimentazione	60	0.18	9000
Strato accumulo drenante	200	0.6	1000

Tabella 5: Parametri assegnati per la modellazione delle aree di sosta in pavimentazione drenante con autobloccanti in calcestruzzo poroso – implementate nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP1.

## 4.2 Aree di bioritenzione

L'implementazione delle aree di bioritenzione, nel modello di rischio residuo, avviene utilizzando il modulo LID – Bioretention Cell nativamente implementato nel software EPA

SWMM (Rossmann, 2010); i parametri geometrici ed idraulici sono stati imputati in relazione alla soluzione tecnica ipotizzata.

Le aree verdi di prossimità alla viabilità principale illustrate in Figura 12 sono convertite in aree di bioritenzione da realizzarsi secondo lo schema di posa illustrato in Figura 13. I relativi parametri modellistici per lo schema BC che fa riferimento alle aree di bioritenzione sono stati assegnati coerentemente con la stratigrafia e con dati di letteratura (Huber, 2010). In Tabella 6 sono riportati i principali parametri idraulici relativi alle aree di bioretentione– implementate nel portale TRIG Eau secondo lo schema PP1.



*Figura 14 Restituzione nella piattaforma TRIG Eau del sistema di aree di bioritenzione da realizzarsi nel bacino Est di Avenue Ambroise Thomas.*

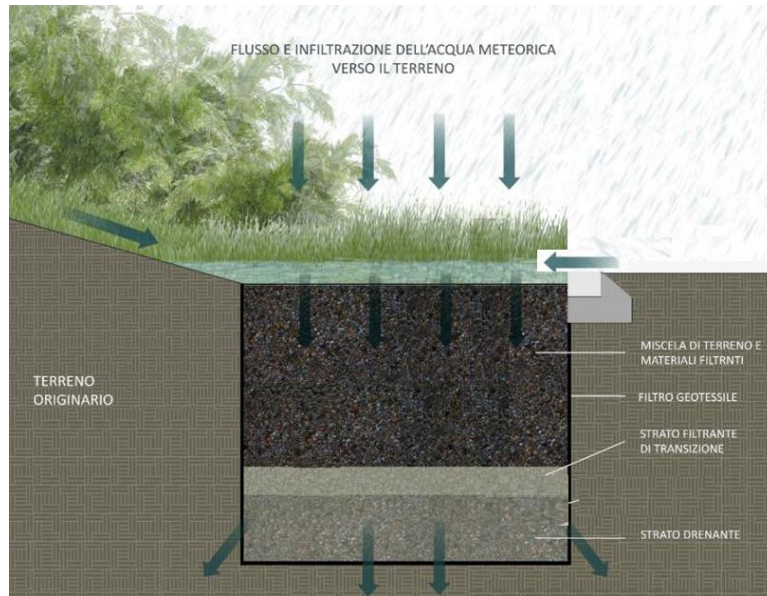


Figura 15 Stratigrafia aree di bioritenzione implementati nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato BC (schema da Huber, 2010).

Aree Bio-ritenzione BC	Spessore [mm]	Indice vuoti [-]	Permeabilità [mm/h]
Superficie	30	-	-
Suolo	100	0.52	150
Strato accumulo drenante	500	0.4	1000

Tabella 6: Parametri assegnati per la modellazione delle aree di bio-ritenzione implementati nel portale TRIG secondo lo schema BC.



### 4.3 Bacino di detenzione

Per il caso di studio è stata prevista inoltre la realizzazione di due bacini di detenzione come illustrato in

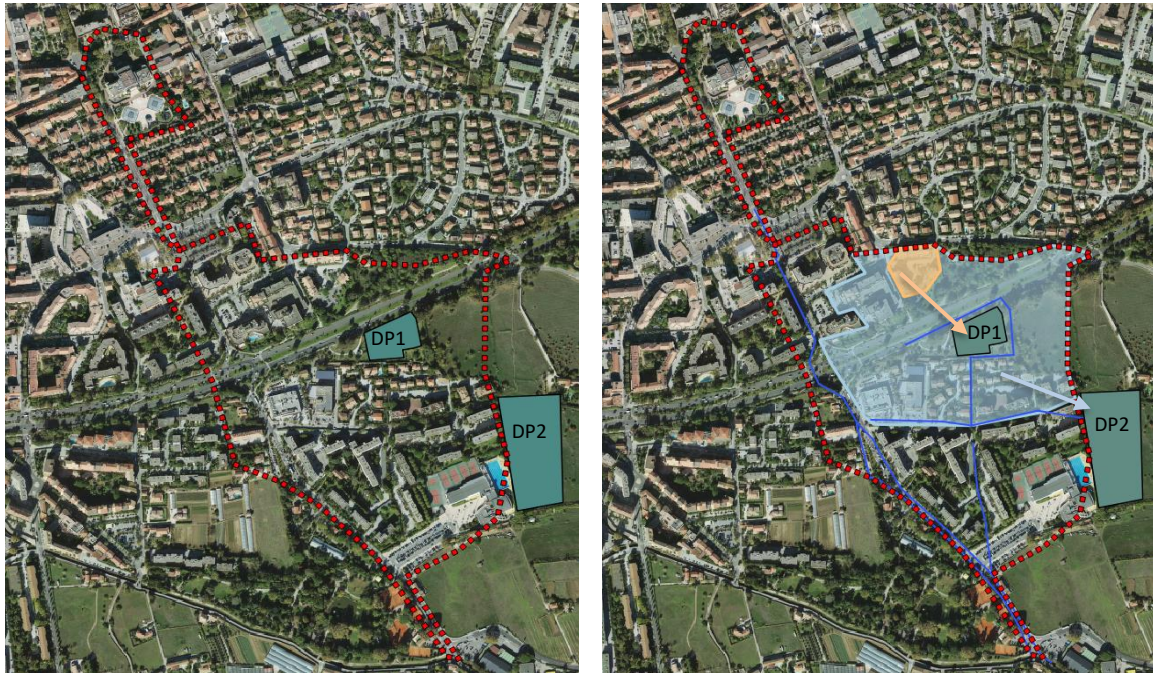


Figura 16, il primo bacino di detenzione DP1 sarà in grado di gestire i deflussi generati dalle aree impermeabili limitrofe, mentre il secondo bacino di detenzione DP2 di estensione significativa diventerà il ricettore per l'intera porzione di rete che verrà disconnessa.

*I bacini di detenzione si distinguono rispetto alle aree di detenzione per estensione di area disconnessa dalla rete di drenaggio; in particolare il bacino DP1 riceve direttamente il deflusso superficiale collettato da una superficie impermeabile di estensione pari a 5730 m<sup>2</sup> (area arancione in*

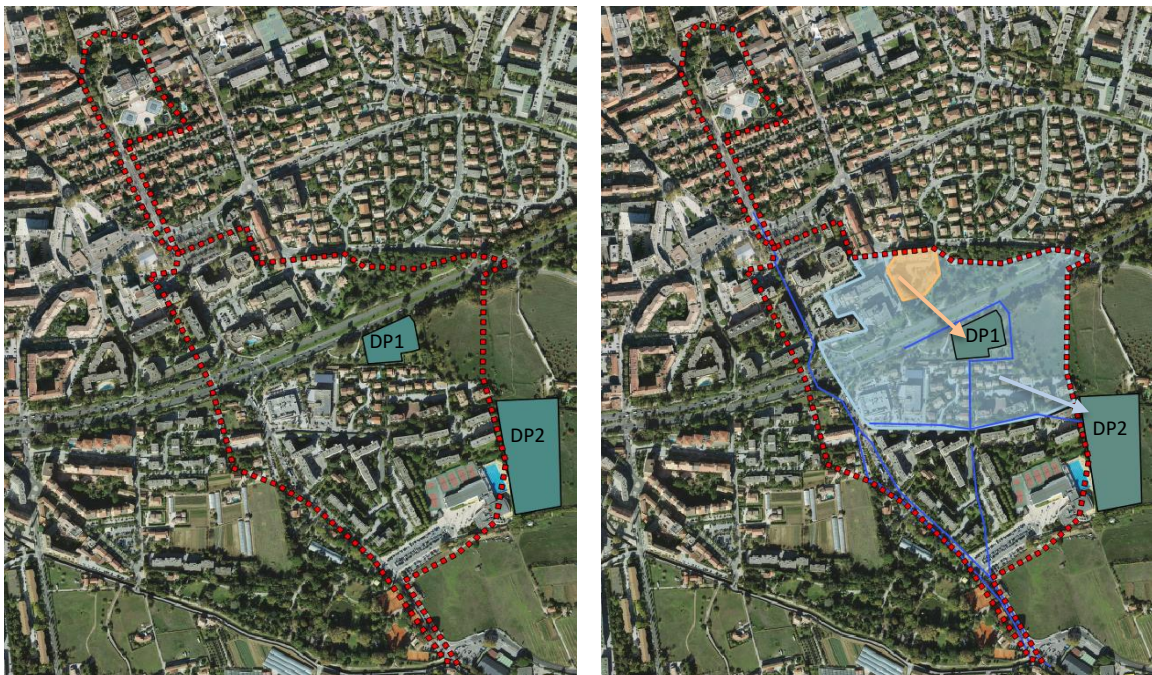


Figura 16) mentre il bacino DP2 di grande estensione consente di disconnettere un'area pari a 113540 m<sup>2</sup> (area azzurra in

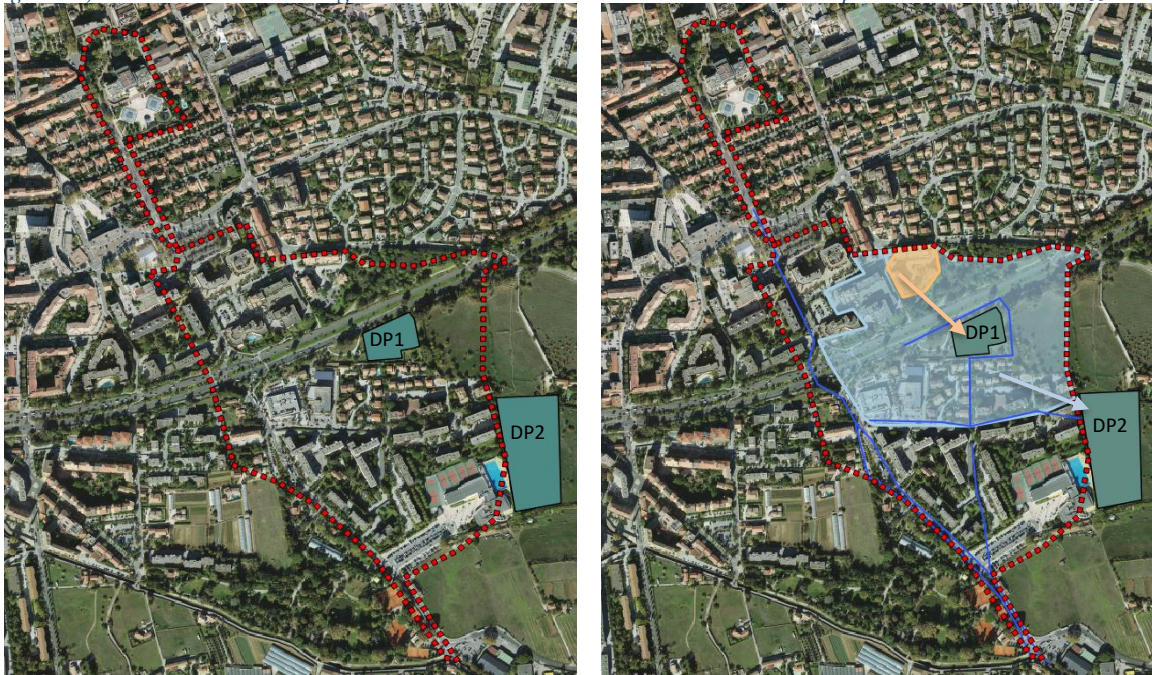


Figura 16).

Il bacino DP1 localizzato all'interno dell'area di studio viene modellato nel dettaglio utilizzando il modulo LID – Bioretention Cell nativamente implementato nel software EPA SWMM (Rossmann, 2010) mentre il bacino DP2 localizzato all'esterno dell'area di studio viene modellato facendo riferimento al modulo Unit Storage.

I parametri geometrici ed idraulici del bacino di detenzione DP1 localizzato all'interno dell'area di studio sono stati imputati in relazione alla soluzione tecnica ipotizzata ed illustrata in Figura 17. In Tabella 6 sono riportati i principali parametri idraulici relativi al bacino di detenzione implementata nel portale TRIG Eau secondo lo schema DP1.

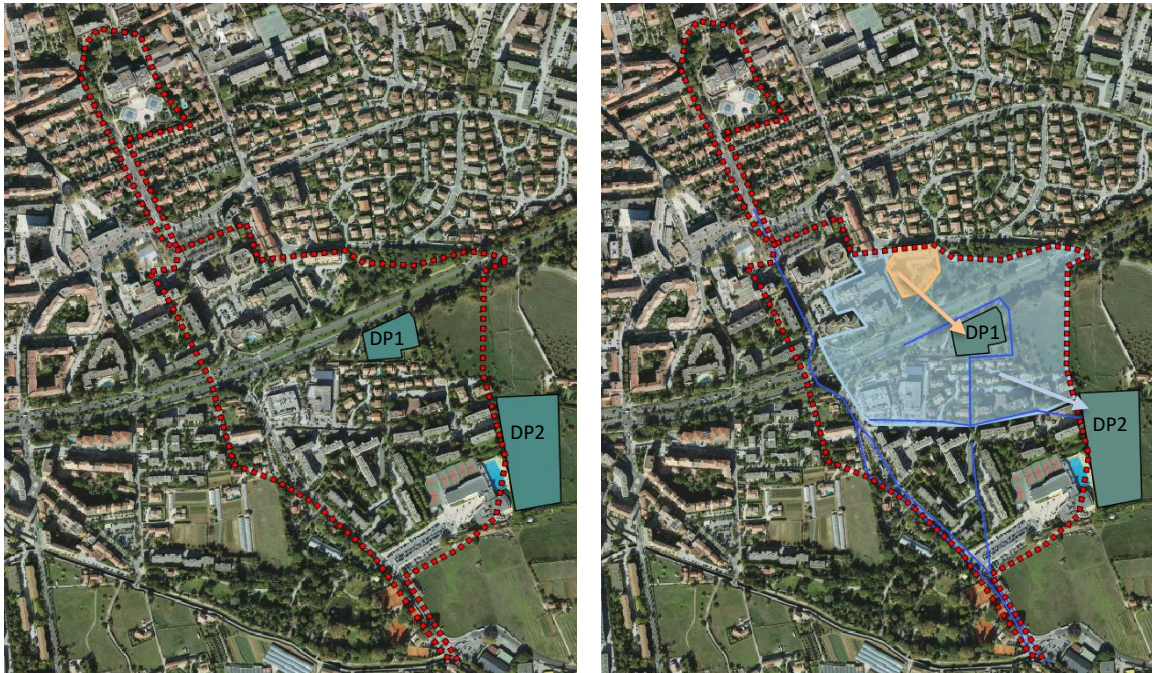


Figura 16: Restituzione nella piattaforma TRIG Eau del sistema di bacini di detenzione (sx) da realizzarsi nel bacino Est di Avenue Ambroise Thomas con le relative aree contribuenti (dx).

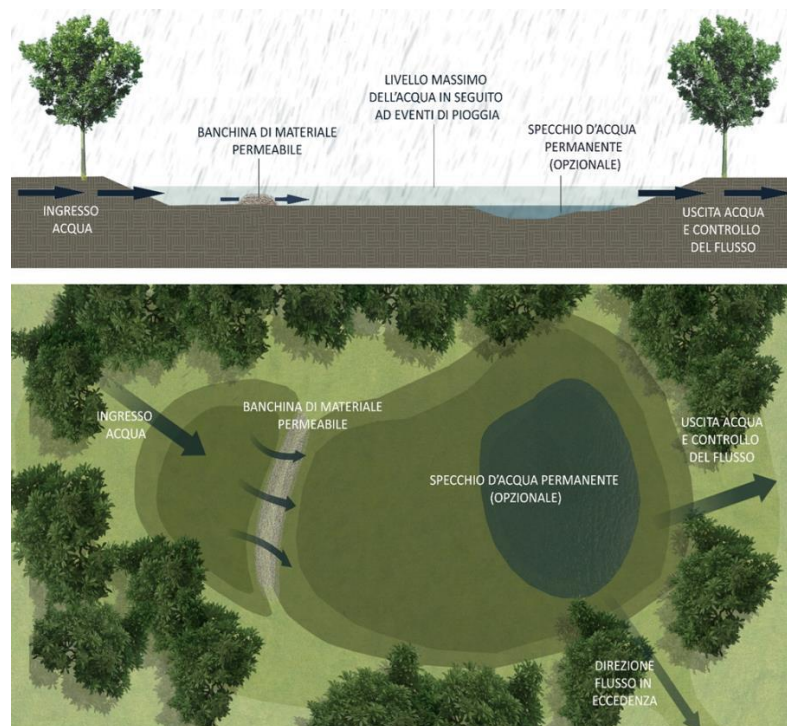


Figura 17 Schema progettuale per la realizzazione dei bacini di detenzione implementati nel portale TRIG Eau mediante lo schema denominato DP1 (schema da Huber, 2010).

Bacino di detenzione DP1	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 del bacino di detenzione implementati nel portale TRIG secondo lo schema DP1.

Il bacino DP2 localizzato all'esterno dell'area di studio viene modellato nel dettaglio utilizzando il modulo LID – Bioretention Cell nativamente implementato nel software EPA SWMM (Rossmann, 2010) mentre il bacino DP2 localizzato all'esterno dell'area di studio viene modellato facendo riferimento al modulo Unit Storage.

I parametri geometrici del bacino di detenzione DP2 localizzato all'esterno dell'area di studio sono stati imputati in relazione allo schema della soluzione ipotizzata. In Tabella 6 sono riportati i principali parametri geometrici relativi al bacino di detenzione implementata nel portale TRIG Eau secondo lo schema DP2; dove è stata ipotizzata per semplicità una forma prismatica dell'invaso ovvero il volume dell'invaso che cresce proporzionalmente al solo tirante in vasca.

Bacino di detenzione DP2	Area [m <sup>2</sup> ]	Profondità massima [m]
Unit Storage	20000	0.8

Tabella 8: Parametri assegnati per la modellazione del bacino di detenzione implementati nel portale TRIG secondo lo schema DP2.

#### 4.4 Scenari di intervento

Le aree complessivamente destinate all'intervento sono pari a 1.7 ha ovvero è stata convertita a sistemi di drenaggio sostenibili il 7% dell'area, l'intervento proposto ha previsto inoltre la disconnessione dalla rete di drenaggio di circa 2.6 ha che rappresentano il 10% dell'area.

Quali scenari di intervento sono state valutate due condizioni limite di funzionamento dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile realizzati nell'intervento previsto, sistemi secchi e sistemi umidi. L'analisi dei risultati dei due scenari limite è risultata necessaria per stabilire il livello di incertezza nella stima di rischio residuo associato all'intervento previsto.

## 5 Risultati

Per l'analisi della condizione di rischio idraulico residuo, ovvero la condizione di rischio 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 al 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 "Vasche vuote" e "Vasche piene".

### 5.1 Scenario con sistemi secchi

La condizione di rischio residuo a valle dell'intervento che ha previsto l'installazione di pavimentazioni porose, aree di bio-ritenzione, e di un bacino di detenzione nello scenario "Sistemi secchi" si rivela significativamente migliorata rispetto alla condizione attuale per quanto riguarda l'evento con periodo di ritorno biennale. L'intervento proposto si dimostra meno efficace per gli eventi di progetto caratterizzati dai periodi di ritorno pari a 5 e 10 anni a causa della persistenza di criticità non risolvibili nella rete esistente.

In particolare, per l'evento di periodo di ritorno pari a 2 anni, nello scenario "Sistemi secchi" le criticità sono ridotte significativamente come confermato dal valore pressoché dimezzato dell'indicatore NFI 0% (cfr. Figura 18). Le condizioni di deflusso nella rete permangono critiche con ancora 13 rami su 40 che presentano grado di riempimento superiore a 0.8 come confermato dall'indicatore NSI pari a 33% come illustrato in Figura 18. L'intervento proposto si dimostra efficace nel risolvere le criticità della rete ovest mentre si rivela meno efficace sulla rete est dove infatti i sistemi previsti sono minori per estensione e per superfici disconnessi (cfr. Figura 12, Figura 14 e Figura 16). L'intervento previsto risulta solo parzialmente efficace nel ripristino del ciclo idrologico naturale, infatti le prestazioni idrologiche sono nulle per la rete est (sezione 2 in Figura 18) ed è limitata alla sola riduzione del volume pari a circa il 33% per la rete ovest (sezione 1) come illustrato nel grafico a radar illustrato in Figura 19.

Per gli eventi di progetto caratterizzati da una maggiore severità, ovvero per i periodi di ritorno pari a 5 e 10 anni, l'intervento proposto nello scenario "Sistemi secchi" si dimostra parzialmente efficace come confermato dalla riduzione del numero di nodi (cfr. Figura 20 e Figura 22) e dal valore apprezzabile dell'indicatore di riduzione di allagamento nei nodi NFR, rispettivamente uguale a 25% e 8% (cfr. Figura 21 e Figura 23). La riduzione dello stress della rete invece è molto limitata, l'intervento proposto non riesce a sopperire alle criticità progettuali della rete esistente quali ad esempio locali restringimenti ed evidenti tratti sottodimensionati.

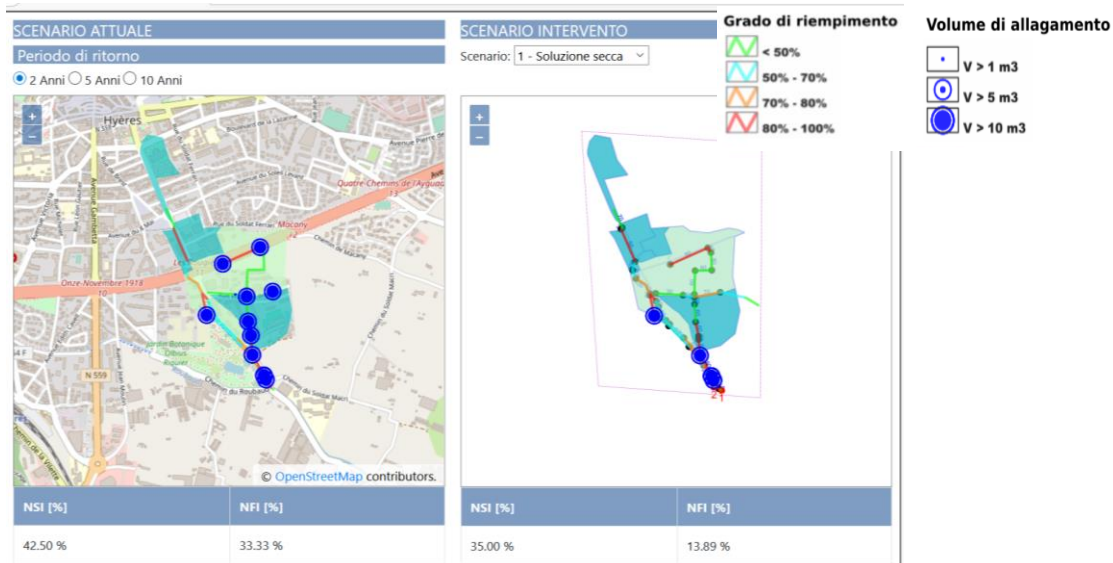


Figura 18: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario “Sistemi secchi” (a destra) del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice 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.

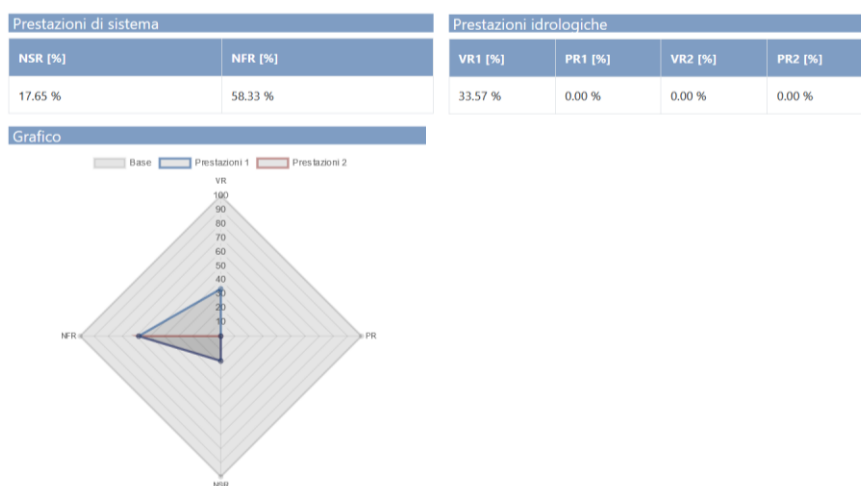


Figura 19: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell’allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario “Sistemi secchi” del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas e per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni.

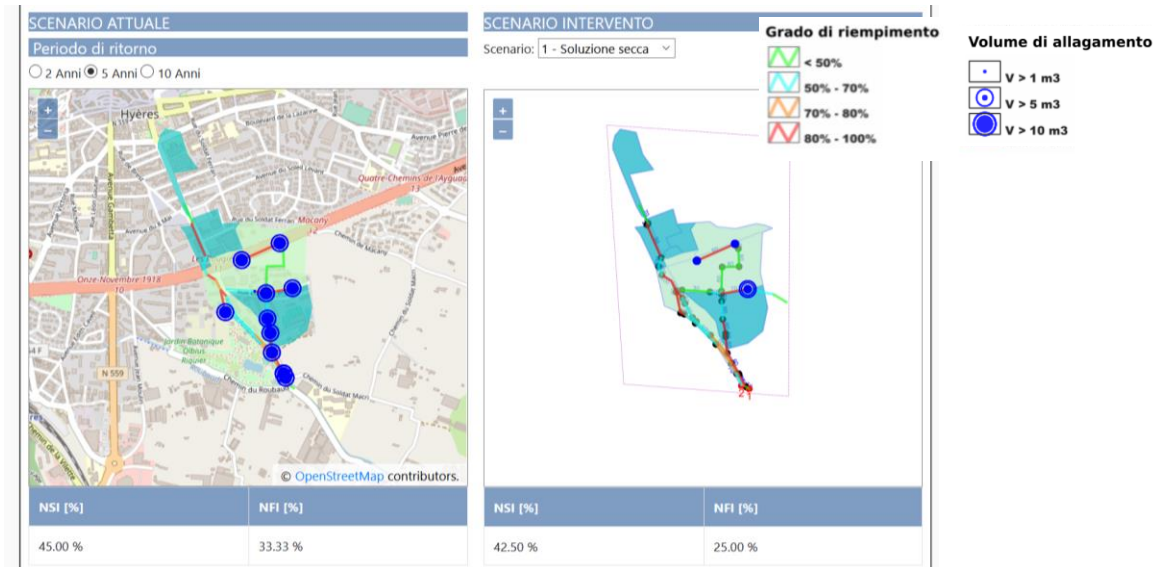


Figura 20: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario “Sistemi secchi” (a destra) del caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice 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 21: 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 del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas e per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni.

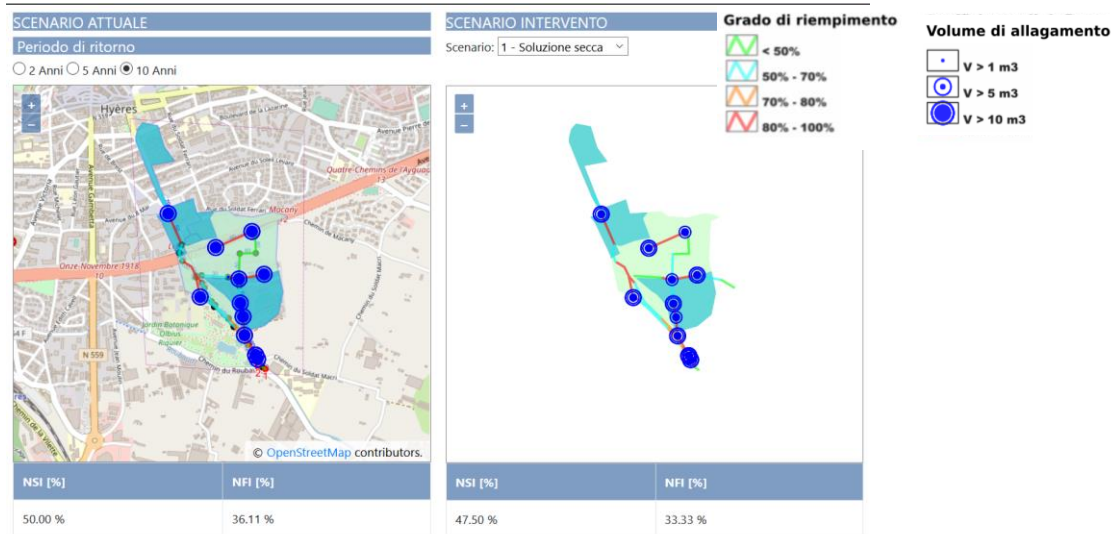


Figura 22: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario “Vasche vuote” (a destra) per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice 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 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 “Vasche vuote” per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas e per l’evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni.

## 5.2 Scenario con sistemi umidi

La condizione attuale di rischio residuo a valle dell’intervento nello scenario “Sistemi umidi” si rivela solo marginalmente migliorata rispetto al caso attuale. L’intervento proposto si dimostra efficace nel ridurre significativamente gli allagamenti localizzati e la condizione di stress nei rami solo per l’evento di periodo di ritorno biennale, mentre si dimostra poco efficace per gli eventi più severi.



L'intervento proposto nello scenario "sistemi umidi" si dimostra parzialmente efficace anche nel parziale ripristino del ciclo idrologico naturale con le medesime prestazioni idrologiche osservate nel caso "sistemi secchi". L'intervento proposto si dimostra efficace, come già evidenziato per lo scenario "sistemi secchi" nel risolvere le criticità della rete ovest mentre si rivela meno efficace sulla rete est dove infatti i sistemi previsti sono minori per estensione e per superfici disconnessi (cfr. Figura 12, Figura 14 e Figura 16).

Le soluzioni progettate e previste nell'intervento conducono alle medesime prestazioni indipendentemente dalla condizione di umidità iniziale, ovvero non si modificano 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 un grado di incertezza minimo ovvero un'elevata attendibilità.

In particolare, per l'evento di periodo di ritorno pari a 2 anni per il quale l'intervento proposto si dimostra efficace, nello scenario "Sistemi umidi" le criticità sono ridotte significativamente come confermato dal valore pressoché dimezzato dell'indicatore NFI pari a circa il 14% (cfr. Figura 24). Le condizioni di deflusso nella rete permangono critiche con ancora 14 rami su 40 che presentano grado di riempimento superiore a 0.8 come confermato dall'indicatore NSI pari a 35%. Le prestazioni di sistema sono comunque significative per l'evento biennale e si confermano pari a circa il 18% per la riduzione dello stress della rete (NSR) e pari a circa il 56% per la riduzione degli allagamenti (NFR); mentre le prestazioni idrologiche sono nulle per la rete est (sezione 2) e per la rete ovest (sezione 1) si osserva la sola riduzione del volume pari a circa il 33% come illustrato nel grafico a radar illustrato in Figura 25.

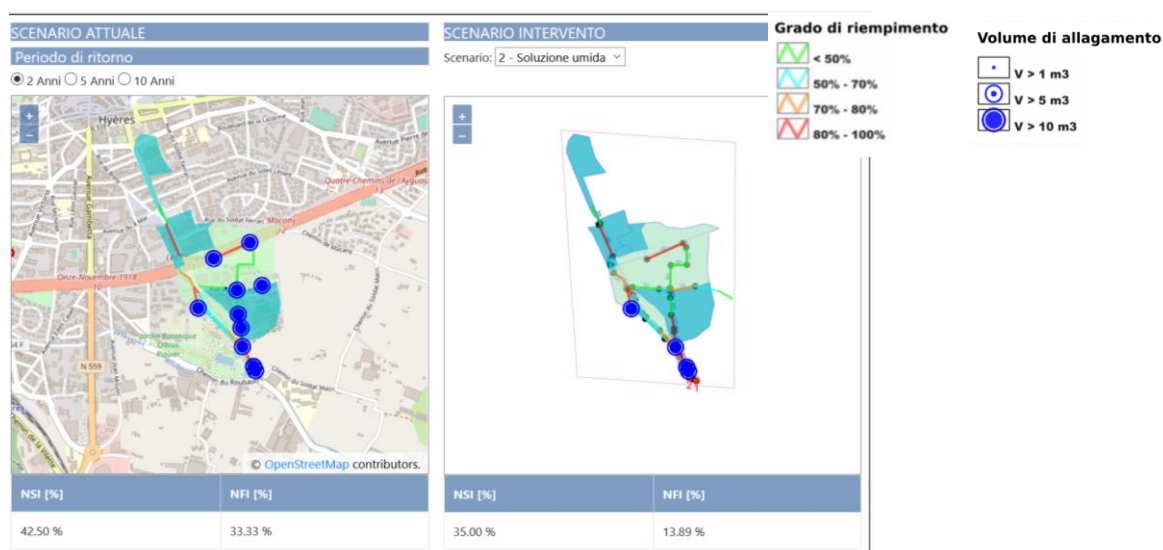


Figura 24: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Sistemi umidi" (a destra) per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice 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.

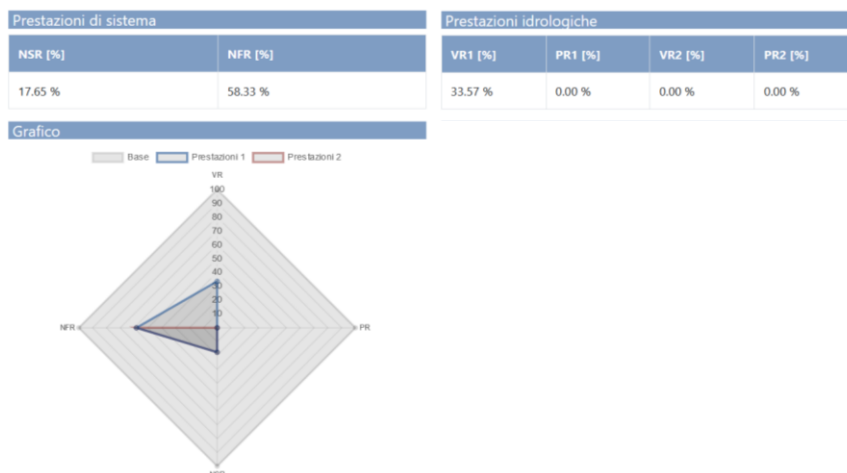


Figura 25: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Sistemi umidi" per il caso di studio del bacino Est di Avenue Ambroise Thomas e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni.

## 6 Conclusioni

L'analisi delle condizioni di rischio idraulico residuo del caso di studio Francesco è stata condotta utilizzando la piattaforma TRIG-Eau, sviluppata all'interno del progetto.

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni per la condizione attuale, emerge una condizione di rischio idraulico elevata; in particolare occorrono numerosi allagamenti localizzati anche per l'evento di progetto con periodo di ritorno biennale. Verificata la discreta permeabilità del bacino urbano con la porzione di aree permeabili pari a circa il 45% della superficie totale e con una significativa presenza di aree verdi, l'elevata condizione di rischio idraulico della condizione attuale è stata ricondotta alla conformazione della rete esistente. In particolare, la progettazione della rete esistente è avvenuta per fasi successive e non ha sempre tenuto in considerazione gli sviluppi dell'area, con il risultato di una gerarchia dei diametri non coerente con la direzione del flusso e con locali restringimenti nelle sezioni dei collettori.

La condizione di rischio residuo a valle dell'intervento che ha previsto l'installazione di pavimentazioni porose, aree di bioritenzione, e di un bacino di detenzione nello scenario si rivela significativamente migliorata rispetto alla condizione attuale per quanto riguarda l'evento con periodo di ritorno biennale. L'intervento proposto si dimostra meno efficace per gli eventi di progetto caratterizzati dai periodi di ritorno pari a 5 e 10 anni a causa della persistenza di criticità non risolvibili nella rete esistente.

Gli effetti osservati sulle condizioni di deflusso della rete si possono riassumere in una mitigazione delle condizioni di sovraccarico dei tratti di monte della rete ovest con condizioni di rischio residuale accettabile per l'evento di precipitazione caratterizzato dal periodo di ritorno più modesto ( $T=2$  anni) mentre ulteriori interventi andrebbero previsti per l'adeguamento della rete est e dei tratti terminali.

## 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.
- Huber, J., “Low Impact Development: A Design Manual for Urban Areas”, University of Arkansas Press, 227 pp., 2010.
- 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.
- Rossmann, 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.