

Il rischio idraulico residuo del bacino pilota

Prodotto T2.2.2. redatto da:

Ilaria Gnecco

Anna Palla

Sommario

Premessa.....	3
1 Il caso pilota.....	4
1.1 Analisi del contesto	4
1.2 Informazioni territoriali	4
1.3 La permeabilità dell'area	10
1.4 Dati pluviometrici.....	10
2 Implementazione del modello semplificato per il rischio idraulico IDRORES.....	12
2.1 Schematizzazione degli elementi.....	12
2.2 Parametri idrologici-idraulici degli elementi.....	13
3 La condizione attuale di rischio.....	14
4 Azioni per la mitigazione del rischio idraulico.....	16
4.1 I sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche	17
4.2 Scenari di intervento	17
5 Risultati.....	18
5.1 Scenario con vasche vuote.....	18
5.2 Scenario con vasche parzialmente piene.....	22
6 Conclusioni	25
Riferimenti bibliografici.....	26

Premessa

Tale documento costituisce il prodotto T.2.2.2. 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 Campo dell'Elba, selezionato quale caso pilota.

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 pilota; 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 sistemi di raccolta e recupero di acque meteoriche a servizio di ciascuna palazzina;
- nella quinta sezione viene descritta la condizione di rischio idraulico residuo ovvero la condizione di rischio post - installazione dei sistemi proposti.

1 Il caso pilota

1.1 Analisi del contesto

L'insediamento relativo al Piano di Edilizia Economica Popolare di Bovalico, di seguito nominato PEEP Bovalico, nel comune di Campo dell'Elba è stato selezionato quale sito pilota per l'applicazione del modello di rischio idraulico residuo sviluppato nell'ambito del progetto TRIG Eau.

Il complesso di natura residenziale è costituito da 8 palazzine che si configurano come 16 unità abitative semi-indipendenti, dotate di garage e verde privato. La progettazione dell'area ha tenuto conto della percentuale complessiva di impermeabilizzazione dei suoli e dove possibile sono state utilizzate soluzioni permeabili ai deflussi meteorici. In particolare sia le aree destinate al transito pedonale (marciapiedi) sia i posteggi comuni sono realizzati con soluzioni permeabili.

In Figura 1 è riportata l'ortofoto dell'area di studio con un focus sul complesso residenziale del PEPP Bovalico.

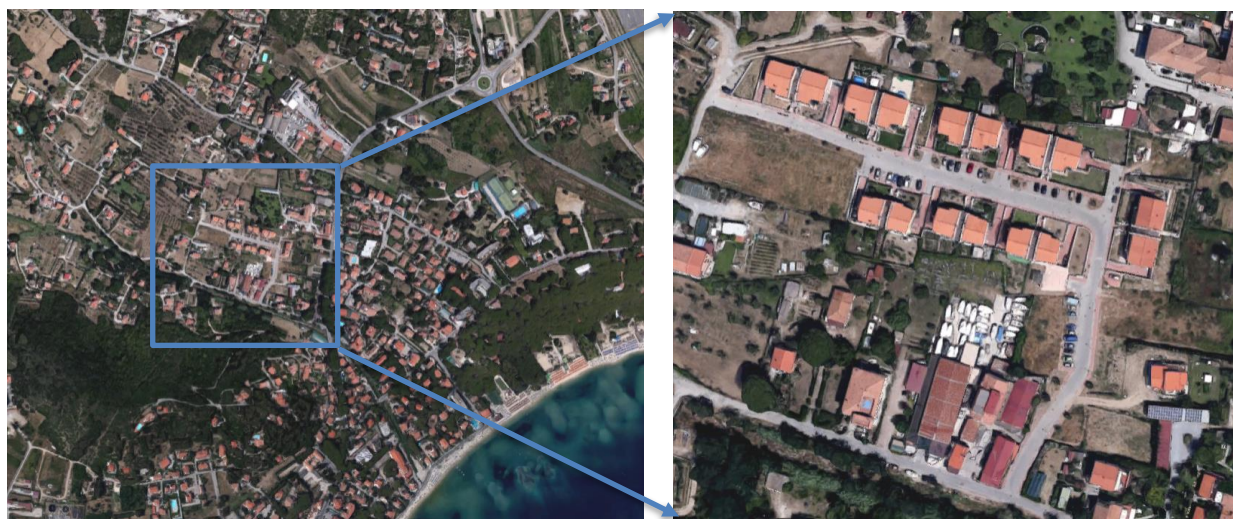


Figura 1: Ortofoto dell'area di studio nel comune di Campo dell'Elba (Elba, Toscana): il complesso residenziale del Piano di Edilizia Economica Popolare (PEEP) di Bovalico. Fonte dei dati: Regione Toscana - "OFC2K"

1.2 Informazioni territoriali

La caratterizzazione dell'area pilota 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):

- Perimetrazione dell'area di studio;
- Ortofoto;
- Reticolo stradale principale;
- Carta di uso e copertura del suolo;
- Edificato;
- Rete di drenaggio principale;

- Reticolo idrografico;
- Modello digitale del terreno.

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



Figura 2: Estratto dell'ortofoto del Comune di Campo dell'Elba e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana – "OFC2K"

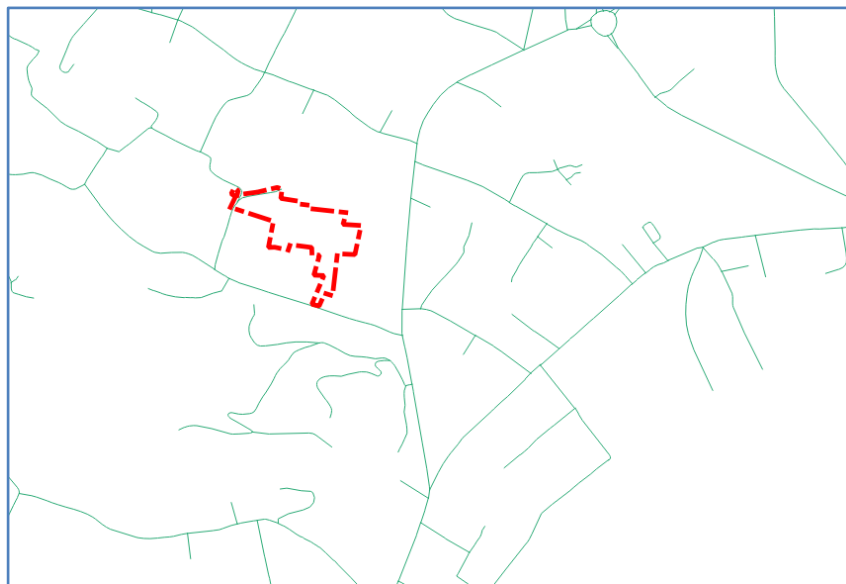


Figura 3: Estratto della mappa relativa al reticolo strade del Comune di Campo dell'Elba e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Comune di Campo dell'Elba

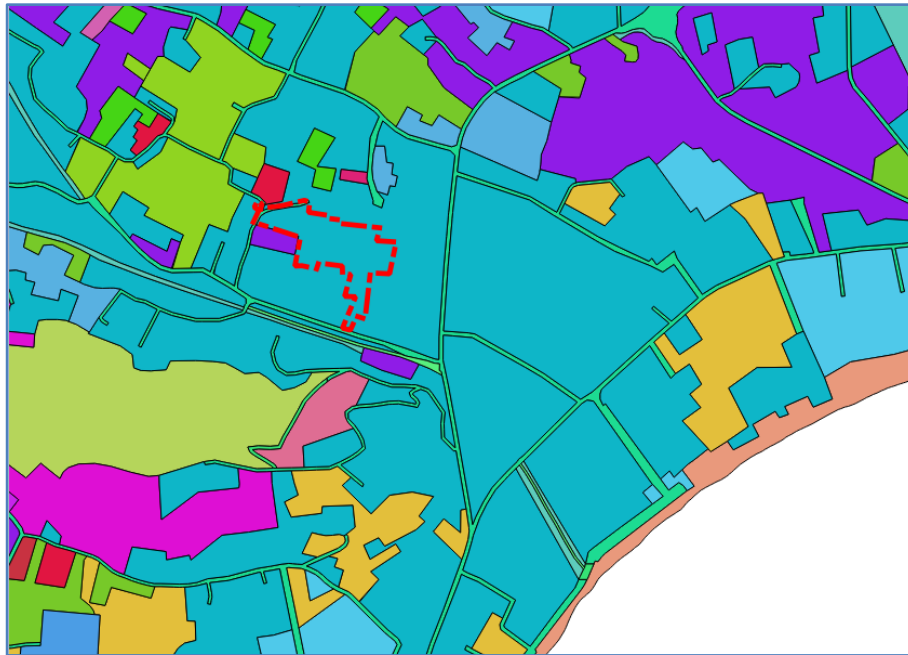


Figura 4: Estratto della mappa relativa alla copertura e all'uso del suolo e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana

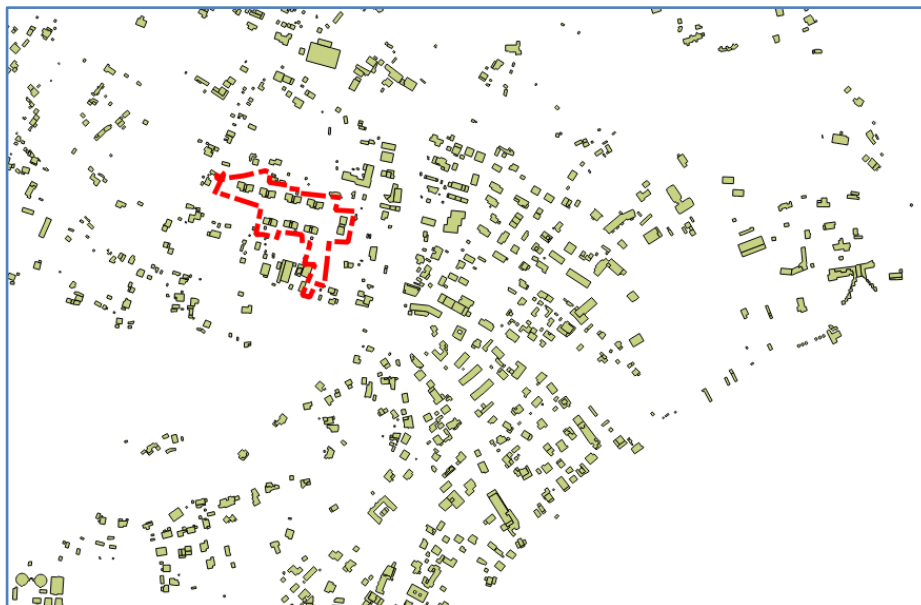


Figura 5: Estratto della mappa relativa all'edificato e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana.

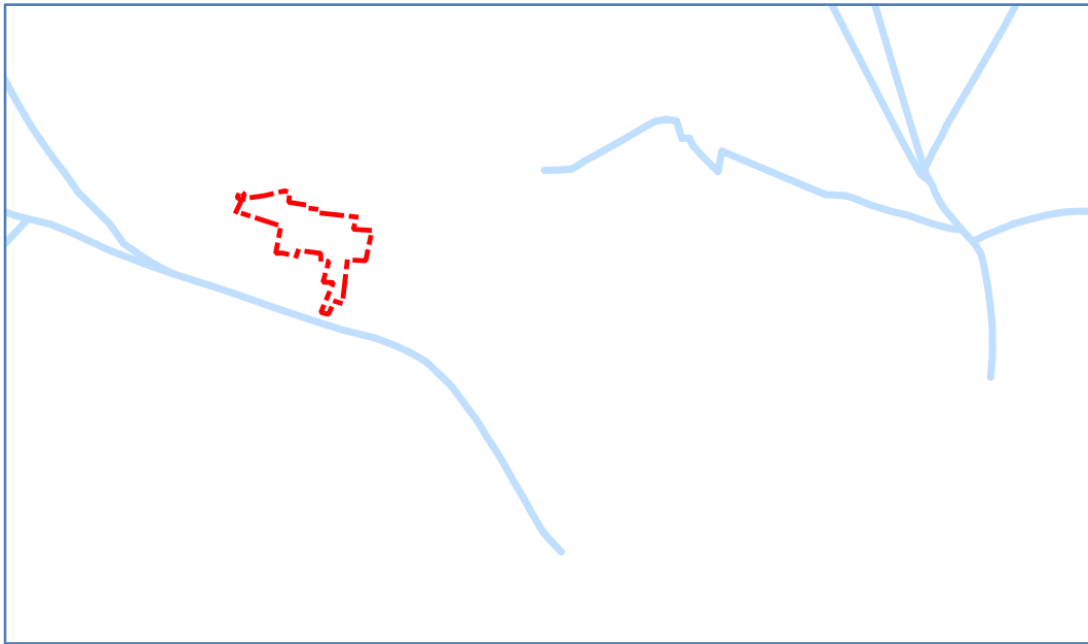


Figura 6: Estratto della mappa relativa al reticolo idrografico naturale e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana.

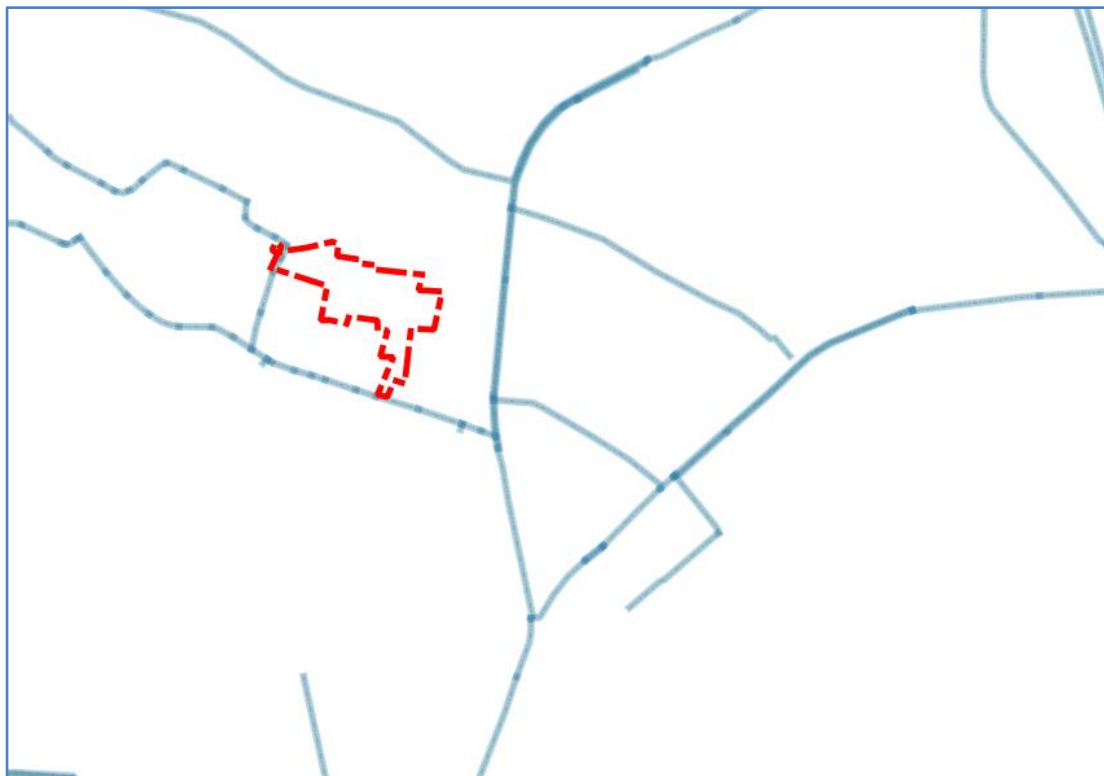


Figura 7: Estratto della mappa relativa alla rete di drenaggio artificiale (collettori principali) e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana.



Figura 8: Estratto della Modello digitale del terreno (2mx2m) e perimetrazione dell'area di studio: complesso residenziale PEEP di Bovalico (perimetro in linea rossa tratteggiata). Fonte dei dati: Regione Toscana, dtm_006_2008_3003.

Le seguenti altre informazioni spaziali di dettaglio relative al complesso residenziale del PEEP Bovalico sono state invece reperite dalla società di costruzioni che ha realizzato l'intervento nella forma di tavole di progetto (.dwg):

- Planimetria generale dell'intervento edilizio con dettaglio dei manufatti edilizie e delle opere accessorie.
- Profilo planimetrico della rete di drenaggio dell'area ed indicazione dei diametri.

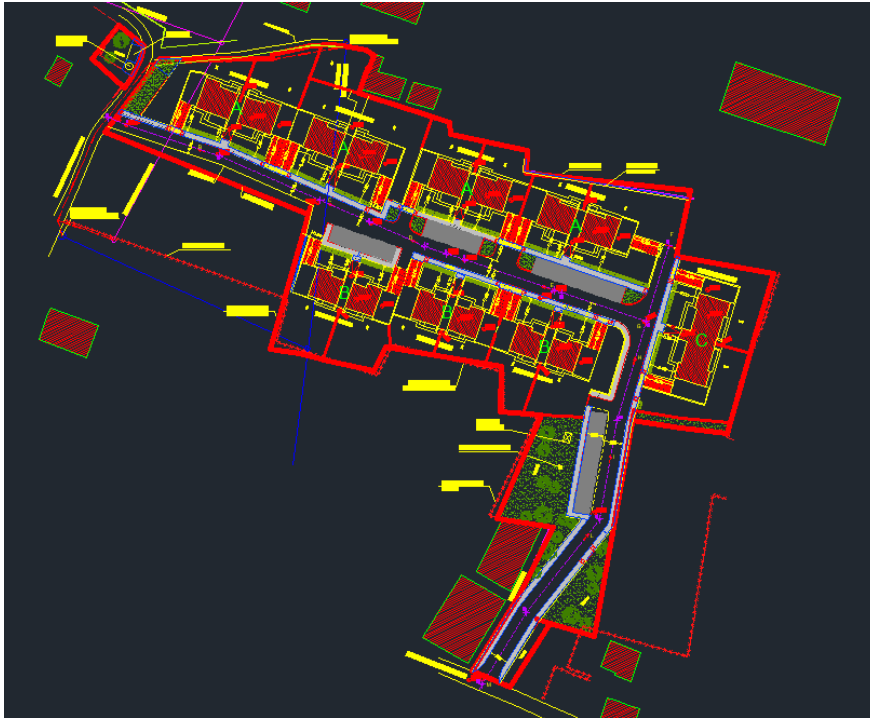


Figura 9: Estratto della tavola di progetto planimetria generale, con indicazione dettagliata dei manufatti edilizi e delle opere accessorie per il complesso residenziale del PEEP Bovalico.

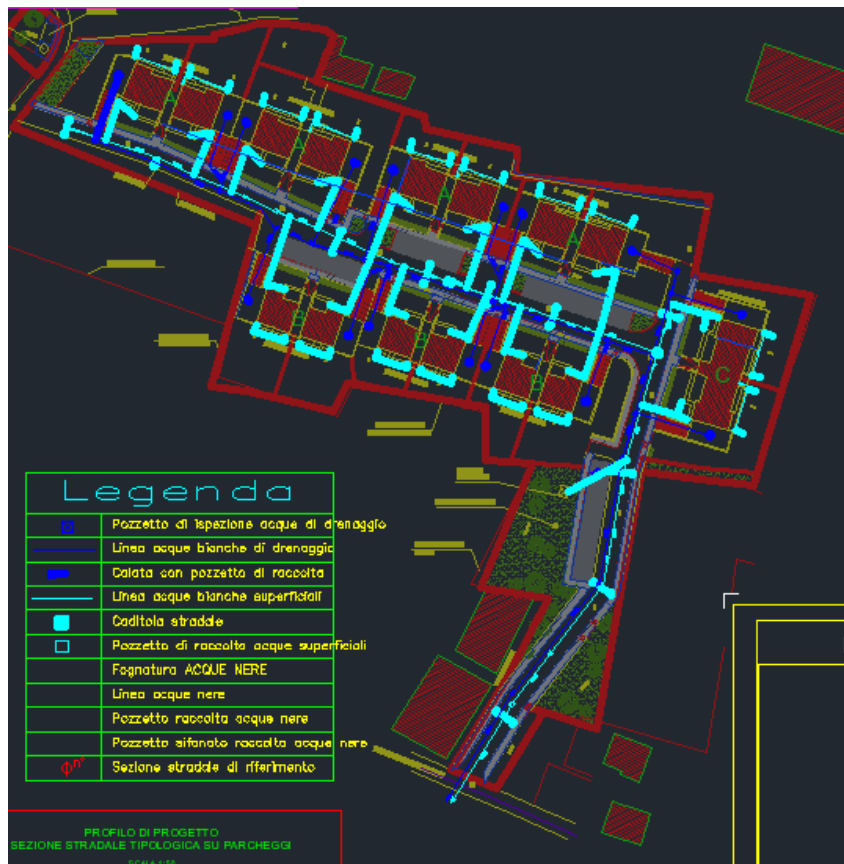


Figura 10: Estratto della tavola di progetto Fognatura Bianca, con indicazione dettagliata dei diametri dei rami della rete principale e secondaria per il complesso residenziale del PEEP Bovalico.

1.3 La permeabilità dell'area

Per l'analisi della permeabilità dell'area 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 urbano discontinuo. 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, logge, strade e parcheggi;
- Per le aree permeabili: aiuole, giardini, parcheggi drenanti, marciapiedi.

Nella Tabella 1 si riportano i risultati relativi alla permeabilità dell'area di studio, in particolare l'area del PEEP Bovalico si conferma un'area discretamente permeabile con una percentuale di aree permeabili pari al 60% di cui una porzione significativa è vegetata (giardini e aiuole). La percentuale di aree destinate a edificati (tetti pari a 16%) così come quella destinata alla viabilità interna (17%) sono coerenti con la natura residenziale a bassa densità dell'intervento edilizio.

Categoria di Uso del suolo	Area [ha]	Area [%]
Tetti	0.1806	16%
Logge	0.0028	0%
Strade e Parcheggi	0.1875	17%
Tot Area Impermeabile	0.454	40%
Aiuole	0.1002	9%
Giardini	0.5191	46%
Parcheggi drenanti	0.0484	4%
Marciapiedi	0.0831	7%
Tot Area Permeabile	0.6677	60%
Tot	1.1217	100%

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 "Aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012" nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 per quanto riguarda la determinazione degli eventi di progetto; mentre per quanto riguarda la pluviometria media annua sono stati analizzati i dati giornalieri osservati presso la stazione pluviometrica di Monte Perone nel Comune di Campo dell'Elba (Lat 42.775; Lon 10.191) selezionata per la prossimità all'area di studio.

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 (Lat

45.388; Lon 11.726), in particolare la regionalizzazione fa riferimento alla classica legge di potenza a due parametri valutati in funzione del periodo di ritorno prescelto, ovvero non facendo riferimento all'ipotesi di invarianza di scala.

$$h(d, T) = a(T) \cdot d^{n(T)}$$

dove $h(d, T)$ è la massima altezza di precipitazione osservata per la durata d e per il periodo di ritorno T ; $a(T)$ e $n(T)$ sono rispettivamente il coefficiente e l'esponente delle LSPP per il periodo di ritorno T .

Per i periodi di ritorno di interesse nelle valutazioni di rischio idraulico in contesto urbano si riportano i valori dei parametri per l'area del PEEP Bovalico nella Tabella seguente.

Parametri della LSPP	Periodo di ritorno [anni]		
	2	5	10
Coefficiente a	25.61	36.09	43.7
Esponente n	0.259	0.252	0.260

Tabella 2: Parametri della Linea Segnatrice di Possibilità Pluviometrica per l'area di studio del PEEP Bovalico, desunti dalla Regionalizzazione delle precipitazioni intense (DGRT 1133/2012) per la posizione definita dalla coppia di coordinate (Lat 45.388; Lon 11.726).

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 del PEEP Bovalico valutati per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

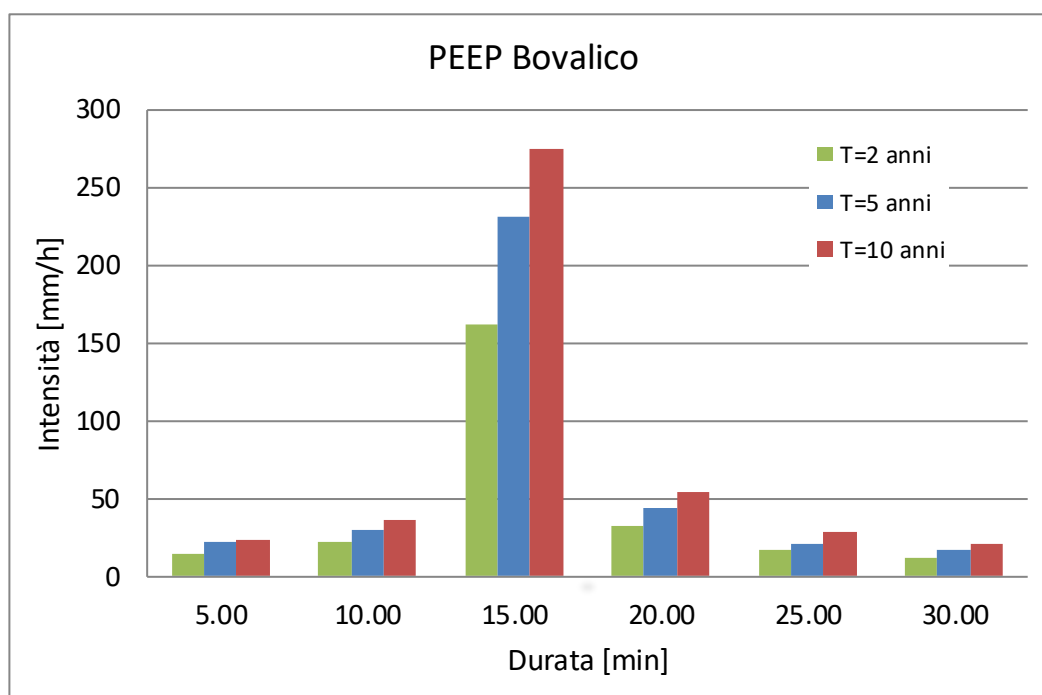


Figura 11: Ietogrammi di progetto per l'area di studio del PEEP Bovalico per i periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

L'analisi dei dati giornalieri di precipitazione ha riguardato per la stazione di Monte Perone l'intero periodo di osservazione (2012-2019). In Figura 12 è illustrata la pioggia giornaliera osservata a Monte Perone (Campo dell'Elba, Toscana) nel periodo 2012-2019.

Sulla base dei dati pluviometrici giornalieri disponibili per la stazione di Monte Perone è stata stimata per l'area del PEEP Bovalico una piovosità media annua pari a 825 mm.

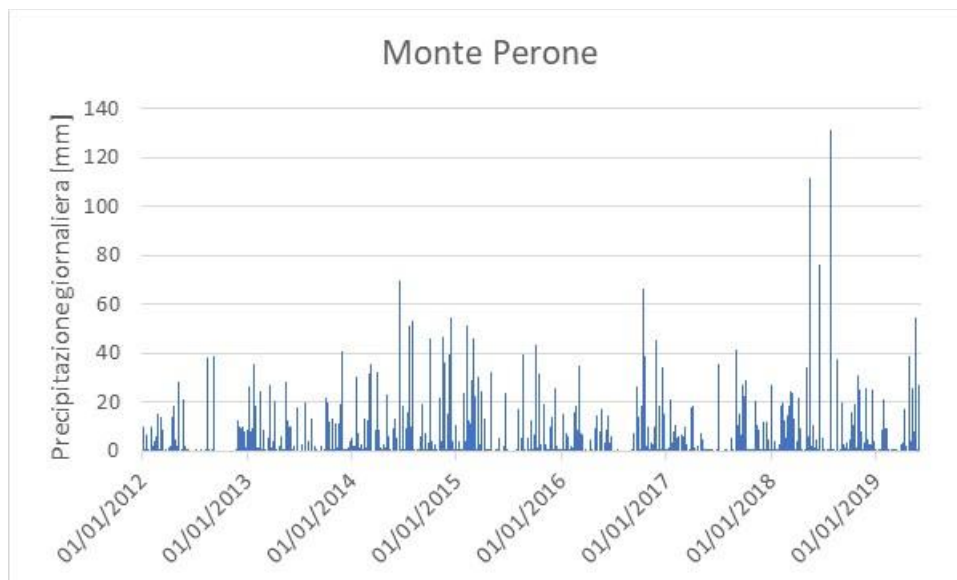


Figura 12: Pioggia giornaliera osservata a Monte Perone (Campo dell'Elba, Toscana) nel periodo 2012-2019.

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 pilota sulla base delle informazioni territoriali facendo riferimento ad una schematizzazione di dettaglio. La buona disponibilità e la qualità dei dati spaziali reperiti per l'area di studio ha reso elegibile il caso toscano come caso pilota nel territorio transfrontaliero.

2.1 Schematizzazione degli elementi

Il sito pilota PEEP Bovalico che ha un'estensione complessiva pari a 1.12 ha 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 24 nodi e 23 condotte come riportato in Figura 13 in conformità con quanto riportato nelle tavole di progetto. In Figura il tracciato della rete di drenaggio delle acque meteoriche è riportato con una linea nera, dove il diametro di ciascun condotta è indicato come un'etichetta blu (diametro espresso in cm) mentre la pendenza è indicato con una etichetta nera.

Per quanto riguarda i sottobacini sono stati restituiti nella piattaforma TRIG-Eau, 102 sottobacini caratterizzati dalle seguenti categorie di uso del suolo:

- A-Aiuole;
- G-Giardini Privati;
- L-Logge;
- M-Marciapiede;
- PD- parcheggi drenanti;
- S-Strade;
- T- superfici a tetto.

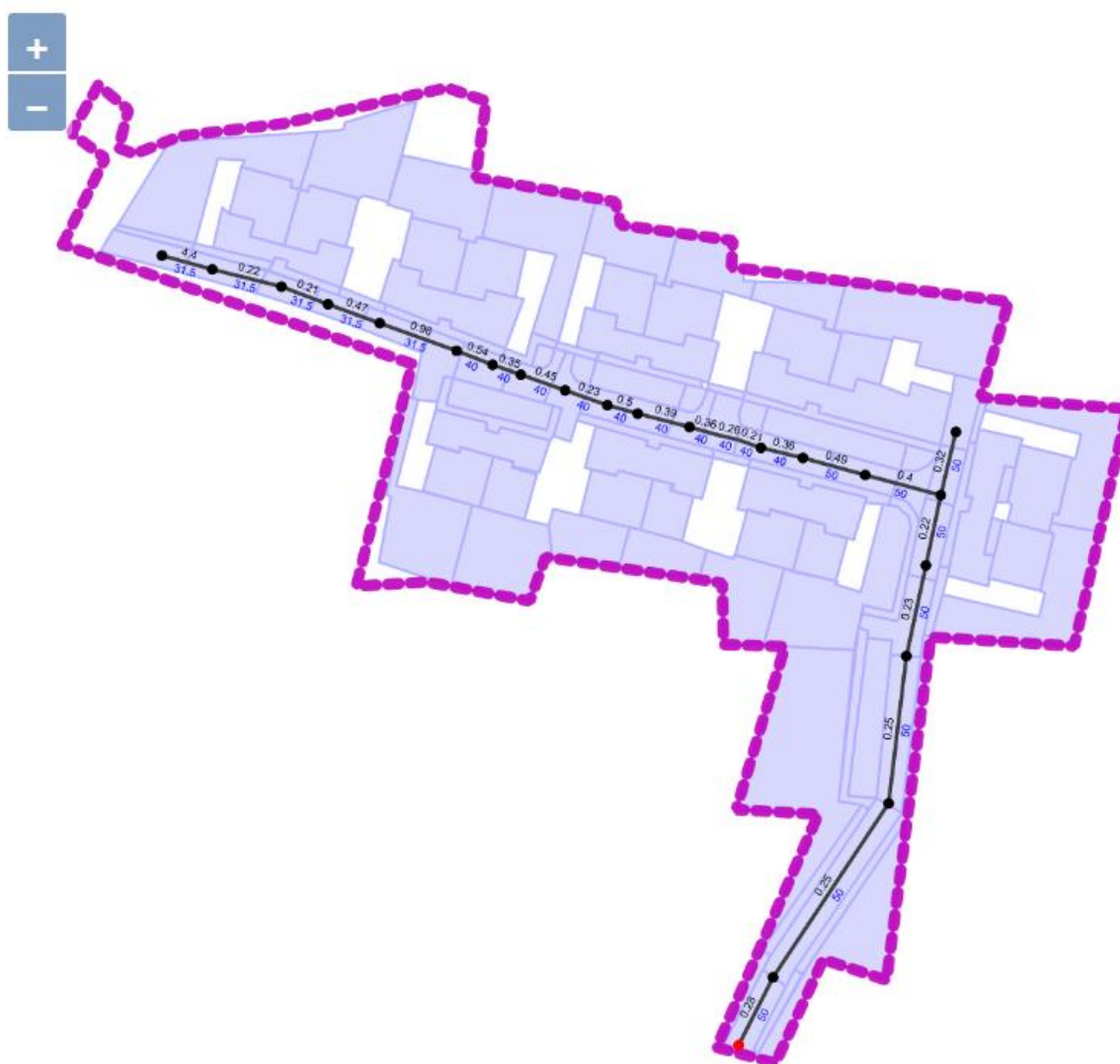


Figura 13: Implementazione nella piattaforma TRIG Eau del caso pilota del PEEP Bovalico. Indicazione dei sottobacini (poligoni azzurri) e della rete di drenaggio delle acque meteoriche (linea nera) comprensiva di valori dei diametri in cm (etichette blu) e delle pendenze (etichette nere) di ciascun ramo.

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 $0.014 \text{ s/m}^{1/3}$.

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 7 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	% _{imp}	n _{imp}	n _{perv}
Aiuole	60	0	0.011	0.13
Giardini Privati	65	20	0.011	0.13
Logge	95	100	0.011	0.13
Marciapiedi	80	80	0.011	0.13
Parcheggi drenanti	72	50	0.011	0.13
Strade	90	100	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 sito pilota si dimostra moderata in quanto dalla valutazione dell'insufficienza idraulica anche per l'evento più severo con periodo di ritorno decennale non si osserva nessun allagamento. 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 osserva un solo ramo su 23 che presenta criticità ovvero con un massimo grado di riempimento superiore a 0.8, come confermato dall'indicatore NSI pari a circa 4% (cfr. Figura 14).

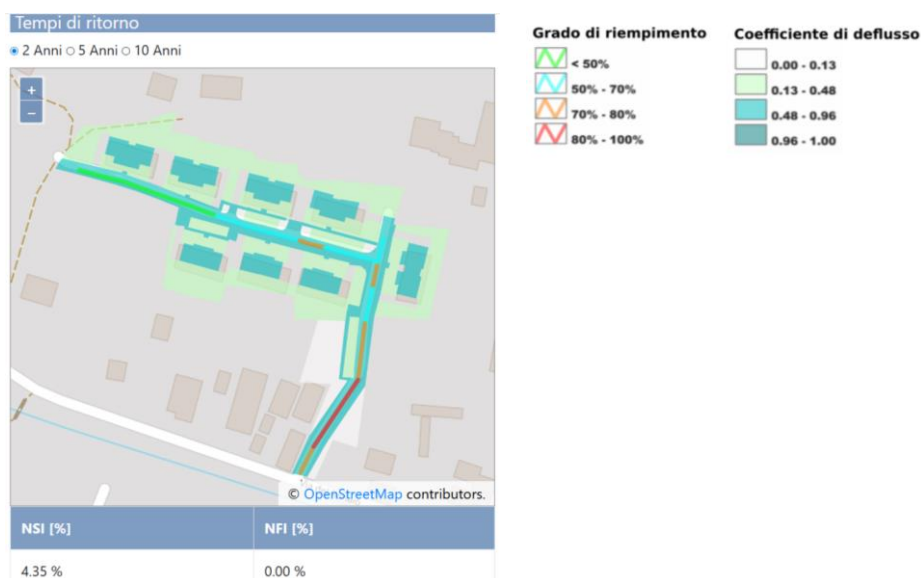


Figura 14: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni. In alto a 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 con rispettivamente 11 e 15 rami su 23 che presentano con un massimo grado di riempimento superiore a 0.8, come confermato dagli indicatori NSI pari a, rispettivamente, 48% e 65% (cfr. Figura 15 e Figura 16).



Figura 15: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso pilota del PEEP-Bovalico 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.

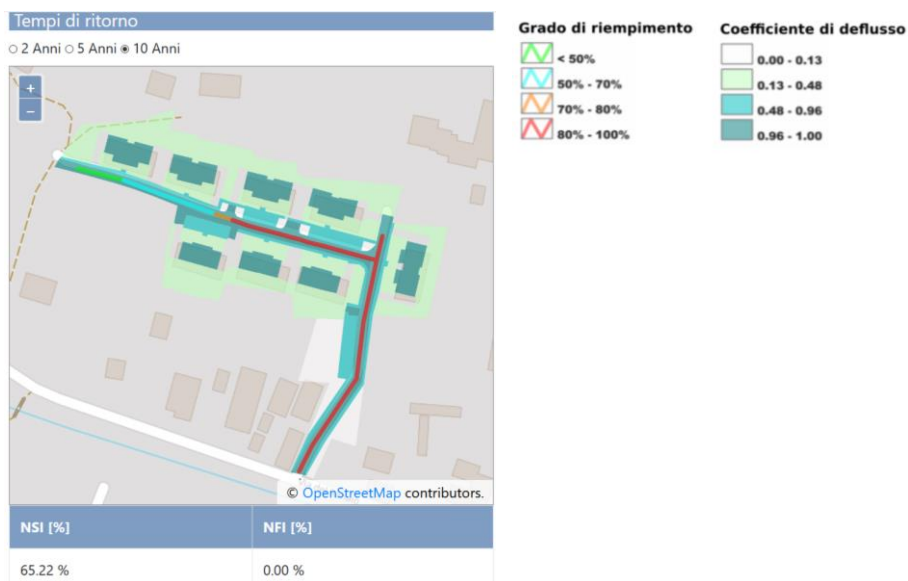


Figura 16: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni. In alto a 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 bacino pilota è la realizzazione di sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche. Tra le diverse tipologie di sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SUDS) si è previsto di utilizzare i sistemi di raccolta e recupero delle acque meteoriche considerando la buona condizione di permeabilità dell'area e la limitata disponibilità di superfici libere a terra ed

ipotizzando che questa tipologia di soluzioni potesse essere implementata all'interno delle proprietà private.

4.1 I sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche

I sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche sono stati progettati per le 8 palazzine, prevedendo l'installazione di 8 vasche per la raccolta, di 8 stazioni di sollevamento e di 8 collegamenti con la rete esistente. Il dimensionamento della vasca di raccolta, nonché la stima del fabbisogno non potabile per i singoli impianti è stato condotto facendo riferimento alla norma UNI/TS 11445 "Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - progettazione, installazione e manutenzione", Norma UNI/TS 11445, Ed. UNI Italia, Milano.

In accordo con quanto enunciato nella norma UNI/TS 11445 i sistemi sono stati dimensionati facendo riferimento al metodo semplificato, ovvero operando delle valutazioni su base annua. In particolare il volume utile di ciascuna vasca a servizio di ogni singola palazzina viene valutato come valore minimo tra il 6% del volume di afflusso meteorico annuo ed il 6% del volume annuo di richiesta di acqua per usi diversi dal consumo umano. Ai fini del dimensionamento delle vasche si è fatto riferimento alla piovosità media annua valutata per la stazione di Monte Perone pari a 825 mm; al coefficiente di deflusso per le coperture piane pari a 0.8; al consumo di acqua limitato alle cacciate dei WC stimato pari a 40 l/ab/g e al numero di abitanti medio per Palazzina pari a 16 persone (4 unità monofamiliari di 4 persone ciascuna).

In Tabella sono riportati per ciascuna palazzina il volume di afflusso meteorico annuo, Q , il volume di richiesta di acqua per usi diversi dal consumo umano, D , e la capacità delle vasche, S .

Edificio	Q [m ³]	D [m ³]	S [m ³]	S/Q [-]
Palazzina 1	167.5	234	10	0.06
Palazzina 2	160.8	234	10	0.06
Palazzina 3	160.8	234	10	0.06
Palazzina 4	157.0	234	10	0.06
Palazzina 5	169.6	234	10	0.06
Palazzina 6	124.3	234	8	0.06
Palazzina 7	125.8	234	8	0.06
Palazzina 8	126.1	234	8	0.06

Tabella 4: Volume di afflusso meteorico annuo, Q , volume di richiesta di acqua per usi diversi dal consumo umano, D , e la capacità delle vasche, S , per ogni palazzina del caso pilota PEEP Bovalico.

4.2 Scenari di intervento

Quali scenari di intervento sono state valutate due condizioni limite dell'impianto, vasche vuote e vasche riempite per l'ottanta per cento della loro capacità. L'analisi dei risultati dei due scenari limite è risultata necessaria per stabilire le corrette regole di gestione degli impianti.

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 et al., 2017) 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 "Vasche vuote" e "Vasche piene".

5.1 Scenario con vasche vuote

La condizione di rischio residuo a valle dell'intervento di introduzione di sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche nello scenario "Vasche Vuote" si rivela significativamente migliorata rispetto alla condizione attuale. L'intervento proposto si dimostra efficace nel ridurre significativamente la condizione di stress nei rami come dimostrato dai valori apprezzabili dell'indicatore NSR per tutti e tre gli eventi di progetto caratterizzati dai periodo di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni.

In particolare, per l'evento di periodo di ritorno pari a 2 anni, nello scenario "Vasche Vuote" le criticità sono risolte come confermato dal valore nullo dell'indicatore NSI 0% (cfr. Figura 17). L'intervento proposto si dimostra efficace anche nel parziale ripristino del ciclo idrologico naturale come confermato dalle apprezzabili prestazioni idrologiche pari a circa il 40% sia per il volume, VR, che per la portata di picco, PR (cfr. Figura 18).

Anche 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 "Vasche Vuote" si dimostra efficace come confermato dalla riduzione dei rami che presentano gradi di riempimento superiori all'ottanta per cento (cfr. Figura 19 e Figura 21) e dal valore

apprezzabile dell'indicatore di riduzione di stress nella rete NSR, rispettivamente uguale a 91% e 73% (cfr. Figura 20 e Figura 22).

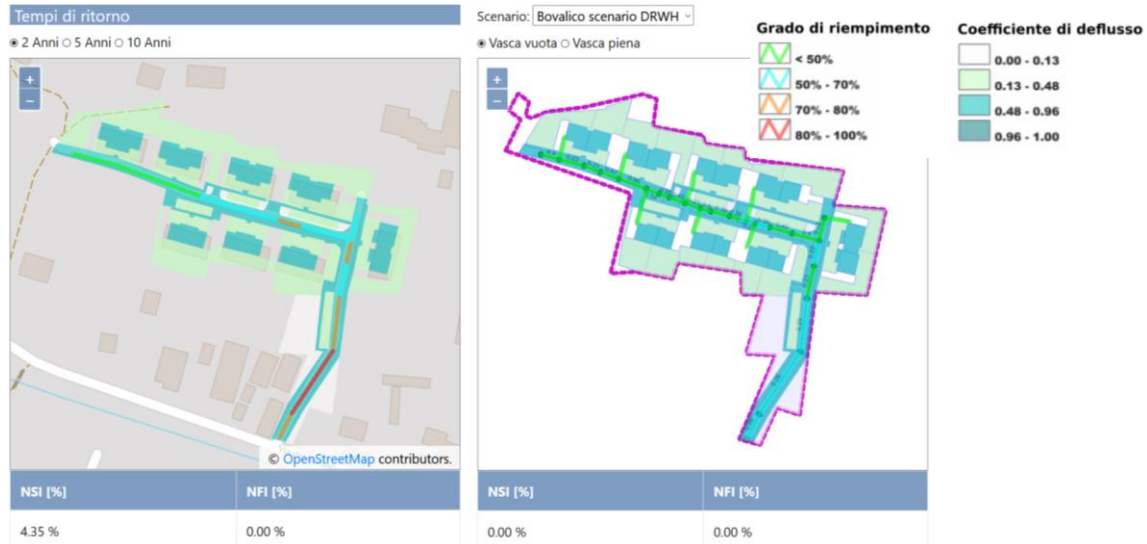


Figura 17: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche vuote" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) 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.

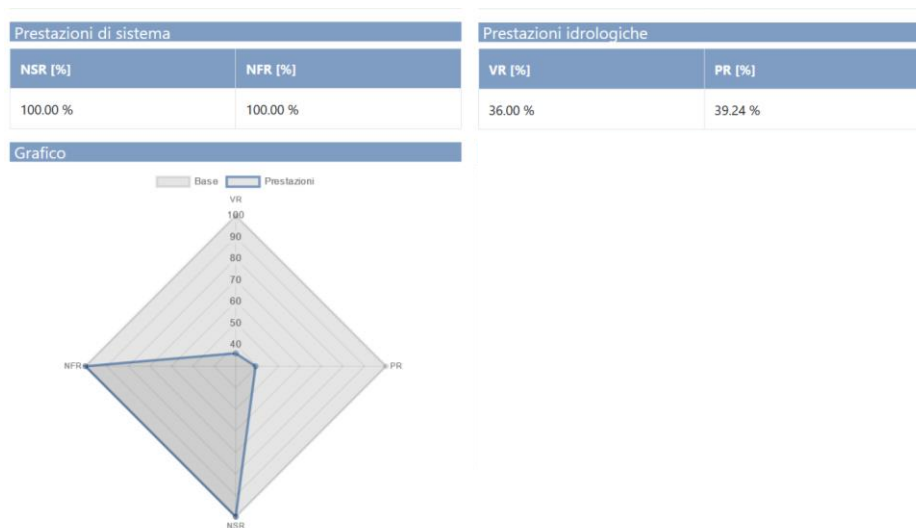


Figura 18: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche vuote" per il caso pilota del PEEP-Bovalico e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni.



Figura 19: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche vuote" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico 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.

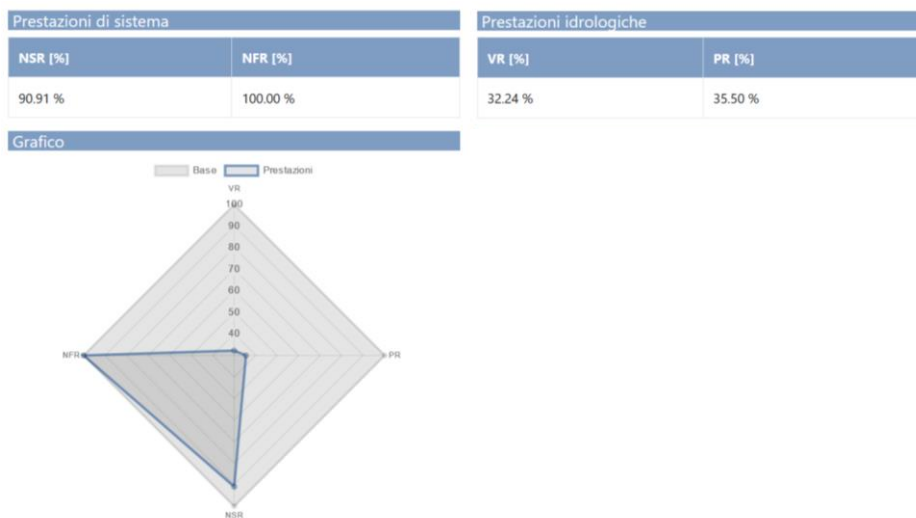


Figura 20: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche vuote" per il caso pilota del PEEP-Bovalico e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni.



Figura 21: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche vuote" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico 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.

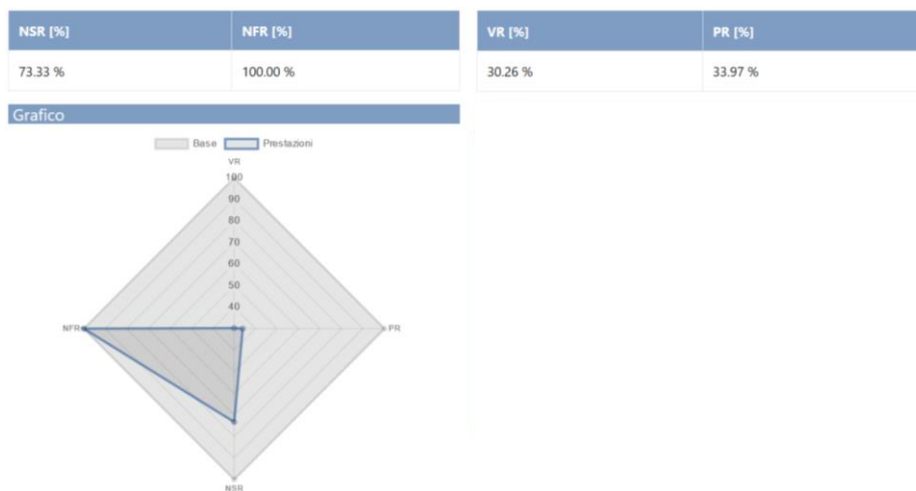


Figura 22: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche vuote" per il caso pilota del PEEP-Bovalico e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 10 anni.

5.2 Scenario con vasche parzialmente piene

La condizione attuale di rischio residuo a valle dell'intervento di introduzione di sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche nello scenario "Vasche Piene" si rivela solo marginalmente migliorata rispetto al caso attuale. L'intervento proposto si dimostra efficace nel ridurre la condizione di stress nei rami solo per l'evento di periodo di ritorno biennale, mentre si dimostra inefficace per gli eventi più severi.

In particolare, per l'evento di periodo di ritorno pari a 2 anni, nello scenario "Vasche Piene" le criticità sono risolte come confermato dal valore nullo dell'indicatore NSI (cfr. Figura 23). L'intervento proposto si dimostra efficace anche nel parziale ripristino del ciclo idrologico naturale come confermato dalle apprezzabili prestazioni idrologiche pari a circa il 17% per il volume, VR, e a 34% per la portata di picco, PR (cfr. Figura 24).

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 "Vasche Piene" si dimostra al contrario poco efficace come confermato dalla persistenza delle criticità nei rami che presentano gradi di riempimento superiori all'ottanta per cento (cfr. Figura 25 e Figura 27) e dal valore nullo dell'indicatore di riduzione di stress nella rete NSR (cfr. Figura 26 e Figura 28).

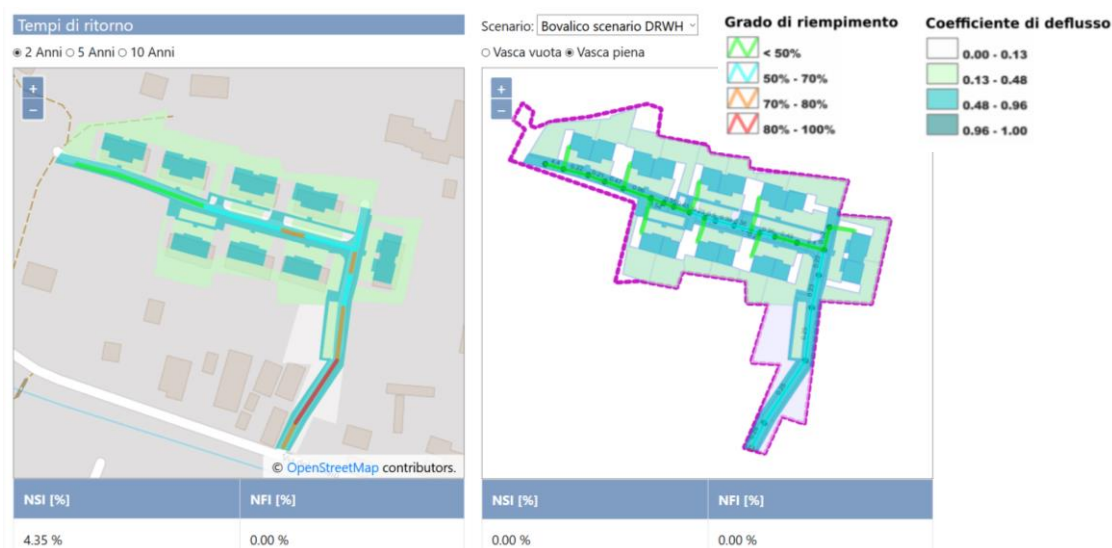


Figura 23: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche piene" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete ; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) 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.

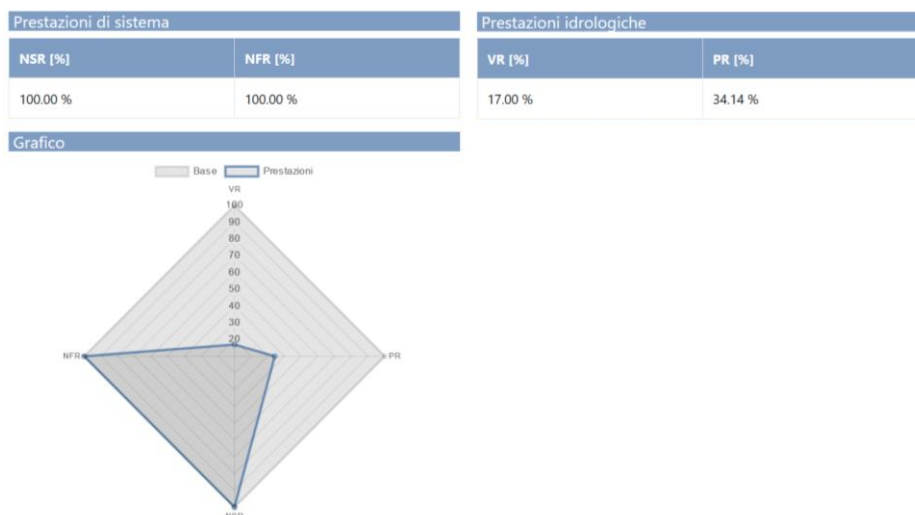


Figura 24: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche piene" per il caso pilota del PEEP-Bovalico e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 2 anni.

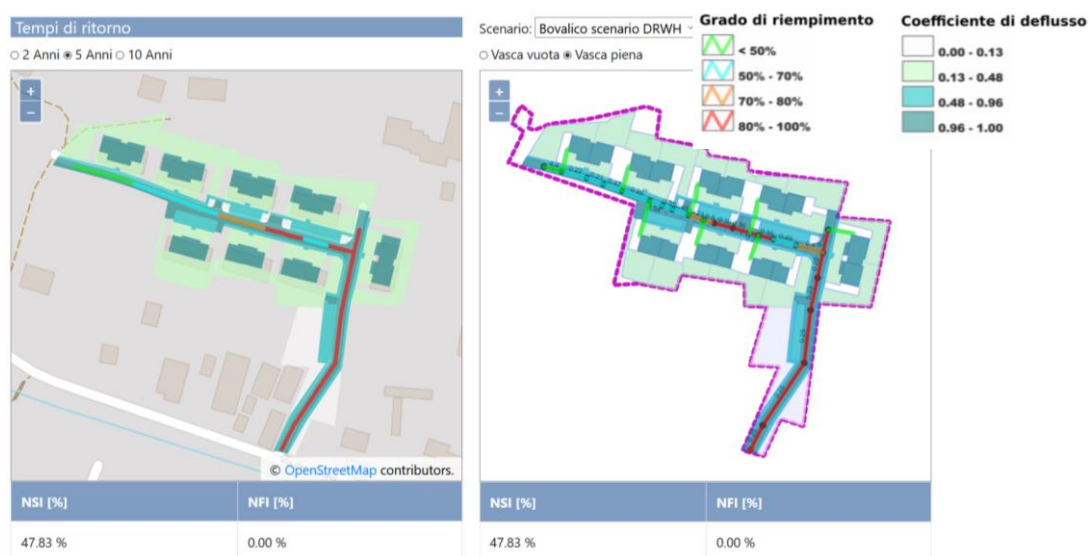


Figura 25: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche piene" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) 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.

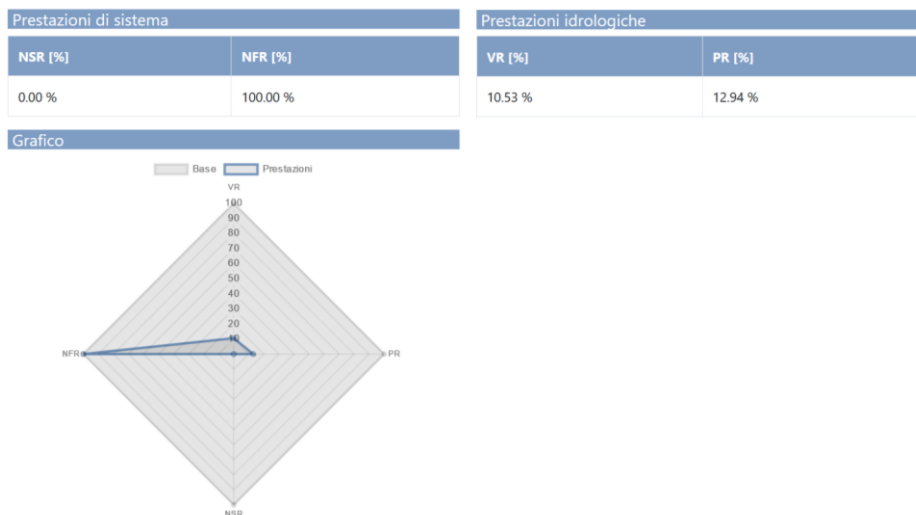


Figura 26: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche piene" per il caso pilota del PEEP-Bovalico e per l'evento di progetto con periodo di ritorno pari a 5 anni.

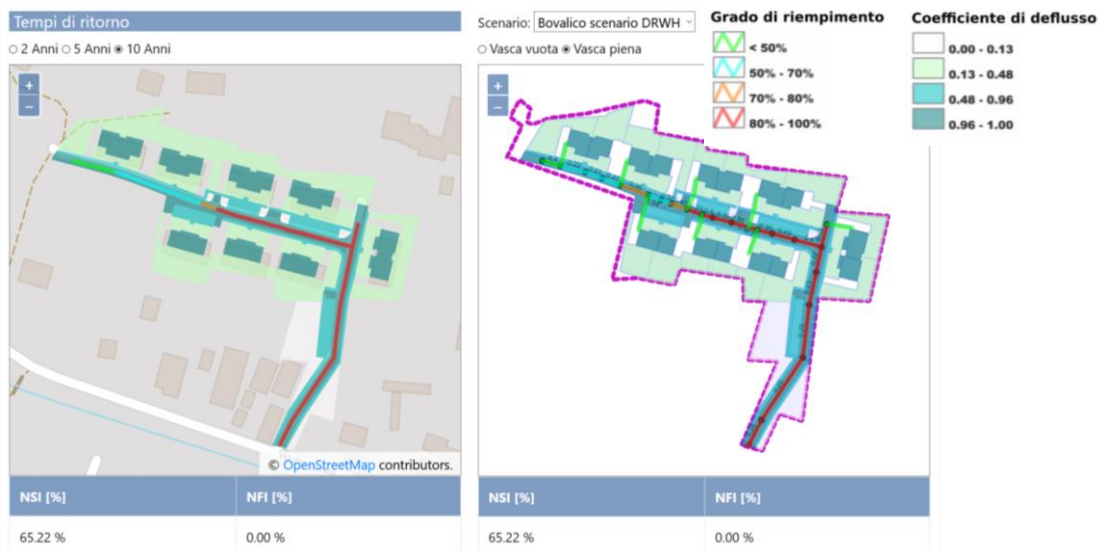


Figura 27: Mappa della condizione di rischio idraulico attuale (a sinistra) e di rischio residuo nello scenario "Vasche piene" (a destra) per il caso pilota del PEEP-Bovalico ed indicatori della funzionalità della rete di drenaggi (NSI- Indice di Stress della Rete; NFI- Indice di Allagamento dei nodi) 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.

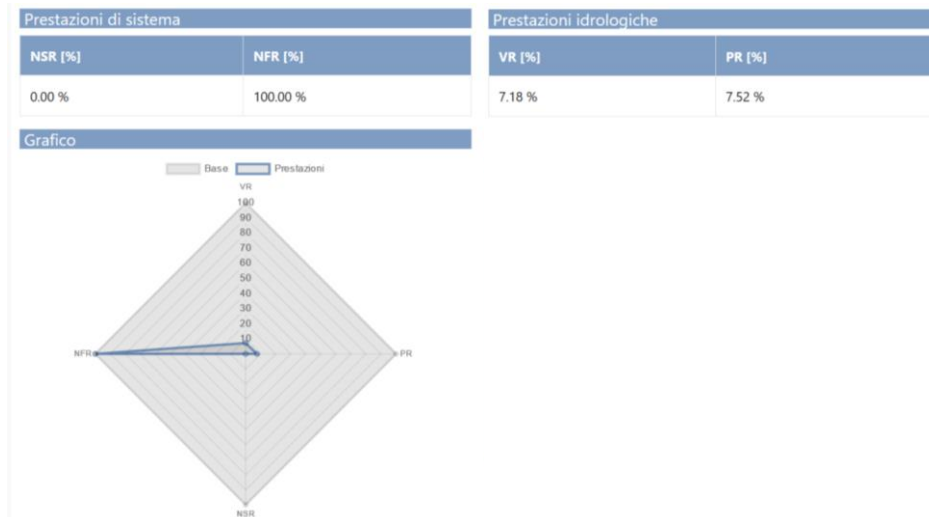


Figura 28: Prestazioni di sistema (NSR- Riduzione dello Stress della rete e NFR - Riduzione dell'allagamento nei nodi), prestazioni idrologiche (VR- riduzione del volume e PR- riduzione della portata di picco) e relativo grafico a radar nello scenario "Vasche piene" per il caso pilota del PEEP-Bovalico 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 bacino pilota PEEP Bovalico è stata condotta utilizzando la piattaforma TRIG-Eau, sviluppata all'interno del progetto. I risultati specifici relativi al caso pilota sono stati validati dalla discussione con tutti i portatori di interesse durante il tavolo di co-progettazione dei progettisti tenutosi nella sala consiliare del Comune di Campo nell'Elba il 13 Giugno 2019.

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni per la condizione attuale, emerge una condizione di rischio idraulico modesta; in particolare non occorre allagamento in nessun nodo della rete anche per l'evento di precipitazione caratterizzato dal periodo di ritorno più elevato (T= 10 anni).

Verificata la buona permeabilità del sito con una significativa presenza di aree verdi si ipotizza quale soluzione applicabile per la mitigazione del modesto rischio idraulico attuale l'introduzione di sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche.

Gli effetti osservati sulle condizioni di deflusso della rete si possono riassumere in una mitigazione delle condizioni di sovraccarico dei tratti terminale della rete con condizioni di rischio residuale accettabile anche per l'evento di precipitazione caratterizzato dal periodo di ritorno più elevato (T= 10 anni) nello scenario che prevede all'arrivo dell'evento di progetto la piena disponibilità del volume delle vasche per la raccolta. Le prestazioni si riducono significativamente se all'arrivo dell'evento intenso le vasche risultassero parzialmente riempite, pertanto al fine di massimizzare gli effetti della soluzione proposta come sistema di mitigazione del rischio idraulico si sottolinea la necessità di attrezzare i sistemi con un sistema di tele-controllo che consenta lo svuotamento della vasca in occorrenza di allerta meteo.

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., La Barbera, P., “The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale”, *J. Environ. Manage.*, 191, 297-305, 2017.
- SCS. “SCS National Engineering Handbook”, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture: Washington, DC, 1972.
- UNI/TS 11445 “Impianti per la raccolta e utilizzo dell’acqua piovana per usi diversi dal consumo umano – progettazione, installazione e manutenzione”, Ed. UNI Italia, Milano, 2012.