

# Le risque hydraulique résiduel du bassin pilote

**Prodotto T2.2.2. rédigé par:**

Ilaria Gnecco

Anna Palla

## Sommaire

Introduction	3
1 Le cas pilote	4
1.1 Analyse du contexte	4
1.2 Informations territoriales	4
1.3 La perméabilité du territoire	10
1.4 Données pluviométriques	10
2 Implémentation du modèle simplifié pour les risques hydrauliques IDRORES	12
2.1 Schématisation des éléments	12
2.2 Paramètres hydrologiques-hydrauliques des éléments	14
3 L'état actuel des risques	14
4 Actions pour l'atténuation des risques hydrauliques	16
4.1 Systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie	17
4.2 Scénarios d'intervention	17
5 Résultats	18
5.1 Scénario avec des cuves vides	18
5.2 Scénario avec des cuves partiellement remplies	22
6 Conclusions	25
Références bibliographiques	26

## Introduction

Ce document constitue le produit T.2.2.2 "Modélisation des risques hydrauliques résiduels pour le cas pilote principal et les études de cas simplifiées" et illustre les résultats de l'analyse des risques hydrauliques résiduels pour le cas d'étude du Campo nell'Elba, sélectionnée comme cas pilote.

Ce rapport technique est organisé en 5 sections principales :

- La première section décrit en détail le contexte dans lequel se situe le cas pilote ; elle énumère les informations trouvées pour l'implémentation du cas dans la plateforme et rend compte de l'analyse effectuée en ce qui concerne la perméabilité de la zone et le régime des précipitations ;
- La deuxième section présente le schéma de modélisation implémenté dans la plateforme TRIG-Eau ;
- La troisième section présente l'état actuel du risque hydraulique;
- dans la quatrième section, l'intervention pour l'atténuation du risque hydraulique actuel est formalisée et conçue, c'est-à-dire l'installation de systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie au service de chaque bâtiment;
- La cinquième section décrit la condition de risque hydraulique résiduel c'est-à-dire la condition de risque post-installation des systèmes proposés.

## 1 Le cas pilote

### 1.1 Analyse du contexte

La localité relative au Plan de construction économique populaire (Logements sociaux) de Bovalico, ci-après dénommée PEEP Bovalico, dans la municipalité de Campo nell'Elba a été choisie comme site pilote pour l'application du modèle de risque hydraulique résiduel développé dans le cadre du projet TRIG Eau.

Le complexe résidentiel se compose de 8 bâtiments qui sont configurés comme 16 unités de logement semi-indépendantes, équipées de garage et de jardins privés. La planification de la zone a pris en compte le pourcentage global d'imperméabilisation des sols et, lorsque cela était possible, des solutions perméables aux écoulements météorologiques ont été utilisées. En particulier, tant les zones destinées au transit des piétons (trottoirs) que les parkings communs sont réalisés avec des solutions perméables.

La figure 1 montre l'orthophoto de la zone d'étude avec un focus sur le complexe résidentiel PEPP de Bovalico.

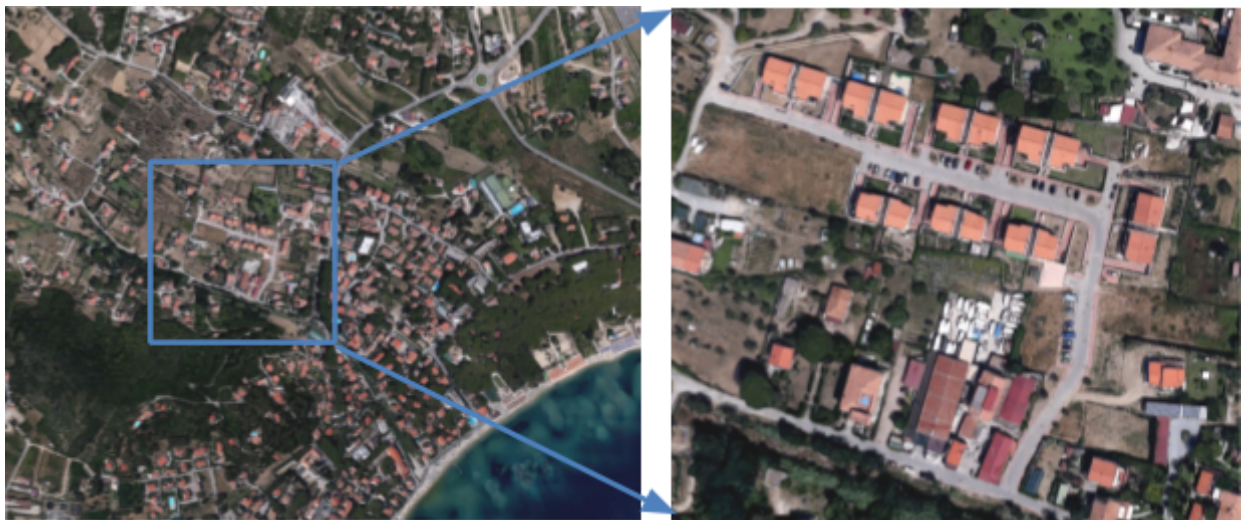


Figure 1: Orthophoto de la zone d'étude dans la municipalité de Campo nell'Elba (Elbe, Toscane)

### 1.2 Informations territoriales

L'analyse de la zone pilote a été réalisée en trouvant toutes les informations disponibles.

En particulier en ce qui concerne les données spatiales, les informations suivantes ont été trouvées sous forme de cartes géoréférencées (.shp):

- Périmètre de la zone d'étude;
- Orthophoto;
- Réseau routier principal;
- Carte de l'utilisation et de l'occupation des sols;

- Construit ;
- Système de drainage principal ;
- Réseau hydrographique ;
- Modèle numérique de terrain.

Les extraits des cartes ci-dessus sont présentés dans les figures 2 à 6.



*Figure 2: .Extrait de l'orthophoto de la municipalité de Campo nell'Elba et périmètre de la zone d'étude : complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane*



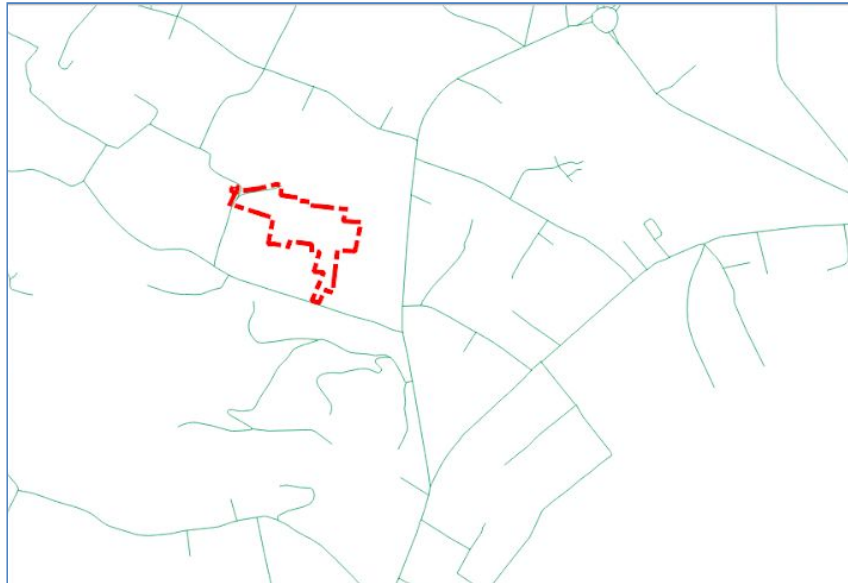


Figure 3: Extrait de la carte du réseau routier de la municipalité de Campo nell'Elba et du périmètre de la zone d'étude : complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Municipalité de Campo nell'Elba

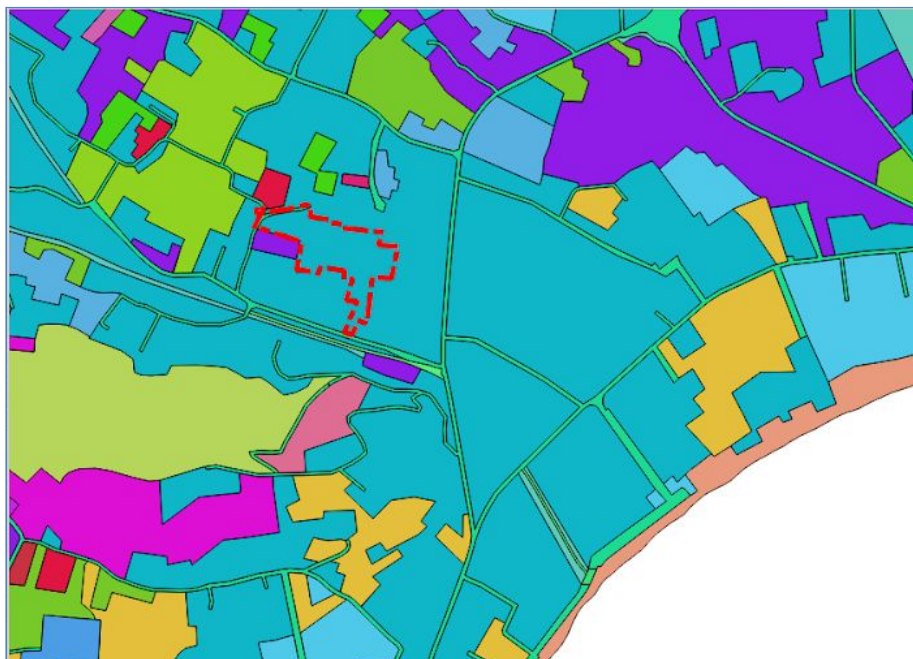


Figure 4: Extrait de la carte de l'occupation et de l'utilisation des sols et du périmètre de la zone d'étude : complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane

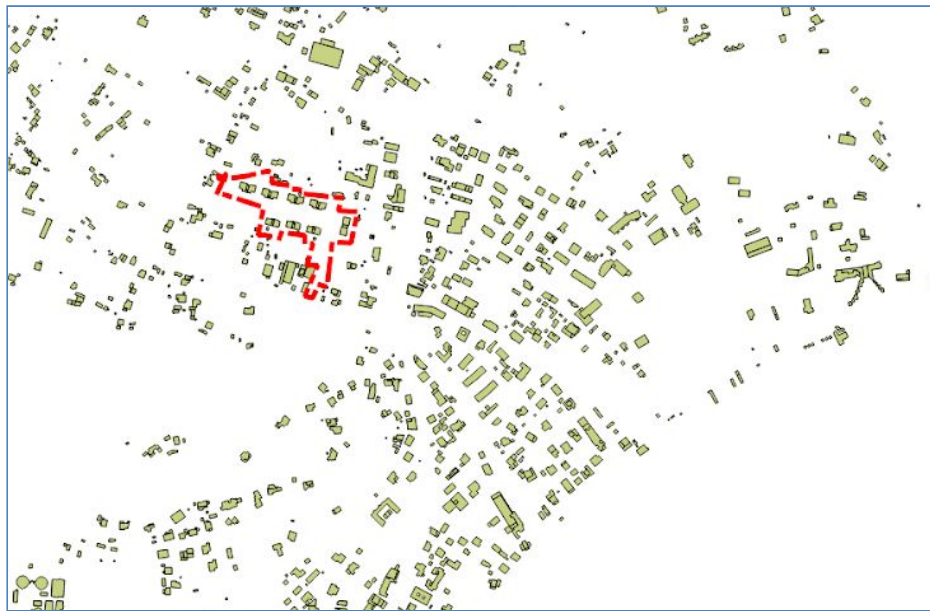


Figure 5: Extrait de la carte du bâtiment et du périmètre de la zone d'étude : Complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane.

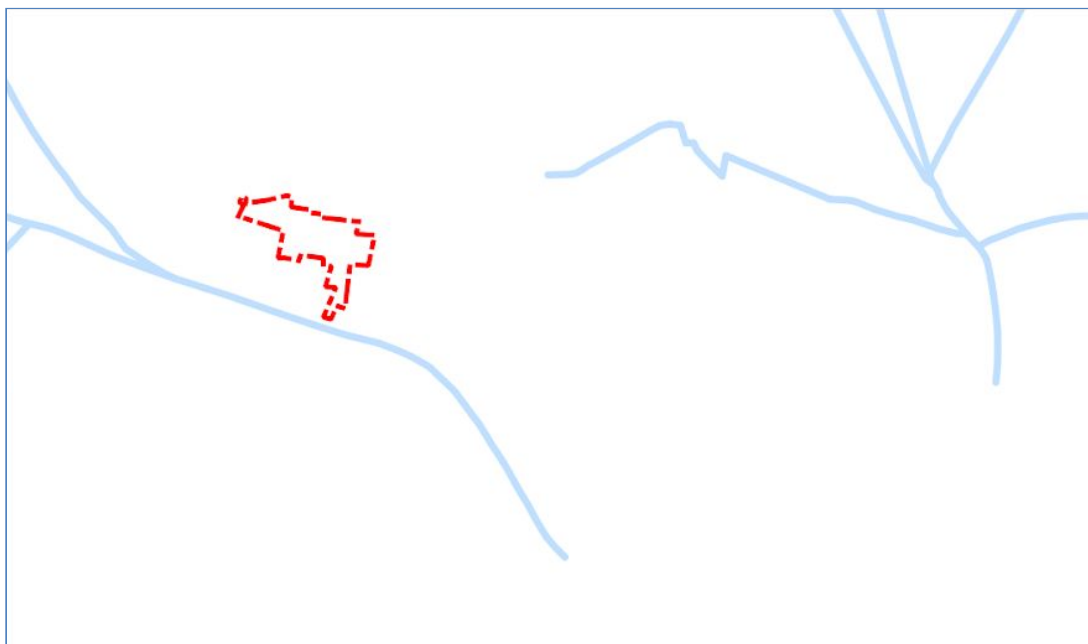


Figure 6: Extrait de la carte de la grille hydrographique naturelle et du périmètre de la zone d'étude : Complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane

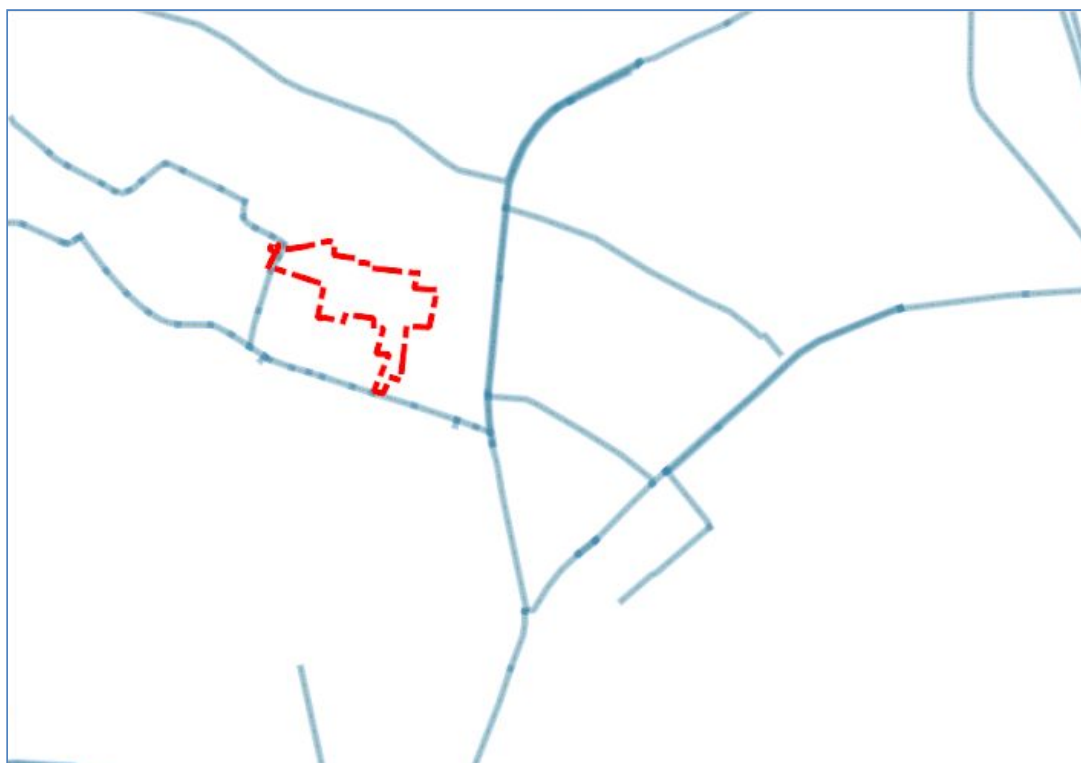


Figure 7: Extrait de la carte du réseau de drainage artificiel (collecteurs principaux) et du périmètre de la zone d'étude : complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane.

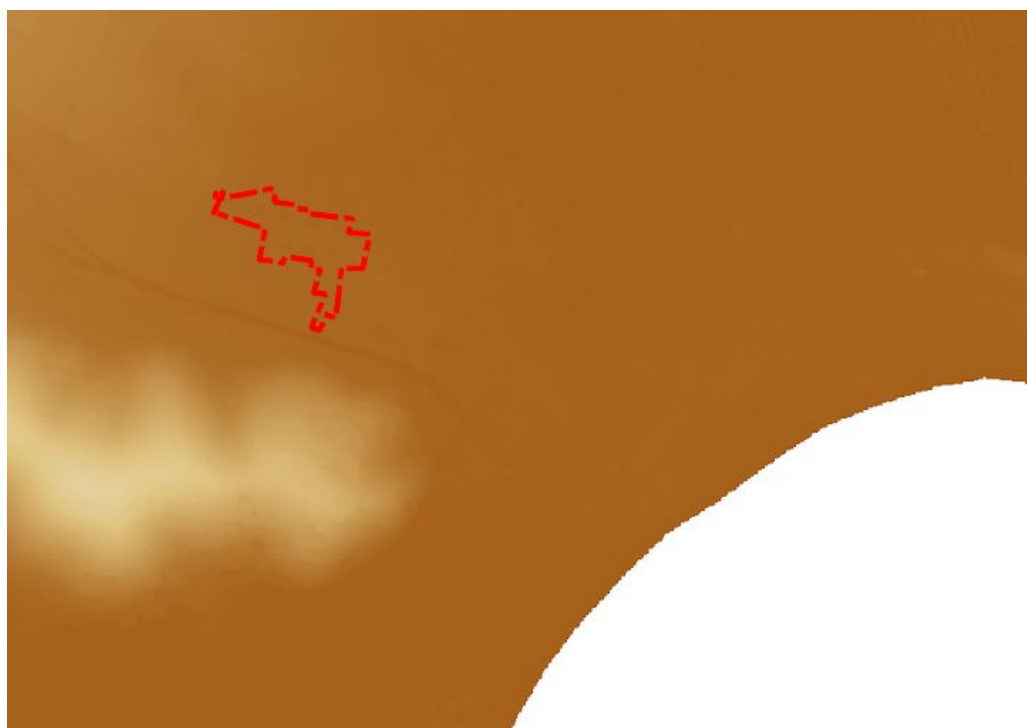


Figure 8: Extrait du modèle numérique de terrain (2mx2m) et périmètre de la zone d'étude : complexe résidentiel PEEP de Bovalico (périmètre en pointillés rouges). Source des données : Région Toscane, dtm\_006\_2008\_3003.



Les autres informations spatiales détaillées relatives au complexe résidentiel PEEP Bovalico ont été trouvées par l'entreprise de construction qui a réalisé le projet sous la forme de panneaux de projet (.dwg) :

- Plan général de l'intervention sur le bâtiment avec le détail des bâtiments et des travaux accessoires.
- Profil planimétrique du réseau de drainage de la zone et indication des diamètres.



*Figure 9: Extrait du plan général du projet, avec indications détaillées des bâtiments et des travaux accessoires pour le complexe résidentiel PEEP Bovalico.*



Figure 10: Extrait du tableau du projet Fognatura Bianca (égout), avec indication détaillée des diamètres des branches du réseau principal et secondaire pour le complexe résidentiel PEEP Bovalico.

### 1.3 La perméabilité du territoire

Pour l'analyse de la perméabilité de la zone en question, il a été fait référence à la carte d'utilisation et d'occupation des sols et aux orthophotos.

La carte de l'occupation et de l'utilisation des sols ne montre qu'une seule classe de tissu urbain discontinu pour la zone d'étude. La classification a été détaillée au moyen d'une analyse ortho-photographique et, en particulier, deux macro-classes ont été définies, les zones imperméables et les zones perméables auxquelles se réfèrent respectivement les catégories d'utilisation des sols suivantes:

- Pour les zones imperméables : toits, loggias, routes et parkings ;
- Pour les zones perméables : parterres de fleurs, jardins, parkings perméables et drainants, trottoirs.

Le tableau 1 montre les résultats relatifs à la perméabilité de la zone étudiée, en particulier la zone du PEEP Bovalico est confirmée comme une zone assez perméable avec un pourcentage de zones perméables égal à 60% dont une partie importante est végétalisée (jardins et parterres de fleurs). Le pourcentage de surfaces destinées aux bâtiments et aux constructions (16%) ainsi que celles destinées à la voirie interne (17%)

sont cohérentes avec la nature résidentielle à faible densité de l'intervention de construction.

Catégorie d'utilisation du sol	Surface [ha]	Surface [%]
Batiments	0.1806	16%
Loggias	0.0028	0%
Routes et parking	0.1875	17%
<b>Tot Surface Imperméable</b>	<b>0.454</b>	<b>40%</b>
Parterres de fleurs	0.1002	9%
Jardins	0.5191	46%
Parking drainants	0.0484	4%
Trottoirs	0.0831	7%
<b>Tot Surface Perméable</b>	<b>0.6677</b>	<b>60%</b>
<b>Tot</b>	<b>1.1217</b>	<b>100%</b>

Tableau 1: Utilisation du sol de la zone d'étude et catégorisation en zones perméables et imperméables

#### 1.4 Données pluviométriques

Le régime pluviométrique de la zone étudiée a été évalué en référence à l'étude régionale "Mise à jour de l'analyse de fréquence régionale des précipitations extrêmes jusqu'en 2012" dans le cadre de la Convention de collaboration entre la Région Toscane et l'Université de Florence conformément à la DGRT 1133/2012 en ce qui concerne la détermination des événements du projet ; tandis que pour ce qui est des précipitations annuelles moyennes, ont été analysés les données journalières de la station pluviométrique de Monte Perone dans la municipalité de Campo nell'Elba (Lat 42. 775 ; Lon 10 191) sélectionné pour sa proximité avec la zone d'étude.

En ce qui concerne les événements affectant le projet, il a été fait référence à l'estimation régionale des Lignes de Signalisation des Possibilités Pluviométriques (LSP) évaluées sur la zone d'étude (Lat 45.388 ; Lon 11.726), en particulier les données régionales se réfèrent à la loi de puissance classique avec deux paramètres évalués selon la période de retour choisie, c'est-à-dire ne se référant pas à l'hypothèse d'invariance d'échelle.

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

où  $h(d, T)$  est la hauteur maximale de précipitation observée pour la durée  $d$  et la période de retour  $T$ ;  $a(T)$  et  $n(T)$  sont respectivement le coefficient et l'exposant de la PSPF pour la période de retour  $T$ .

Pour les périodes de retour d'intérêt dans les évaluations des risques hydrauliques dans un contexte urbain, les valeurs des paramètres pour la zone PEEP de Bovalico sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Paramètres LSPP	Période de return [ans]		
	2	5	10
Coefficient $a$	25.61	36.09	43.7
Exposant $n$	0.259	0.252	0.260

Tableau 2: Paramètres de la ligne de signalisation des possibilités pluviométriques pour la zone d'étude du PEEP Bovalico, tirés des données régionales de précipitations intenses (DGRT 1133/2012) pour la position définie par le couple de coordonnées (Lat 45.388 ; Lon 11.726).

Les événements du projet ont été définis en référence à l'hyétogramme de Chicago (Keifer et Chu, 1957), avec un temps de base de 30 minutes et un balayage temporel fin de 5 minutes, afin de simuler la composante critique pour la zone examinée, c'est-à-dire afin de simuler les flux maximums redoutables dans le réseau de drainage par période de retour assignée.

La figure 11 montre les hyétogrammes du projet pour la zone d'étude du PEEP de Bovalico, évalués pour les périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

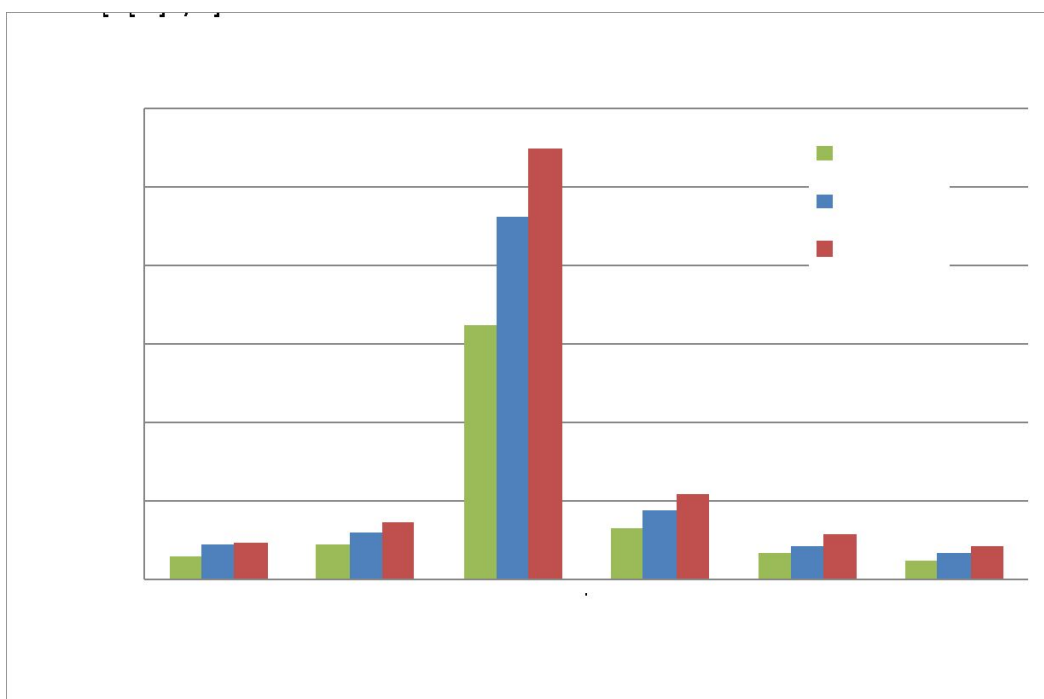


Figure 11: Hyétogramme du projet pour la zone d'étude du PEEP de Bovalico pour les périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

L'analyse des données de précipitations quotidiennes a couvert toute la période d'observation (2012-2019) pour la station du Monte Perone. La figure 12 montre les précipitations quotidiennes observées au Monte Perone (Campo nell'Elba, Toscane) au cours de la période 2012-2019.

Sur la base des données pluviométriques quotidiennes disponibles pour la station de Monte Perone, une moyenne annuelle de 825 mm de pluie a été estimée pour la zone du PEEP de Bovalico.

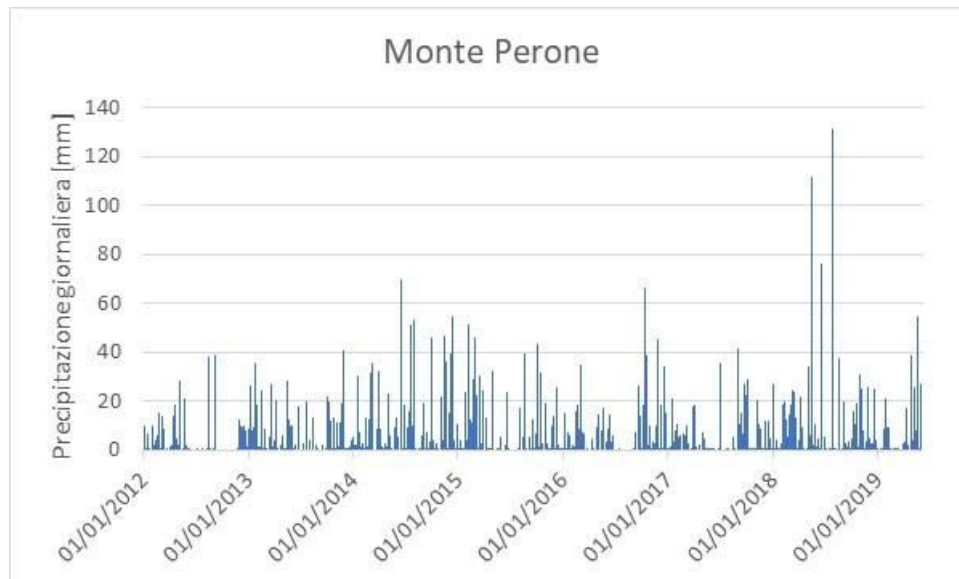


Figure 12: Pluie quotidienne observée au Monte Perone (Campo nell'Elba, Toscane) au cours de la période 2012-2019.

## 2 Implémentation du modèle simplifié pour les risques hydrauliques IDRORES

Le modèle simplifié de risque hydraulique résiduel permet de mesurer les effets d'un drainage urbain durable (autrement appelé infrastructures vertes) en termes de réduction du risque hydraulique.

Le modèle a été mis en œuvre pour le cas d'étude pilote sur la base d'informations spatiales en référence à une schématisation détaillée. La bonne disponibilité et la qualité des données spatiales trouvées pour la zone d'étude ont rendu l'étude de cas toscane éligible comme cas pilote dans le territoire transfrontalier.

### 2.1 Schématisation des éléments

Le site pilote PEEP Bovalico, qui a une extension totale de 1,12 hectares, a été réintégré dans la plateforme de modélisation TRIG-Eau, en utilisant un schéma détaillé pour le réseau de drainage et les sous-bassins associés, en particulier le critère de discrétisation spatiale pour le réseau a suivi la conception finale en référence au réseau principal, tandis que pour les sous-bassins, il a suivi l'approche des catégories homogènes d'utilisation des sols.



En ce qui concerne le réseau de drainage, 24 nœuds et 23 conduites ont été définis comme indiqué dans la figure 13, conformément aux tableaux du projet. Dans la figure, la disposition du réseau de drainage des eaux de pluie est indiquée par un trait noir, où le diamètre de chaque canalisation est indiqué par une étiquette bleue (diamètre exprimé en cm) tandis que la pente est indiquée par une étiquette noire.

En ce qui concerne les sous-bassins, 102 sous-bassins ont été inclus dans la plateforme TRIGEAU, caractérisés par les catégories d'utilisation des terres suivantes :

- A-Parterres de fleurs;
- G-Jardins privés;
- L-Loges;
- M-Trottoir;
- PD- Parkings drainants;
- S-Routes;
- T- Surface de toits.

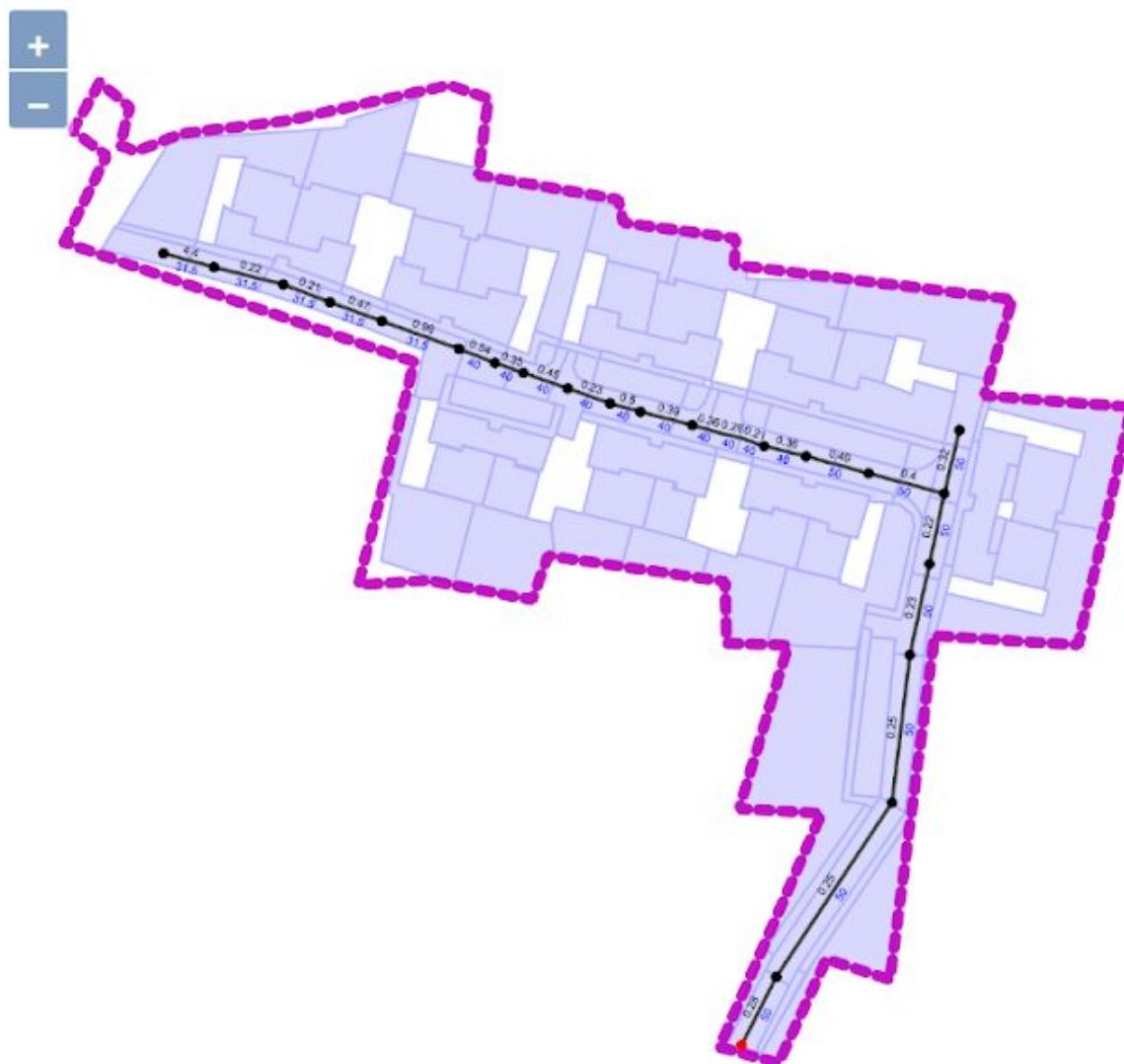


Figure 13: Implémentation dans la plateforme TRIG Eau du cas pilote PEEP Bovalico. Indication des sous-bassins (polygones bleus) et du système de drainage des eaux de pluie (ligne noire), y compris les valeurs des diamètres en cm (étiquettes bleues) et des pentes (étiquettes noires) de chaque branche.

## 2.2 Paramètres hydrologiques-hydrauliques des éléments

Chaque section de filet est décrite par ses caractéristiques géométriques (diamètre, pente) et un paramètre hydraulique qui décrit sa résistance au mouvement, c'est-à-dire sa rugosité. Dans ce modèle, conformément aux matériaux indiqués dans les plans de conception (PVC), il a été fait référence à un coefficient n- Manning pour les conduites de  $0.014 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Chaque sous-bassin est également décrit par ses caractéristiques géométriques (surface, pente), ainsi que par des paramètres hydrauliques qui décrivent sa résistance au mouvement due au glissement de surface (rugosité) et des paramètres hydrologiques qui décrivent les fuites d'eau ou sa capacité à s'infiltrer dans les écoulements.

En ce qui concerne la modélisation des pertes hydrologiques, il a été fait référence au modèle SCS - CN (SCS, 1972). En particulier, pour les 7 catégories d'utilisation des sols homogènes définies dans ce projet, les valeurs suivantes de paramètres hydrologiques et hydrauliques ont été attribuées comme indiqué dans le tableau 3.

Sottobacino	CN	% <sub>imp</sub>	n <sub>imp</sub>	n <sub>perv</sub>
Parterres de fleurs	60	0	0.011	0.13
Jardins privés	65	20	0.011	0.13
Loges	95	100	0.011	0.13
Trottoir	80	80	0.011	0.13
Parkings drainants	72	50	0.011	0.13
Routes	90	100	0.011	0.13
Surface de toits	95	100	0.011	0.13

Tableau 3: Pourcentage de la surface imperméable, des paramètres hydrologiques (CN) et hydrauliques (n-manning pour la partie imperméable et perméable) de chaque catégorie de sous-bassin

### 3 L'état actuel des risques

Pour l'analyse de l'état actuel des risques, il est fait référence à l'implémentation d'une carte géoréférencée, pour une évaluation rapide, et à l'évaluation de deux indicateurs numériques de risque, pour une évaluation complète. La condition de risque est évaluée pour les trois événements affectant le projet, en fonction des valeurs de la période de retour de 2, 5 et 10 ans.

L'état actuel du risque hydraulique est évalué graphiquement en visualisant une carte montrant le niveau de remplissage maximal des éléments du système de drainage ainsi que le coefficient de ruissellement associé à chaque sous-bassin. Les sections du réseau qui présentent un degré de remplissage à considérer comme à risque, c'est-à-dire un degré de remplissage supérieur à 0,8, sont indiquées en rouge pour une visualisation rapide des points critiques.

Les indicateurs relatifs à l'état du réseau de drainage sont définis conformément à la proposition d'Ercolani et al. (2018) et sont calculés comme suit :

- NSI (Network Stress Index) calculé comme le nombre des branches ayant un taux de remplissage maximum supérieur ou égal à 0,8 par rapport au nombre total de branches;
- NFI (Nodes Flooding Index) calculé comme le nombre de nœuds inondés par rapport au nombre total de nœuds.

L'état de risque actuel du site pilote se révèle modéré car l'évaluation de l'insuffisance hydraulique, même pour l'événement le plus grave avec une période de retour de dix ans, ne montre aucune inondation.

Des évaluations spécifiques au moyen de cartes du degré maximum de remplissage des branches et des analyses des indicateurs NSI - Network Stress Index et NFI - Node Flooding Index, sont présentées dans les figures 14, 15 et 16 respectivement pour les événements ayant une période de retour de 2, 5 et 10 ans.

En particulier, pour l'événement de la période de retour égale à 2 ans, seule une branche sur 23 présente une criticité, c'est-à-dire un niveau de remplissage maximal supérieur à 0,8, comme le confirme l'indicateur de l'NSI égal à environ 4 % (figure 14).



Figure 14: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 2 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.

Pour les événements de la période de retour de 5 et 10 ans, les problèmes critiques les plus répandus sont observés avec respectivement 11 et 15 branches sur 23 avec un taux de remplissage maximum supérieur à 0,8, comme le confirment les indicateurs de l'NSI de 48% et 65% respectivement (figure 15 et figure 16).



Figure 15: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.



Figure 16: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.



## 4 Actions pour l'atténuation des risques hydrauliques

L'action prévue pour l'atténuation du risque hydraulique dans le bassin pilote est représentée par la réalisation de systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie. Parmi les différents types de systèmes de drainage urbain durable (SUDS), il était prévu d'utiliser des systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie, compte tenu des bonnes conditions de perméabilité de la zone et de la disponibilité limitée de surfaces libres sur le terrain, et en supposant que ce type de solutions puisse être mis en œuvre dans les propriétés privées.

### 4.1 Systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie

Les systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie ont été conçus pour les 8 bâtiments, prévoyant l'installation de 8 cuves de collecte, 8 modules de relevage et 8 connexions au réseau existant. Le dimensionnement des cuves de collecte, ainsi que l'estimation des besoins en eau non potable pour les différents systèmes ont été effectués en se référant à la norme UNI/TS 11445 "Systèmes de collecte et d'utilisation de l'eau de pluie pour des usages différentes que la consommation humaine - conception, installation et maintenance", Norme UNI/TS 11445, Ed. UNI Italia, Milano.

Conformément à la norme UNI/TS 11445, les systèmes ont été dimensionnés en référence à la méthode simplifiée, c'est-à-dire en effectuant des évaluations sur une base annuelle. En particulier, le volume utile de chaque cuve au service de chaque bâtiment individuel est évalué comme une valeur minimale comprise entre 6 % du volume annuel d'afflux de météores et 6 % du volume annuel de la demande en eau pour des utilisations différentes que la consommation humaine.

Pour le dimensionnement des cuves, il a été fait référence à la pluviométrie annuelle moyenne estimée pour la station de Monte Perone égale à 825 mm ; au coefficient de ruissellement les couverture plate à 0,8 ; à la consommation d'eau limitée aux déchets des toilettes estimée à 40 l/ab/g et au nombre moyen d'habitants par immeuble de 16 personnes (4 unités unifamiliales de 4 personnes chacune).

Le tableau indique, pour chaque bâtiment, le volume annuel d'afflux météorique,  $Q$ , le volume de la demande en eau pour des utilisations autres que la consommation humaine,  $D$ , et la capacité des cuves,  $S$ .

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

Tableau 4: Volume d'afflux annuel, Q, volume de la demande en eau pour des utilisations autres que la consommation humaine, D, et capacité du réservoir, S, pour chaque bâtiment pilote du PEEP Bovalico.

## 4.2 Scénarios d'intervention

Comme scénarios d'intervention, deux conditions limites du système, des cuves vides et des cuves remplies à quatre-vingt pour cent de leur capacité, ont été évaluées. L'analyse des résultats des deux scénarios limites était nécessaire pour établir les règles de gestion correctes de la centrale.

## 5 Résultats

Pour l'analyse de la condition de risque hydraulique résiduelle, c'est-à-dire la condition de risque post-intervention, on se réfère à l'analyse de la carte géoréférencée, illustrant le degré de remplissage maximal de chaque branche du réseau de drainage par analogie à l'évaluation de la condition de risque actuelle. Parallèlement à l'évaluation des indicateurs de risque numériques, NSI et NFI, d'autres indicateurs de performance sont évalués pour mesurer l'efficacité de l'intervention proposée. En particulier, en ce qui concerne l'atténuation des risques hydrauliques, outre les indicateurs de performance hydrologique habituels (Palla et al., 2017), deux indicateurs fondés sur les indicateurs de risque susmentionnés sont également évalués.

Les performances hydrologiques de l'intervention sélectionnée sont évaluées à l'aide des indicateurs suivants:

- PR: Pourcentage relatif de réduction du débit total évalué avant et après l'intervention;
- VR: pourcentage relatif de réduction du volume global de l'écoulement de surface à la section de fermeture évaluée avant et après l'opération.

Les performances de l'état du risque hydraulique résiduel du système, liés à l'intervention sélectionnée, est évaluée au moyen des indicateurs suivants:

- NSR (Network Stress Reduction) calculé comme le pourcentage relatif de réduction entre la condition avant l'intervention et après l'intervention;

- NFR (Nodes Flooding Reduction) calculée comme un pourcentage relatif de réduction entre la condition avant l'intervention et après l'intervention.

La condition de risque résiduel est évaluée pour les trois événements affectant le projet liés aux valeurs de la période de retour de 2, 5 et 10 ans et pour les deux scénarios d'intervention "cuves vides" et "cuves pleines".

### 5.1 Scénario avec des cuves vides

La condition de risque résiduel en aval de l'intervention visant à introduire des systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie dans le scénario "cuves vides" est nettement améliorée par rapport à la condition actuelle. L'intervention proposée s'avère efficace pour réduire significativement l'état de stress dans les branches comme le démontrent les valeurs appréciables de l'indicateur NSR pour les trois événements affectant le projet caractérisés par des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

En particulier, pour la période de retour de deux ans, dans le scénario "Cuves vides", les problèmes critiques sont résolus, comme le confirme la valeur zéro de l'indicateur 0% de NSI (figure 17). L'intervention proposée est également efficace dans la restauration partielle du cycle hydrologique naturel, comme le confirme la remarquable performance hydrologique d'environ 40% tant pour le volume, VR, que pour le débit de pointe, PR (figure 18).

Même pour les événements caractérisés par plus grande intensité et sévérité, c'est-à-dire les périodes de retour de 5 et 10 ans, l'intervention proposée dans le scénario "Cuves vides" s'avère efficace, comme le confirment la réduction des branches dont le niveau de remplissage est supérieur à 80% (voir figure 19 et figure 21) et la valeur appréciable de l'indicateur de réduction du stress dans le réseau NSR de 91% et 73% respectivement (voir figure 20 et figure 22).

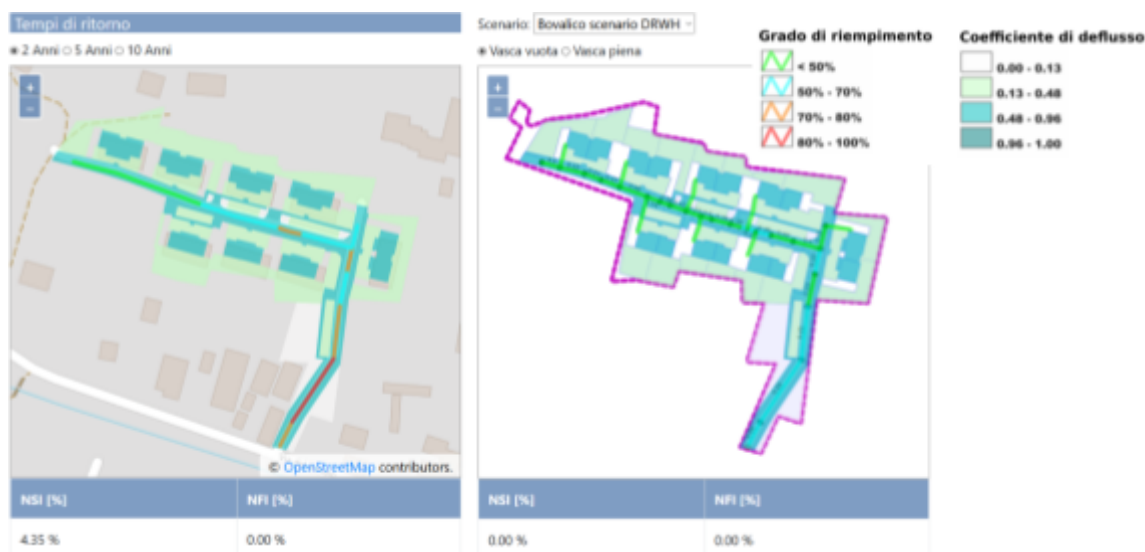


Figure 17: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves vides" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 2 ans. En haut à

droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

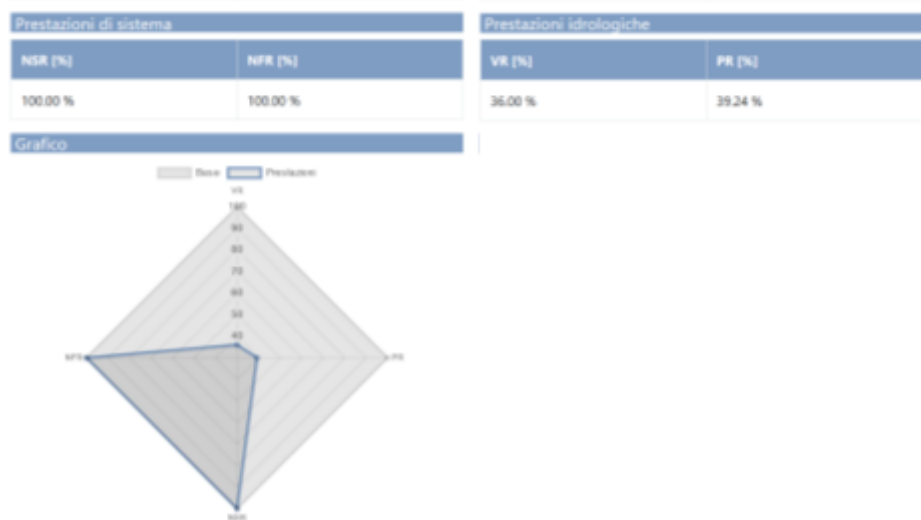


Figure 18: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "réservoirs vides" pour le cas pilote PEEP-Bovalico et pour l'événement du projet avec une période de retour de 2 ans.

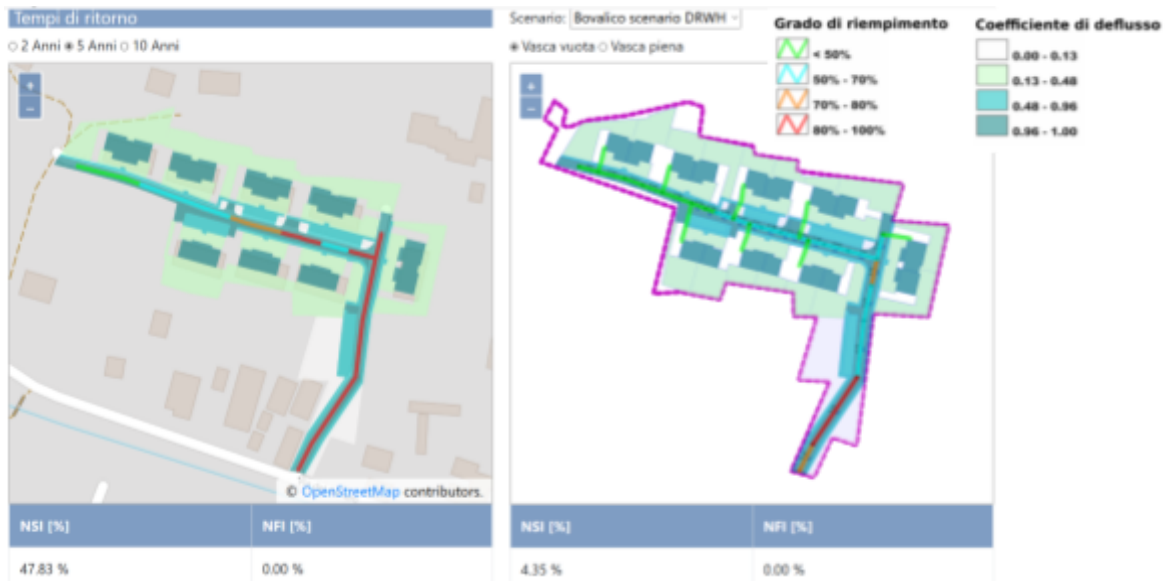


Figure 19: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves vides" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage du pipeline et coefficient de ruissellement du sous-bassin) figurant sur la carte.

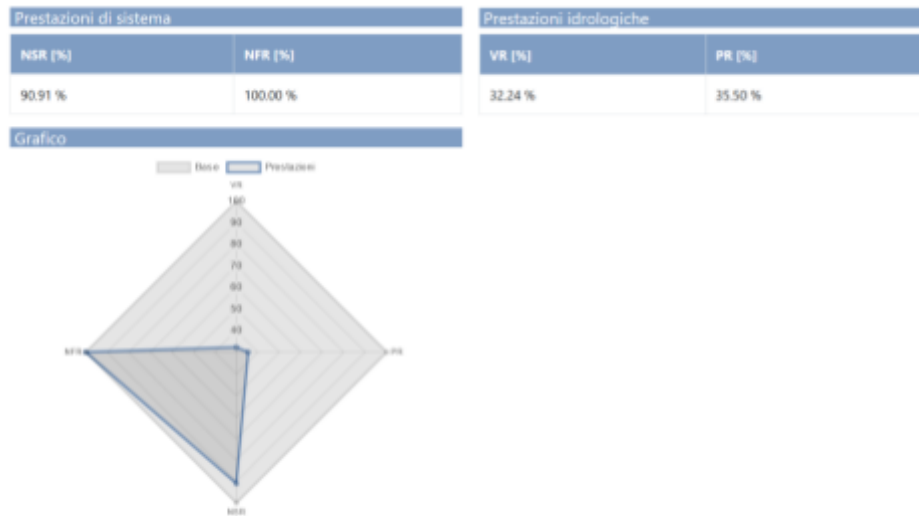


Figure 20: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "réservoirs vides" pour le cas pilote PEEP-Bovalico et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans.

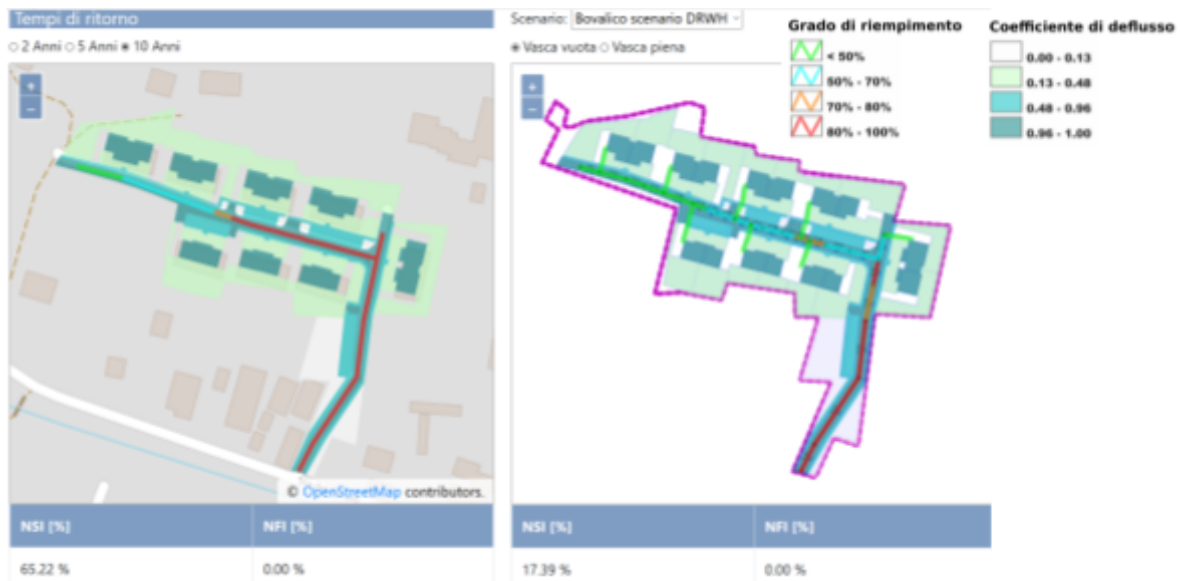


Figure 21: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "réservoirs vides" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage du pipeline et coefficient de ruissellement du sous-bassin) figurant sur la carte.



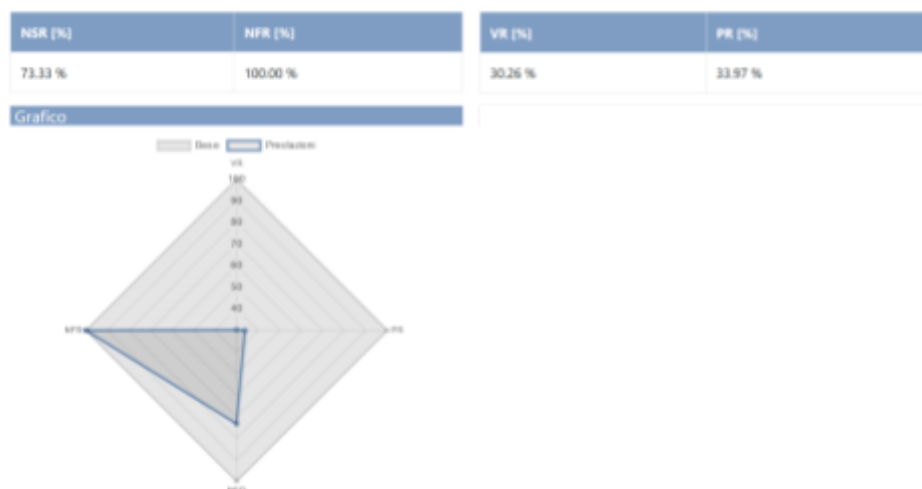


Figure 22: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "cuves vides" pour le cas pilote PEEP-Bovalico et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans.

## 5.2 Scénario avec des cuves partiellement remplies

La situation actuelle de risque résiduel en aval de l'intervention visant à introduire des systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie dans le scénario "cuves pleines" n'est que marginalement améliorée par rapport au cas actuel. L'intervention proposée s'avère efficace pour réduire l'état de stress dans les succursales uniquement pour l'événement de la période de retour de deux ans, alors qu'elle s'avère inefficace pour les événements plus graves.

En particulier, pour la période de retour de deux ans, dans le scénario "cuves pleines", les problèmes critiques sont résolus, comme le confirme la valeur nulle de l'indicateur NSI (voir figure 23). L'intervention proposée est également efficace dans la restauration partielle du cycle hydrologique naturel, comme le confirment les performances hydrologiques remarquables d'environ 17 % pour le volume, VR, et 34 % pour le débit de pointe, PR (voir figure 24).

Pour les événements de projet caractérisés par une plus grande gravité, c'est-à-dire pour des périodes de retour de 5 et 10 ans, l'intervention proposée dans le scénario "cuves pleines" s'avère en revanche inefficace, comme le confirment la persistance de la criticité dans les branches dont les degrés de remplissage dépassant quatre-vingt pour cent (voir figure 25 et figure 27) et la valeur zéro de l'indicateur de réduction des contraintes dans le réseau NSR (voir figure 26 et figure 28).

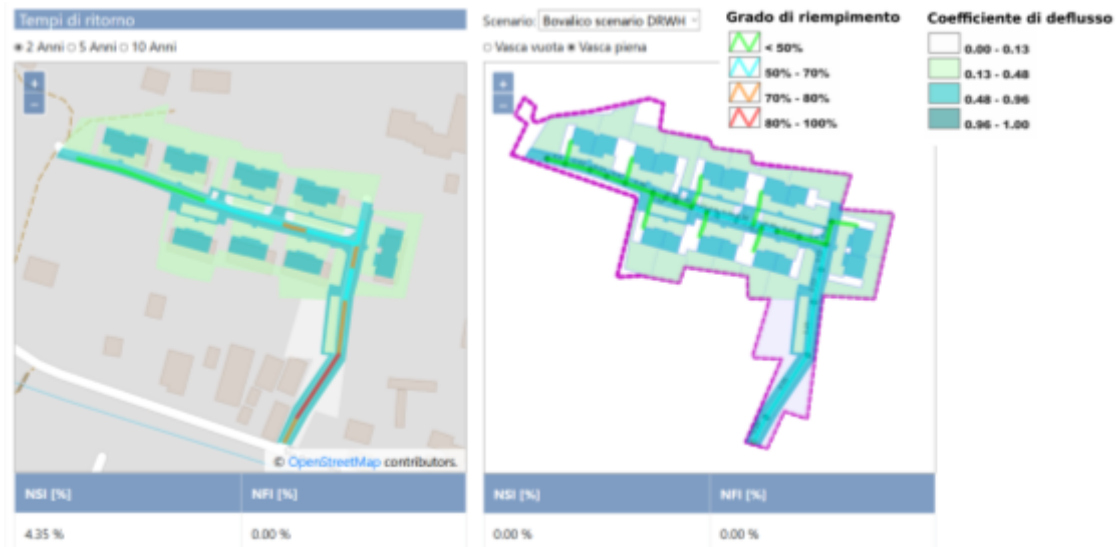


Figure 23: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves pleines" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 2 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.

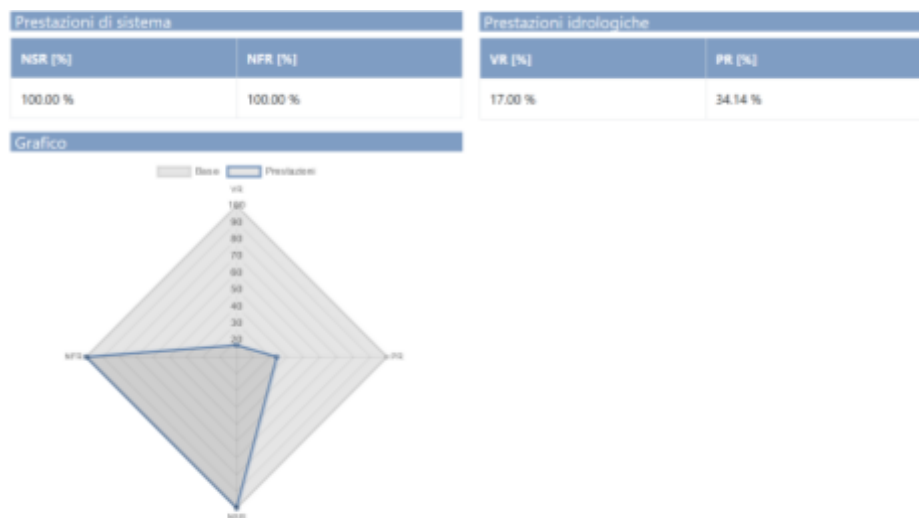


Figure 24: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar associé dans le scénario "Full tanks" pour le cas pilote PEEP-Bovalico et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 2 ans.

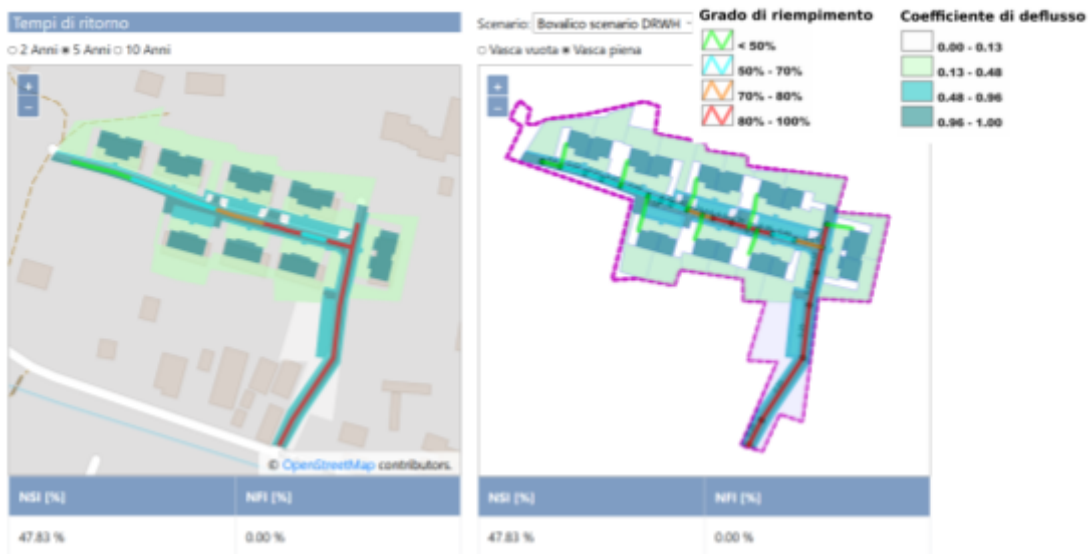


Figure 25: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves pleines" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.

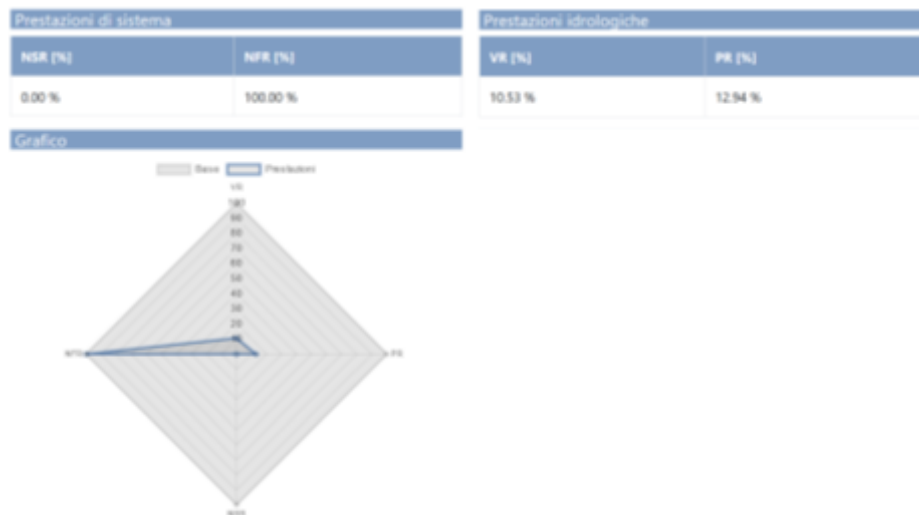


Figure 26: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar associé dans le scénario "cuves pleines" pour le cas pilote PEEP-Bovalico et pour l'événement avec une période de retour de 5 ans.

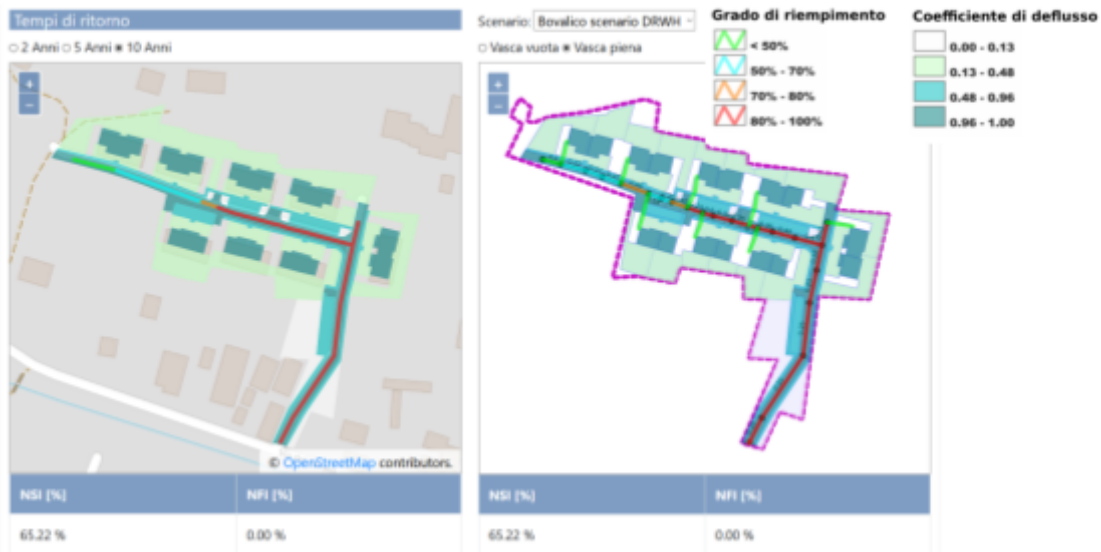


Figure 27: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves pleines" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 10 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.

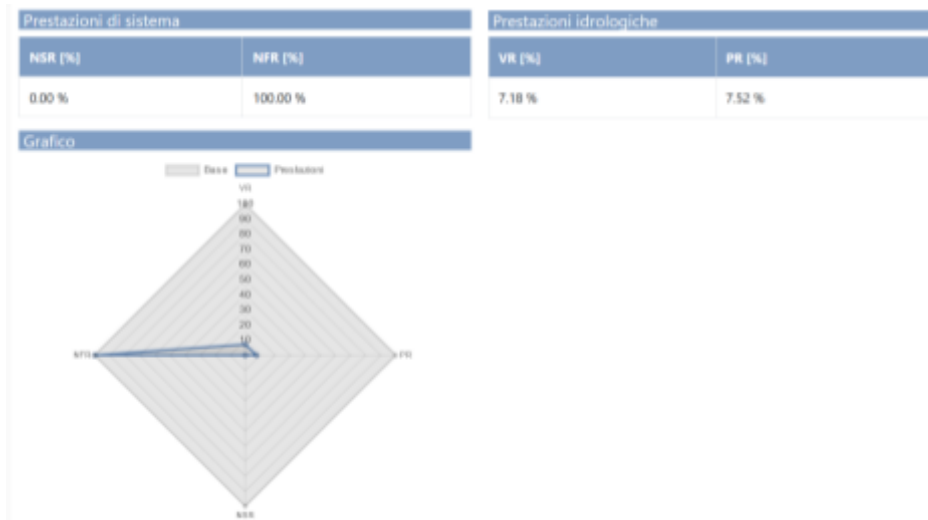


Figure 28: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "cuves pleines" (à droite) pour le cas pilote PEEP-Bovalico et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement avec une période de retour de 10 ans. En haut à gauche se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) figurant sur la carte.

## 6 Conclusions

L'analyse des conditions de risque hydraulique résiduel du bassin pilote du PEEP Bovalico a été réalisée à l'aide de la plateforme TRIG-Eau, développée dans le cadre du projet. Les résultats spécifiques liés au cas pilote ont été validés par la discussion avec toutes les parties prenantes lors de la table de co-conception des concepteurs qui s'est tenue dans la salle du conseil de la municipalité de Campo nell'Elba le 13 juin 2019.

De l'analyse des résultats des simulations pour l'état actuel, il montre une condition de risque hydraulique modeste ; en particulier, il n'est nécessaire d'inonder aucun nœud du réseau même pour l'événement de précipitation caractérisé par la période de retour la plus élevée ( $T= 10$  ans).

Après avoir vérifié la bonne perméabilité du site avec une présence importante d'espaces verts, la mise en place de systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie est considérée comme une solution applicable pour l'atténuation du risque hydraulique modeste actuel.

Les effets observés sur les conditions d'écoulement du réseau peuvent être résumés dans une atténuation des conditions de surcharge des sections terminales du réseau, avec des conditions de risque résiduel acceptables également pour l'événement de précipitation caractérisé par la période de retour la plus élevée ( $T= 10$  ans) dans le scénario qui prévoit la disponibilité totale du volume des réservoirs de collecte à l'arrivée de l'événement prévu par le projet..

La performance est considérablement réduite si, à l'arrivée de l'événement intense, les cuves sont partiellement remplies. Par conséquent, afin de maximiser les effets de la solution proposée comme système d'atténuation des risques hydrauliques, il est nécessaire d'équiper les systèmes d'un système de contrôle à distance qui permet de vider la cuve en cas d'alerte météorologique.

## Références bibliographiques

- 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.