

# Scénarios d'atténuation des risques hydrauliques résiduels pour le cas d'étude en Ligurie

**Report n.1 - Produit T2.2.3. rédigé par:**

Ilaria Gnecco

Anna Palla

## Sommaire

Introduction	3
1 Le cas d'étude	4
1.1 Analyse du contexte	4
1.2 Informations territoriales	4
1.3 La perméabilité du territoire	7
1.4 Données pluviométriques	8
2 Implémentation du modèle simplifié pour les risques hydrauliques IDRORES	9
2.1 Schématisation des éléments	10
2.2 Paramètres hydrologiques-hydrauliques des éléments	11
3 L'état actuel des risques	11
4 Actions pour l'atténuation des risques hydrauliques	13
4.1 Systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie	14
4.2 Scénarios d'intervention	14
5 Résultats	14
5.1 Scénario "2 Cuves" et condition de fonctionnement "Cuves vides"	15
5.2 Scénario "2 Cuves" et condition de fonctionnement "Cuves pleines"	17
5.3 Scénario "4 Cuves" et condition de fonctionnement "Cuves vides"	20
5.4 Scénario "4 Cuves" et condition de fonctionnement "Cuves pleines"	22
6 Conclusions	24
Références bibliographiques	24

## Introduction

Ce document constitue le Report n.1 du produit T.2.2.3. concernant l'activité T.2.2 "Modélisation du risque hydraulique résiduel pour le cas pilote principal et les études de cas simplifiées" et illustre les résultats de l'analyse du risque hydraulique résiduel pour le cas d'étude de Camogli, sélectionnée sur le territoire de la Ligurie.

Ce Report 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

Le complexe résidentiel de Via Figari dans la municipalité de Camogli, ci-après dénommé le “complexe de Via Figari”, a été sélectionné comme cas d’étude sur le territoire ligure pour l’application du modèle de risque hydraulique résiduel développé dans le cadre du projet TRIG Eau.

Le complexe résidentiel se compose de 4 bâtiments comprenant chacun 4 unités résidentielles semi-indépendantes avec leurs propres places de parking et des espaces verts privés. La route d’accès est une route privée et le contexte est un élégant cadre résidentiel où la présence d’espaces verts est significative.

La figure 1 montre l’orthophoto de la zone d’étude avec un accent sur le complexe résidentiel de Via Figari.



Figure 1: Orthophotos de la zone d’étude dans la municipalité de Camogli (Ligurie) : le complexe résidentiel de Via Figari.  
Source des données: Regione Liguria – 2016

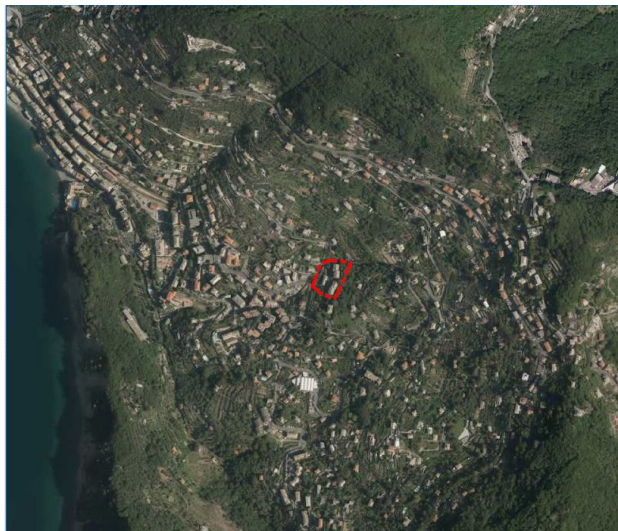
### 1.2 Informations territoriales

La caractérisation de la zone d’étude a été faite en trouvant toutes les informations disponibles.

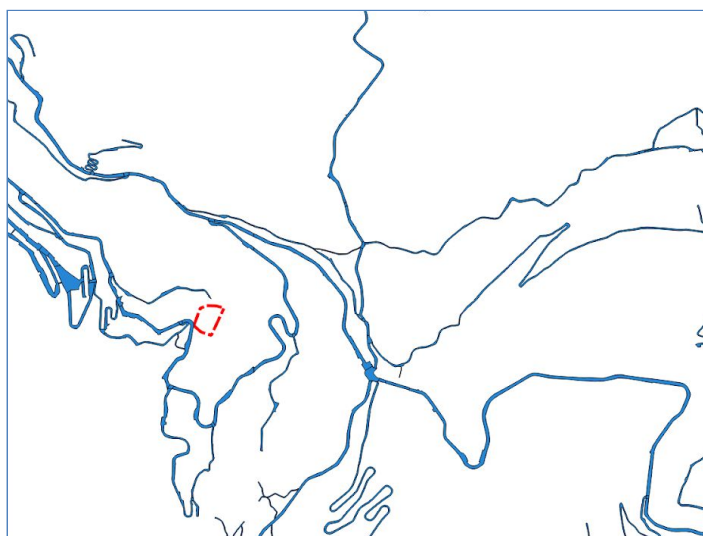
En particulier en ce qui concerne les données spatiales, les informations suivantes ont été trouvées sous forme de cartes géoréférencées (.shp):

- Périmètre de la zone d’étude;
- Orthophoto;
- Réseau routier principal;
- Carte de l’utilisation et de l’occupation des sols;
- Construit;
- Réseau hydrographique.

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



*Figure 2: Extrait de l'orthophoto de la municipalité de Camogli et du périmètre de la zone d'étude: complexe résidentiel de Via Figari (périmètre en pointillés rouges). Source des données: Regione Liguria- AGEA2016*



*Figure 3: Extrait de la carte du réseau routier de la municipalité de Camogli et du périmètre de la zone d'étude: complexe résidentiel de Via Figari (périmètre en pointillés rouges). Source des données: Comune di Camogli*

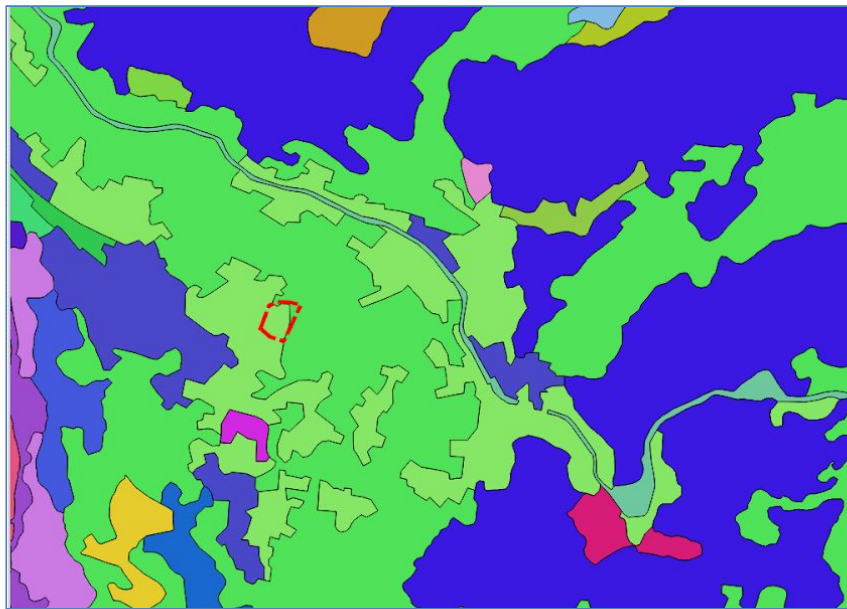


Figure 4: Extrait de la carte de l'occupation et de l'utilisation des sols et du périmètre de la zone d'étude: complexe résidentiel de Via Figari (périmètre en pointillés rouges). Source des données: Regione Liguria

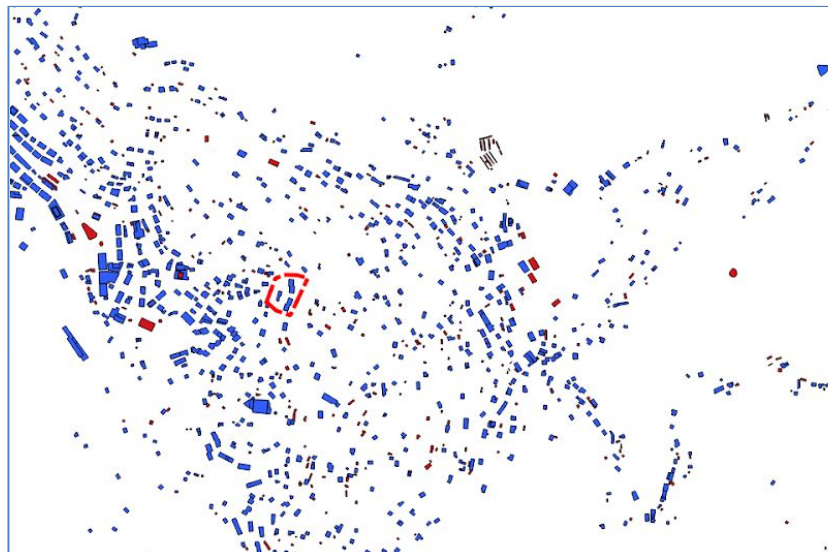


Figure 5: Extrait de la carte du bâtiment et du périmètre de la zone d'étude: complexe résidentiel de Via Figari (périmètre en pointillés rouges). Source des données: Regione Liguria



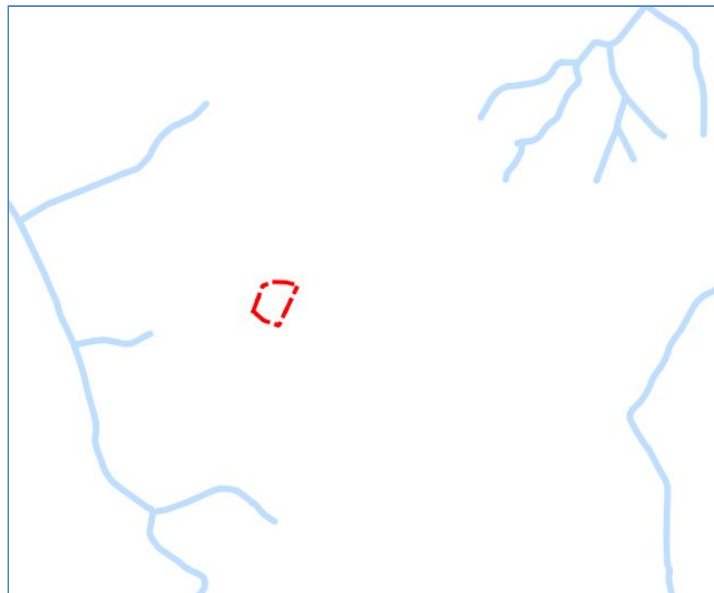


Figure 6: Extrait de la carte de la grille hydrographique naturelle et du périmètre de la zone d'étude: complexe résidentiel de Via Figari (périmètre en pointillés rouges). Source des données: Regione Liguria

Les autres informations spatiales suivantes concernant le réseau de drainage urbain de la municipalité de Camogli ont été trouvées sous forme de tableaux de projets(.dwg):

- Plan général du réseau d'égout municipal.

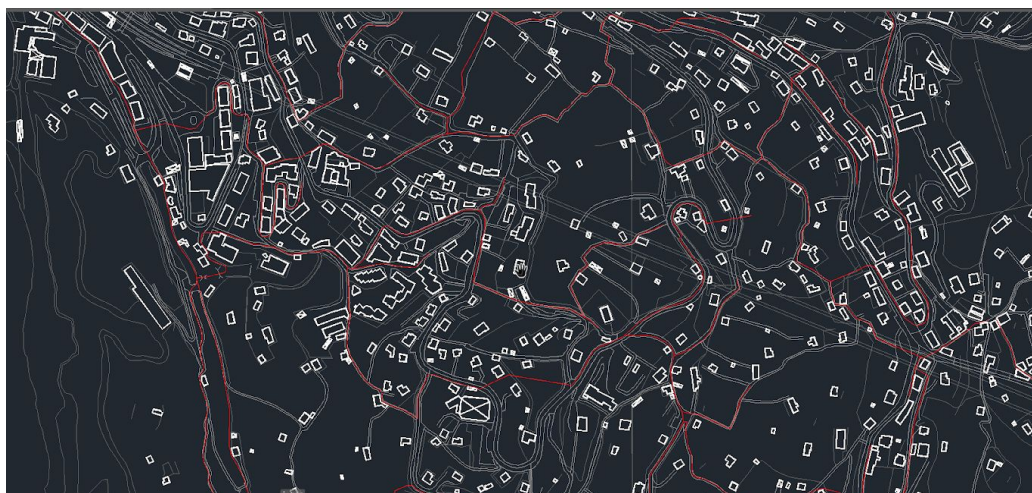


Figure Extrait du plan général du réseau d'égout municipal (ligne rouge) pour la municipalité de Camogli. Source des données: Municipalité de Camogli.

### 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 au orthophoto.

La carte de l'occupation et de l'utilisation des sols ne montre qu'une seule catégorie de tissu résidentiel discontinu et dispersé 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, rues et parkings;
- Pour les zones perméables: jardins privés, espaces verts.

Le tableau 1 montre les résultats relatifs à la perméabilité de la zone étudiée, en particulier la zone du complexe résidentiel de Via Figari est confirmée comme une zone assez perméable avec un pourcentage de zones perméables égal à 50%. Il faut également noter que le taux de surfaces perméables est entièrement végétalisé (jardins et espaces verts). Le pourcentage de surfaces destinées à la construction (23% de toits) ainsi que celles destinées à la voirie interne (27%) sont cohérentes avec le caractère résidentiel de l'intervention.

Catégorie d'utilisation du sol	Surface [ha]	Surface [%]
Toits	0.0745	23%
Routes et parkings	0.0909	27%
<b>Tot Surface Imperméable</b>	<b>0.1655</b>	<b>50%</b>
Jardins privés	0.0701	21%
Espaces verts	0.0965	29%
<b>Tot Surface Perméable</b>	<b>0.1665</b>	<b>50%</b>
<b>Tot</b>	<b>0.3320</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 des pluies pour la zone étudiée a été évalué par rapport aux données observées à la station pluviométrique de Colonia Arnaldi (Lat 44.4084; Lon 9.18148), près de la zone d'étude. La série de données observées entre 1949 et 2015 a validé des données égales à 56 plafonds annuels pour des durées canoniques de 1, 3, 6, 12 et 24 heures.

En ce qui concerne les événements affectant le projet, il a été fait référence à l'estimation locale des Lignes de Signalisation des Possibilités Pluviométriques (LSPP) évalué pour la station Colonia Arnaldi selon l'approche SI-GEV comme indiqué dans le DGR 359/2008 de la Regione Liguria "Critères et lignes directrices techniques pour la vérification et l'évaluation des débits et des hydrogrammes de crue par des études détaillées dans les bassins hydrographiques liguriens".

En particulier, en se référant à la loi de puissance classique à deux paramètres dans l'hypothèse d'invariance d'échelle, la hauteur maximale de précipitation de la durée assignée et de la période de retour est évaluée comme suit



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

où  $h(d, T)$  est la hauteur maximale de précipitation observée pour la durée  $d$  et la période de retour  $T$ ;  $a(T)$  et  $n$  sont respectivement le coefficient et l'exposant des LSPP. Pour les périodes de retour d'intérêt dans les évaluations des risques hydrauliques dans un contexte urbain, les valeurs du coefficient  $a(T)$  utilisé pour la zone d'étude sont indiquées. L'exposant d'échelle a été évalué à 0,41.

Paramètres LSPP	Période de return [ans]		
	2	5	10
Coefficient $a$	25.61	36.09	43.7

Tableau 2: Paramètres de la Lignes de Signalisation des Possibilités Pluviométriques pour la zone d'étude de Via Figari, en référence aux données observées à Colonia Arnaldi.

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 8 montre les hyétogrammes du projet pour la zone d'étude de via Figari, évalués pour les périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

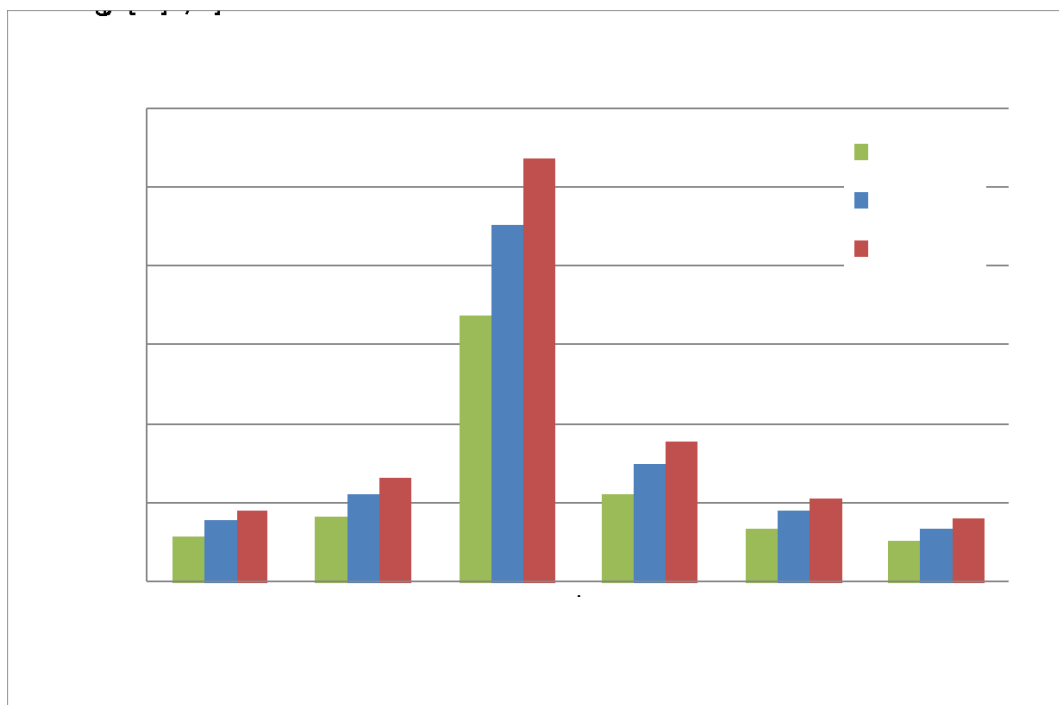


Figure 8: Hyétogramme du projet pour la zone d'étude de via Figari (Camogli) pour les périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

L'analyse des données de précipitations quotidiennes a couvert les stations de Colonia Arnaldi pour la période d'observation (2004-2014) et la station de Camogli pour la période d'observation (2016-2018).

Sur la base des données pluviométriques quotidiennes disponibles pour les stations de Colonia Arnaldi et Camogli, une moyenne annuelle de 1145 mm de pluie a été estimée pour la zone du complexe de Via Figari.

## 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 implémenté pour l'étude de cas sur la base d'informations spatiales faisant référence à une schématisation détaillée pour l'analyse du contexte (sous-bassins) et à une schématisation hypothétique pour le réseau de drainage.

### 2.1 Schématisation des éléments

Le complexe de Via Figari, qui a une extension totale de 0,33 ha, 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, 7 nœuds et 6 conduites ont été définis comme indiqué dans la figure 9. Dans la figure, la disposition du réseau de drainage des eaux de pluie est indiquée par un trait noir, où le diamètre de chaque conduites 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, 16 sous-bassins ont été inclus dans la plateforme TRIGEAO caractérisés par les catégories d'utilisation des sols suivantes:

- G-Jardins privés;
- S-Routes et parkings;
- T-Surface de toits;
- V-espaces verts.



Figure 9: Implémentation dans la plateforme TRIG Eau du cas pilote de Via Figari. 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 il a été fait référence à un coefficient  $n$ -Manning pour les conduites de  $0.010 \text{ s/m}^{1/3}$ .

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 4 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.

Sous-bassins	CN	% <sub>imp</sub>	$n_{\text{imp}}$	$n_{\text{perv}}$
Jardins privés	65	40	0.01	0.1
Routes et parkings	90	90	0.01	0.1
Toits	98	100	0.01	0.1
Espaces verts	45	10	0.01	0.1

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 cas d'étude de la Ligurie se révèle minimal puisque l'évaluation de l'insuffisance hydraulique, même pour l'événement le plus grave avec une période de retour de dix ans, aucune inondation n'est observée.

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 de 2 ans, aucune conduite surchargée n'est observée, comme le confirme l'indicateur de l'NSI égale à 0% (Figure 10).



Figure 10: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas d'étude de Via Figari 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, il n'y a qu'une seule criticité avec 1 branche sur 6 ayant un niveau de remplissage maximum supérieur à 0,8, comme le confirment les indicateurs de l'NSI de 16,7% pour les deux événements (voir figure 11 et figure 12).

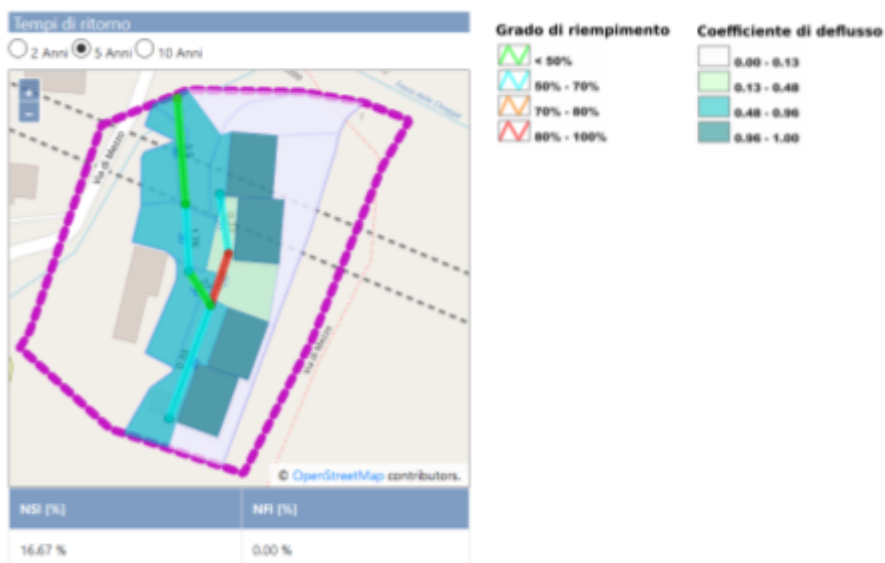


Figure 11: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.



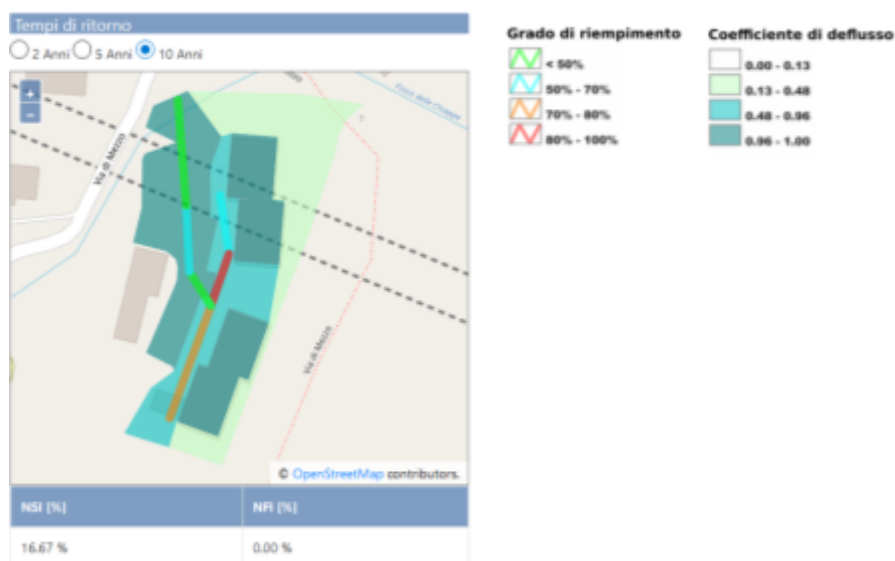


Figure 12: Carte de l'état actuel du risque hydraulique pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement du projet avec une période de retour de 10 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient d'écoulement des sous-bassins) indiqués sur la carte.

## 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 4 immeuble, prévoyant l'installation de 4 cuves de collecte, de 4 modules de relevage et de 4 connexions au réseau existant. Le dimensionnement de la cuve 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 Colonia Arnaldi et de Camogli égale à 1145 mm ; au coefficient de ruissellement pour 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 12 personnes (4 unités unifamiliales de 3 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.

Bâtiment	Q [m <sup>3</sup> ]	D [m <sup>3</sup> ]	S [m <sup>3</sup> ]	S/Q [-]
Immeuble 1	177.1	175.2	10	0.06
Immeuble 2	176.2	175.2	10	0.06
Immeuble 3	163.0	175.2	10	0.06
Immeuble 4	166.6	175.2	10	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 immeuble de l'étude de cas de Via Figari.

## 4.2 Scénarios d'intervention

À la lumière de l'analyse des risques en cours, comme scénarios pour l'intervention, l'hypothèse d'équiper seulement deux bâtiments avec l'installation pour la réutilisation des eaux de pluie a également été évaluée, en plus de l'évaluation relative à l'équipement de l'ensemble du complexe, y compris les quatre bâtiments.

Pour chaque scénario d'intervention, deux conditions limites du système ont été évaluées, les cuves vides et les cuves remplies à quatre-vingt pour cent de leur capacité. L'analyse des résultats en ce qui concerne les scénarios limites était nécessaire pour établir les règles correctes de gestion des installations.

## 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 pour les deux scénarios d'intervention "2 cuves" et "4 cuves" dans les deux conditions limites de fonctionnement "Cuves pleines" et "Cuves vides".

### 5.1 Scénario "2 Cuves" et état de fonctionnement "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 "2 Cuves" dans l'état de fonctionnement "Cuves vides" est nettement améliorée par rapport à la condition actuelle. L'intervention proposée se révèle efficace pour réduire complètement l'état de stress dans les branches comme le démontrent les valeurs de l'indicateur NSR égale à 100% pour les trois événements de projet avec des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

L'analyse de l'état actuel du risque ne révèle aucune criticité pour l'événement avec une période de retour de 2 ans donc les résultats sont présentés uniquement pour les événements avec des périodes de retour de 5 et 10 ans.

En particulier, pour la période de retour égale à 5 et 10 ans, dans le scénario "2 Cuves - Vides", la criticité est résolue, comme le confirme la valeur zéro de l'indicateur 0% de NSI (figure 13 et figure 15). L'intervention proposée est également efficace dans la restauration partielle du cycle hydrologique naturel, comme le confirme la remarquable performance hydrologique d'environ 20% tant pour le volume VR, que pour le débit de pointe, PR pour les deux événements du projet (voir figure 14 et figure 16).

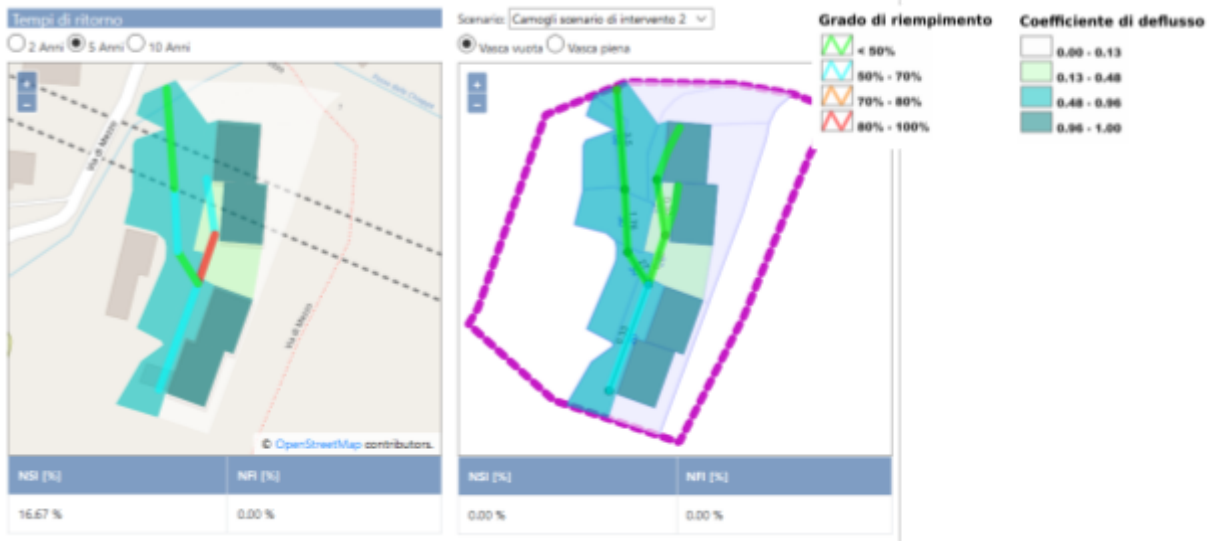


Figure 13: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "2 Cuves - vides" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

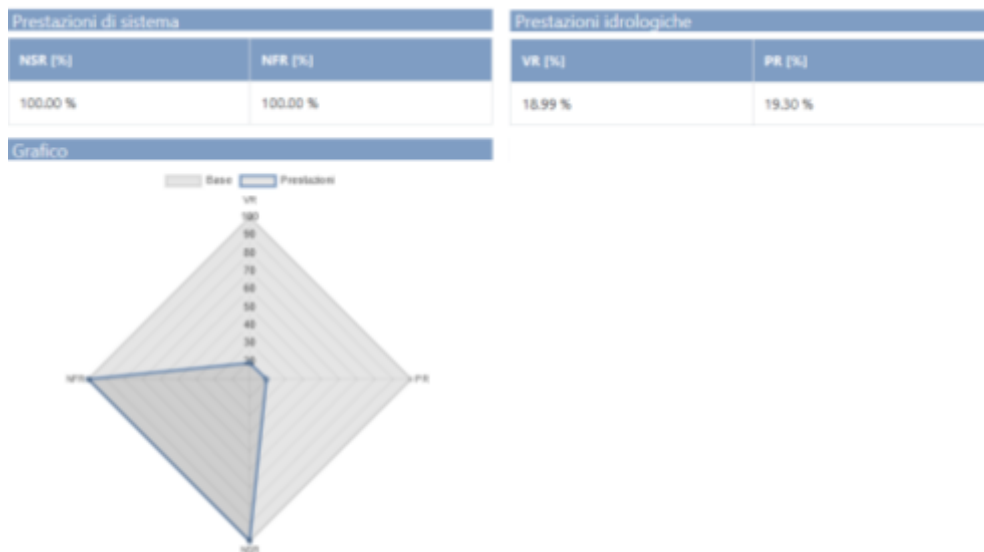


Figura 14: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "2 Cuves - vides" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans.

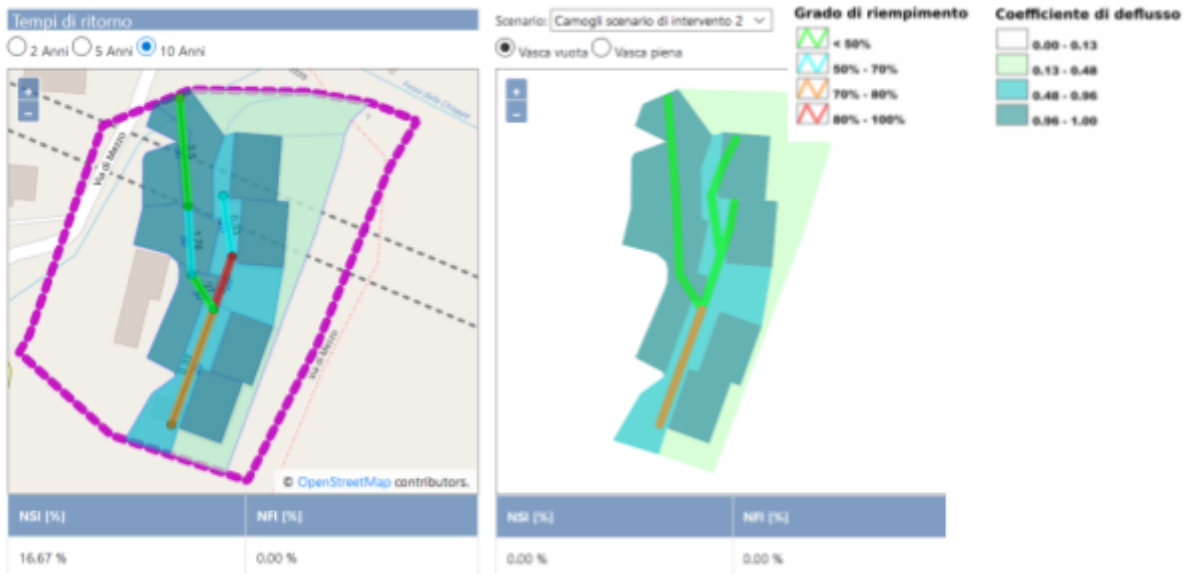


Figure 15: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "2 Cuves - vides" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

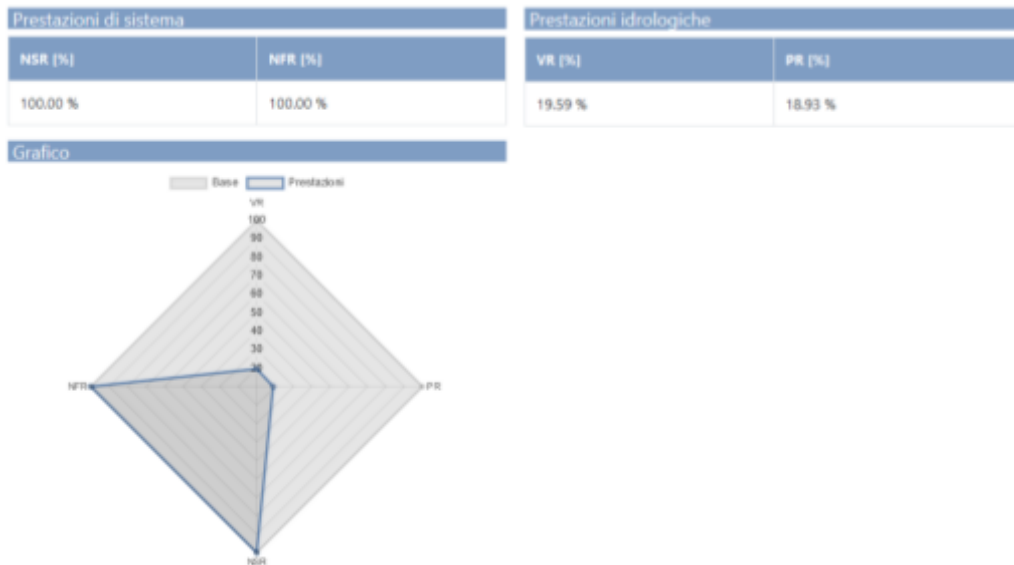


Figura 16: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "2 Cuves - vides" pour l'étude de cas de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans.

## 5.2 Scénario "2 Cuves" et état de fonctionnement "Cuves pleines"

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 "2 Cuves" dans la



condition de fonctionnement "Cuves pleines" ne s'est pas améliorée par rapport au cas actuel.

L'analyse de l'état actuel du risque ne révèle aucune criticité pour l'événement avec une période de retour de 2 ans donc les résultats sont présentés uniquement pour les événements avec des périodes de retour de 5 et 10 ans.

L'intervention proposée se révèle inefficace pour réduire l'état de stress des branches, en particulier, pour les événements de la période de retour de 5 et 10 ans, dans le scénario "2 Cuves - Pleines" la criticité n'est pas résolue comme le confirme la valeur inchangée de l'indicateur NSI égal à environ 17% (voir figure 17 et figure 19).

L'intervention proposée s'avère faiblement efficace même dans la restauration partielle du cycle hydrologique naturel, comme le confirme la modeste performance hydrologique pour laquelle on n'enregistre qu'une réduction de volume de 5 % et 4 % pour les événements de la période de retour de 5 et 10 ans respectivement (voir figure 18 et figure 20).

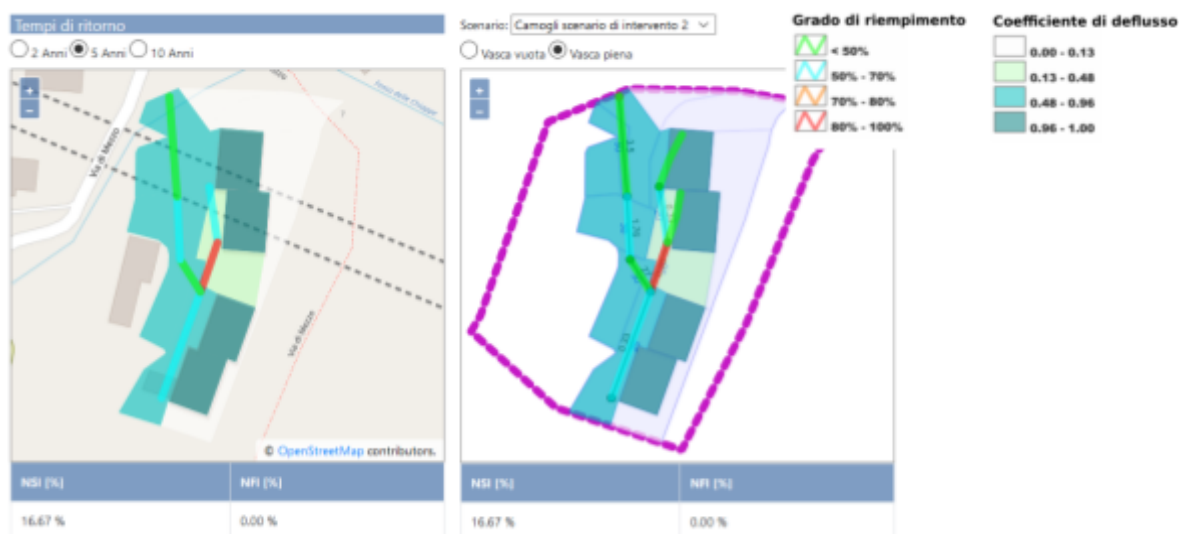


Figure 17: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "2 Cuves - pleines" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à 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 "2 Cuves - pleines" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans.



Figure 19: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "2 Cuves - pleines" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari 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 droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans 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 "2 Cuves - pleines" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans.

### 5.3 Scénario "4 Cuves" et état de fonctionnement "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 "4 Cuves" dans l'état de fonctionnement "Cuves vides" se révèle améliorée par rapport à la condition actuelle. L'intervention proposée se révèle efficace pour réduire complètement l'état de stress dans les branches comme le démontrent les valeurs de l'indicateur NSR égale à 100% pour les trois événements de projet avec des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans.

L'analyse de l'état actuel du risque ne révèle aucune criticité pour l'événement avec une période de retour de 2 ans donc les résultats sont présentés uniquement pour les événements avec des périodes de retour de 5 et 10 ans.

En particulier, pour la période de retour égale à 5 et 10 ans, dans le scénario "4 Cuves - Vides", la criticité est résolue, comme le confirme la valeur zéro de l'indicateur 0% de NSI (figure 21 et figure 23). L'intervention proposée est également efficace dans la restauration partielle du cycle hydrologique naturel, comme le confirme la remarquable performance hydrologique d'environ 37% tant pour le volume VR, que pour le débit de pointe, PR pour les deux événements du projet (voir figure 22 et figure 24).

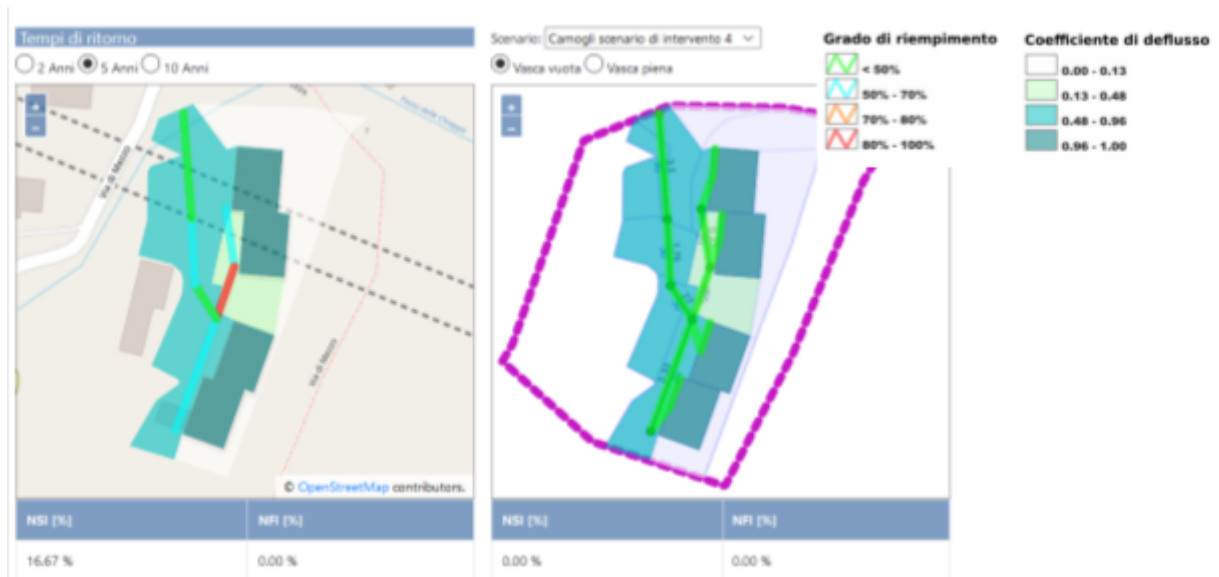


Figure 21: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "4 Cuves - vides" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari et indicateurs de la fonctionnalité du réseau de drainage (NSI - Network Stress Index ; NFI - Node Flooding Index) pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans. En haut à droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

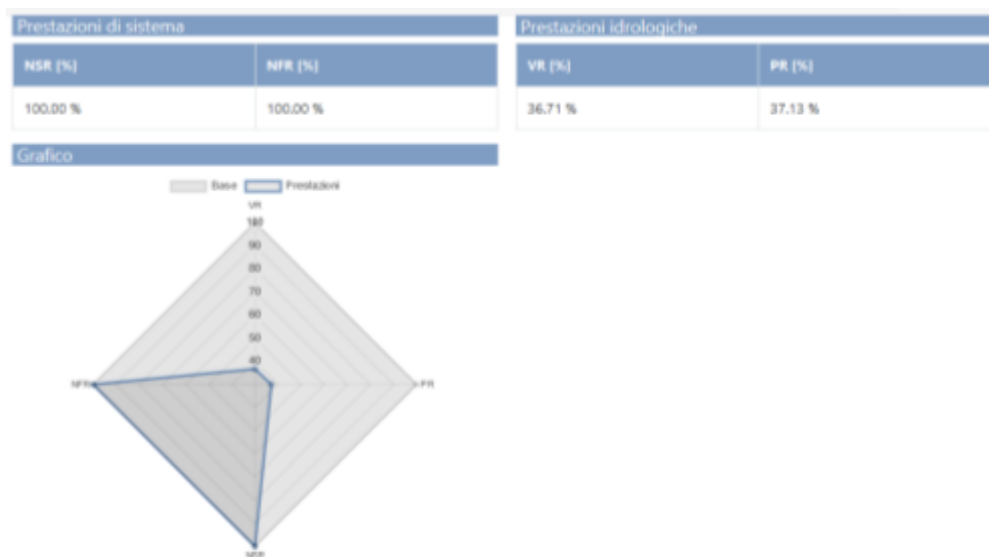


Figure 22: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "4 Cuves - vides" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 5 ans.



Figure 23: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "4 Cuves - vides" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari 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 droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

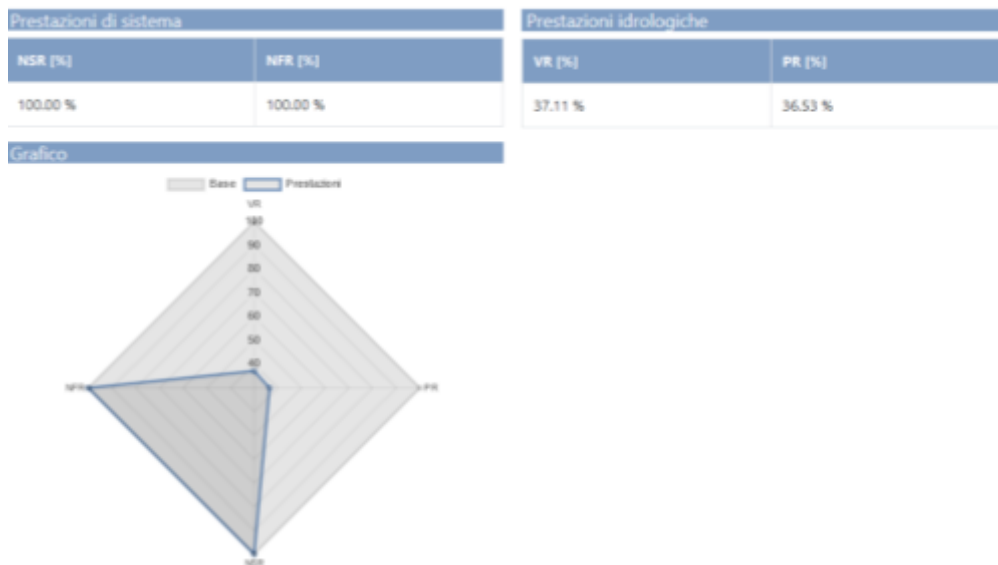


Figure 24: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "4 Cuves - vides" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans.

### 5.4 Scénario "4 Cuves" et état de fonctionnement "Cuves pleines"

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 "4 Cuves" dans la



condition de fonctionnement "Cuves pleines" ne s'est pas améliorée par rapport au cas actuel.

L'analyse de l'état actuel du risque ne révèle aucune criticité pour l'événement avec une période de retour de 2 ans donc les résultats sont présentés uniquement pour les événements avec des périodes de retour de 5 et 10 ans.

L'intervention proposée se révèle inefficace pour réduire l'état de stress des branches, en particulier, pour les événements de la période de retour de 5 et 10 ans, dans le scénario "4 Cuves - Pleines" la criticité n'est pas résolue comme le confirme la valeur inchangée de l'indicateur NSI égal à environ 17% (voir figure 25).

L'intervention proposée n'est donc pas efficace pour réduire le stress du réseau et est également peu efficace pour restaurer partiellement le cycle hydrologique naturel, comme le confirme la modeste performance hydrologique pour laquelle seule une réduction de volume de 8% est enregistrée pour l'événement le plus grave avec une période de retour de 10 ans (voir figure 26).



Figura 25: Carte de l'état actuel du risque hydraulique (à gauche) et du risque résiduel dans le scénario "4 Cuves - pleines" (à droite) pour le cas d'étude de Via Figari 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 droite se trouve la légende des éléments (niveau de remplissage des conduites et coefficient de ruissellement des sous-bassins) indiqués dans la carte.

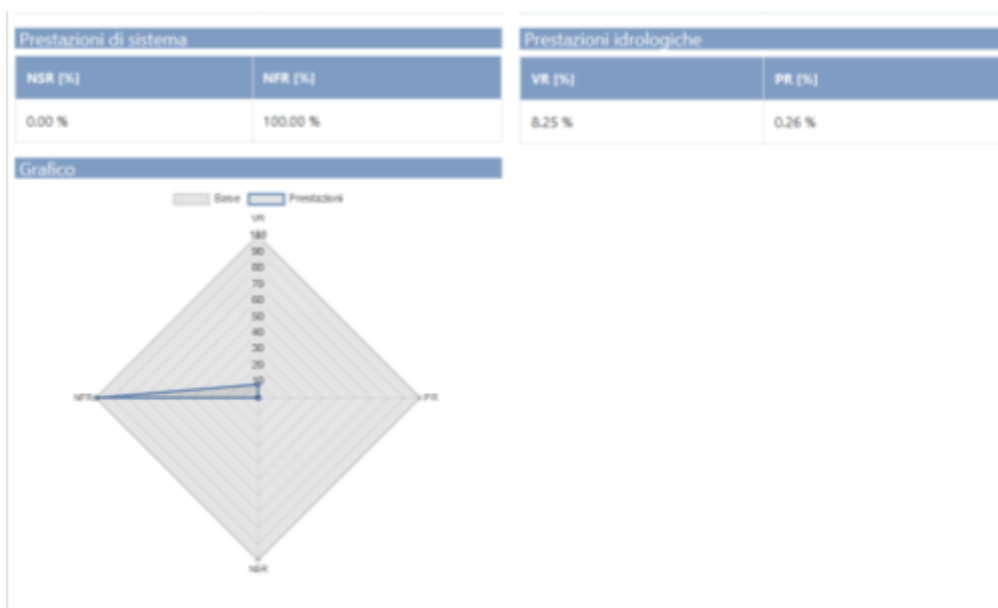


Figura 26: Performance du système (NSR - Network Stress Reduction et NFR - Node Flood Reduction), performance hydrologique (VR - Volume Reduction et PR - Peak Flow Reduction) et graphique radar correspondant dans le scénario "4 Cuves - pleines" pour le cas d'étude de Via Figari et pour l'événement affectant le projet avec une période de retour de 10 ans.

## 6 Conclusions

L'analyse des conditions de risque hydraulique résiduel de le cas d'étude de Via Figari a été réalisée à l'aide de la plateforme TRIG-Eau, développée dans le cadre du projet. Les résultats spécifiques liés à l'étude de cas pilote ont été validés par une discussion avec toutes les parties prenantes lors du séminaire multipartite qui s'est tenu à San Remo le 18 octobre 2019.

De l'analyse des résultats de la simulation pour l'état actuel, il montre une condition de risque hydraulique minimum; 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) pour laquelle il n'y a qu'une seule conduite surchargée sur les six en service dans la zone

Une fois vérifiée la bonne perméabilité du site avec une présence significative d'espaces verts, la mise en place de systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie est envisagée comme une solution applicable pour l'atténuation du risque hydraulique minimum actuel.

À la lumière de l'analyse des risques en cours, comme scénarios pour l'intervention, l'hypothèse d'équiper seulement deux bâtiments avec l'installation pour la réutilisation

des eaux de pluie a également été évaluée, en plus de l'évaluation de l'ensemble du complexe, y compris les quatre bâtiments.

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 nul également pour l'événement de précipitation caractérisé par la période de retour la plus élevée ( $T=10$  ans) dans les deux scénarios d'intervention supposés avec la condition de fonctionnement "Cuves vides" qui prévoit la disponibilité totale du volume des réservoirs de collecte à l'arrivée de l'événement du projet.

Au contraire, les scénarios d'intervention "Cuves pleines", c'est-à-dire si à l'arrivée de l'événement intense les réservoirs étaient partiellement remplis, ne sont pas efficaces, donc, afin de maximiser les effets de la solution proposée comme système d'atténuation du risque hydraulique, il est souligné la nécessité d'équiper les systèmes d'un système de contrôle à distance qui permet de vider le réservoir en cas d'alerte météorologique et prouve l'efficacité de l'intervention minimale qui prévoit l'installation de systèmes de collecte et de récupération des eaux de pluie sur seulement deux bâtiments sur quatre.

### 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.