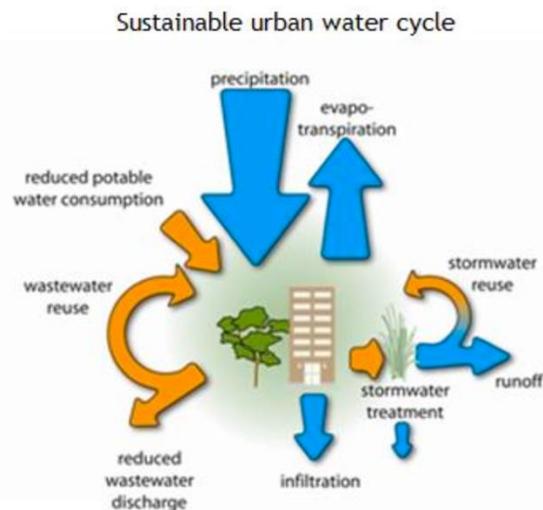


Ilaria Gnecco – University of Genoa | UNIGE - Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering (DICCA) ; Docteure en génie civil et environnemental

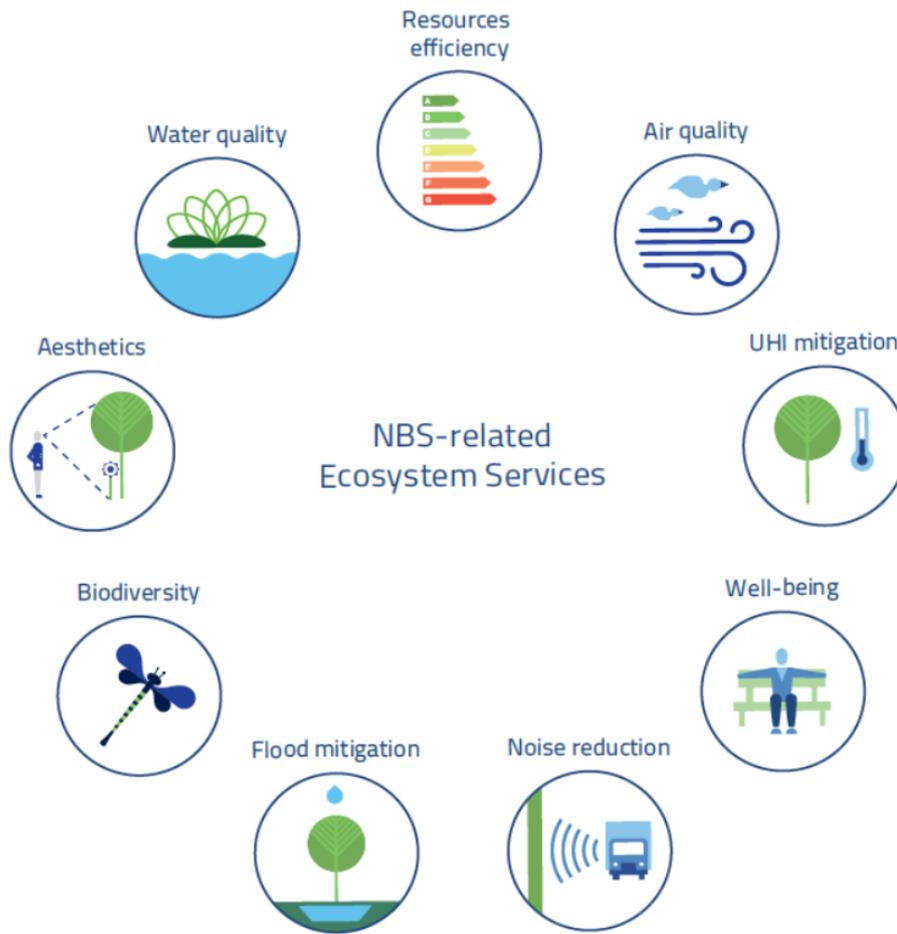
Merci de m'avoir invitée à ce webinaire, la promotion de l'échange d'idées entre chercheurs et autorités locales afin de travailler ensemble dans la recherche du même objectif est essentielle. Je suis professeure associée d'hydrologie et de structures hydrauliques. Je souhaiterais parler de l'expérience que nous avons organisé dans le cadre du projet TRIG-Eau qui a notamment impliqué les habitants de la région en tant que partenaires. Certaines questions font l'objet de débats entre chercheurs et partenaires comme le choix des solutions techniques à mettre en

œuvre pour améliorer le cycle hydrique à l'échelle urbaine résidentielle, les effets auxquels nous pouvons nous attendre suite à l'installation à large échelle de solutions fondées sur la nature, ou encore la sélection de combinaisons de différentes solutions durables pour atteindre un risque hydraulique acceptable. J'essaierai de répondre à ces questionnements par le biais de l'expérience de notre projet TRIG-Eau.



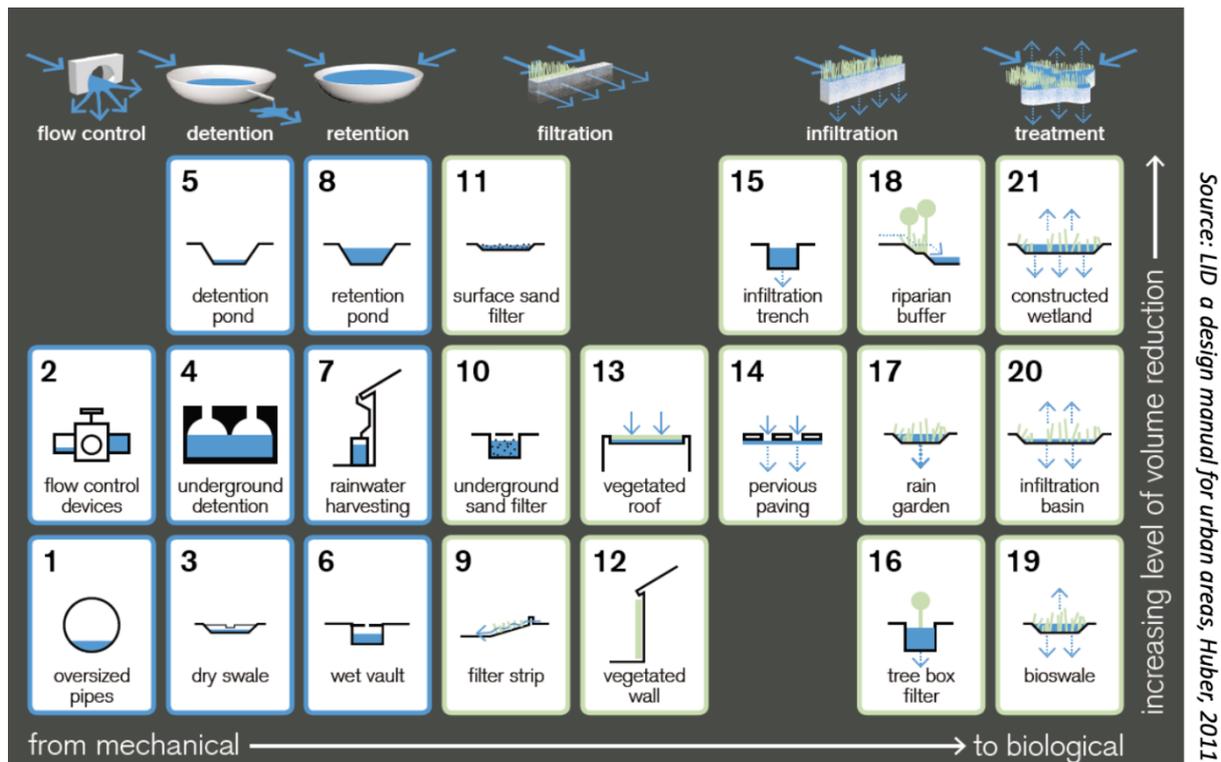
Qu'en est-il des solutions fondées sur la nature ?

Ce sont des solutions techniques inspirées et soutenues par la nature, rentables, qui offrent les services de l'écosystème et participent à renforcer la résilience. De telles solutions peuvent être introduites initialement comme solutions locales dans le cadre de solutions de drainage urbain. Ce type de solution a été mis en place afin de maximiser les bénéfices du contrôle de la gestion de eaux pluviales. Le concept de drainage urbain durable a été mis en œuvre en prenant en compte le rôle des solutions fondées sur la nature dans la gestion holistique des ressources eau urbaine. De fait, ces solutions ont étendu le concept de solution de drainage urbain pour produire un cadre quantitatif systématique pour l'utilisation de l'ensemble des services de l'écosystème.



Source: The BGDGuide, 2017

Dans le contexte urbain, les services de l'écosystème offrent une manière d'atténuer les risques non seulement liés à l'eau mais également la pression de l'urbanisation comme la pollution de l'air et la rareté des ressources.



Mechanical solutions

Nature based solutions

Le tableau ci-dessus représente l'ensemble des solutions de contrôle des eaux pluviales pouvant être mises en œuvre dans le contexte urbain, en allant des solutions les plus techniques promouvant le contrôle des inondations et des processus de rétention à des solutions fondées sur la nature qui se concentrent la filtration.

Comment réduire le risque hydraulique ?

Dans nos villes, nous faisons toujours face à deux défis : la probabilité de conséquences désastreuses ou de pertes résultant d'interactions entre les risques naturels et les conditions de vulnérabilité. En effet, les risques apparaissent en croisant trois éléments : les risques, la vulnérabilité et l'exposition. Le bassin urbain dispose d'une mesure directe du risque hydraulique en calculant la zone inondable ou la présence de zones inondables d'un point de vue historique. Il est important de définir deux autres niveaux de risques : le risque résiduel et acceptable. Le risque résiduel fait référence au risque hydraulique restant après la mise en place de mesures d'atténuation des risques, tandis que le concept de risque acceptable se fonde sur le principe de l'équilibre entre les risques et les avantages pour la solution, afin de voir dans quelle mesure le coût impliqué dans la réduction des risques serait disproportionné face aux bénéfices obtenus. Le risque zéro n'existe pas.



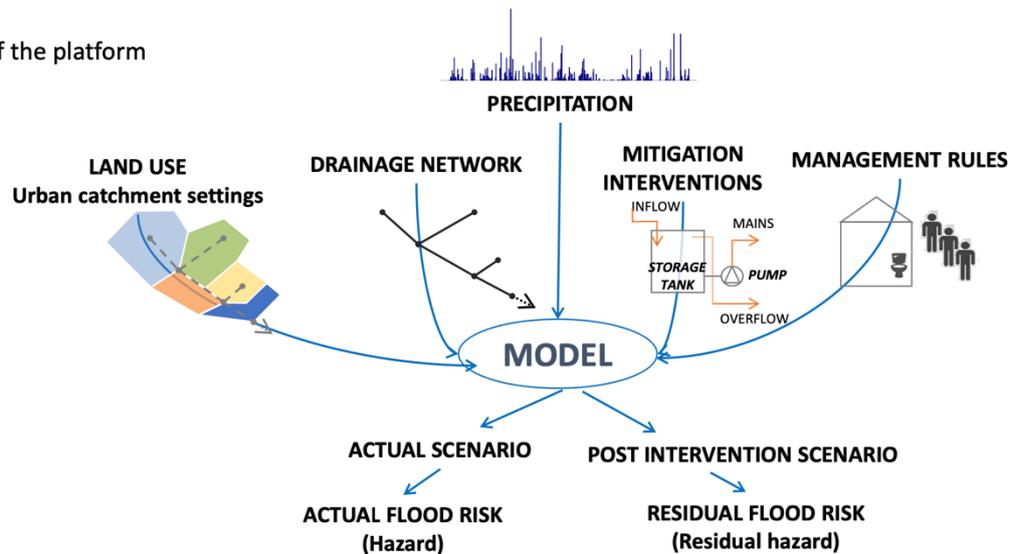
Le projet TRIG-Eau a contribué à la réponse aux questions posées. Développé de 2017 à 2020, l'objectif principal du projet consistait à renforcer la résilience des territoires français et italiens exposés aux risques hydrogéologiques et hydrauliques en faisant la promotion de mise en œuvre de stratégies de gestion de l'eau au niveau régional et local. L'une des composantes du projet visait à évaluer l'impact des solutions fondées sur la nature à l'échelle du bassin versant pour atténuer les risques dans les territoires concernés.

En tenant compte de ces différentes difficultés, un système destiné à évaluer l'impact potentiel de solutions fondées sur la nature sur le paysage urbain a été mis en place. Cela a été fait par le biais de la plateforme web-GIS (<http://www.trigeau.servergis.it/>) qui a pour objectif de sensibiliser à la question de la gestion des eaux pluviales, promouvoir les solutions fondées sur la nature, évaluer les conditions actuelles de risque d'inondation, définir et sélectionner les scénarios d'intervention et évaluer les conditions de risques résiduels.

LA plateforme web-GIS a été configurée comme une application web-GIS incluant le modèle de gestion des eaux fluviales de l'EPA.

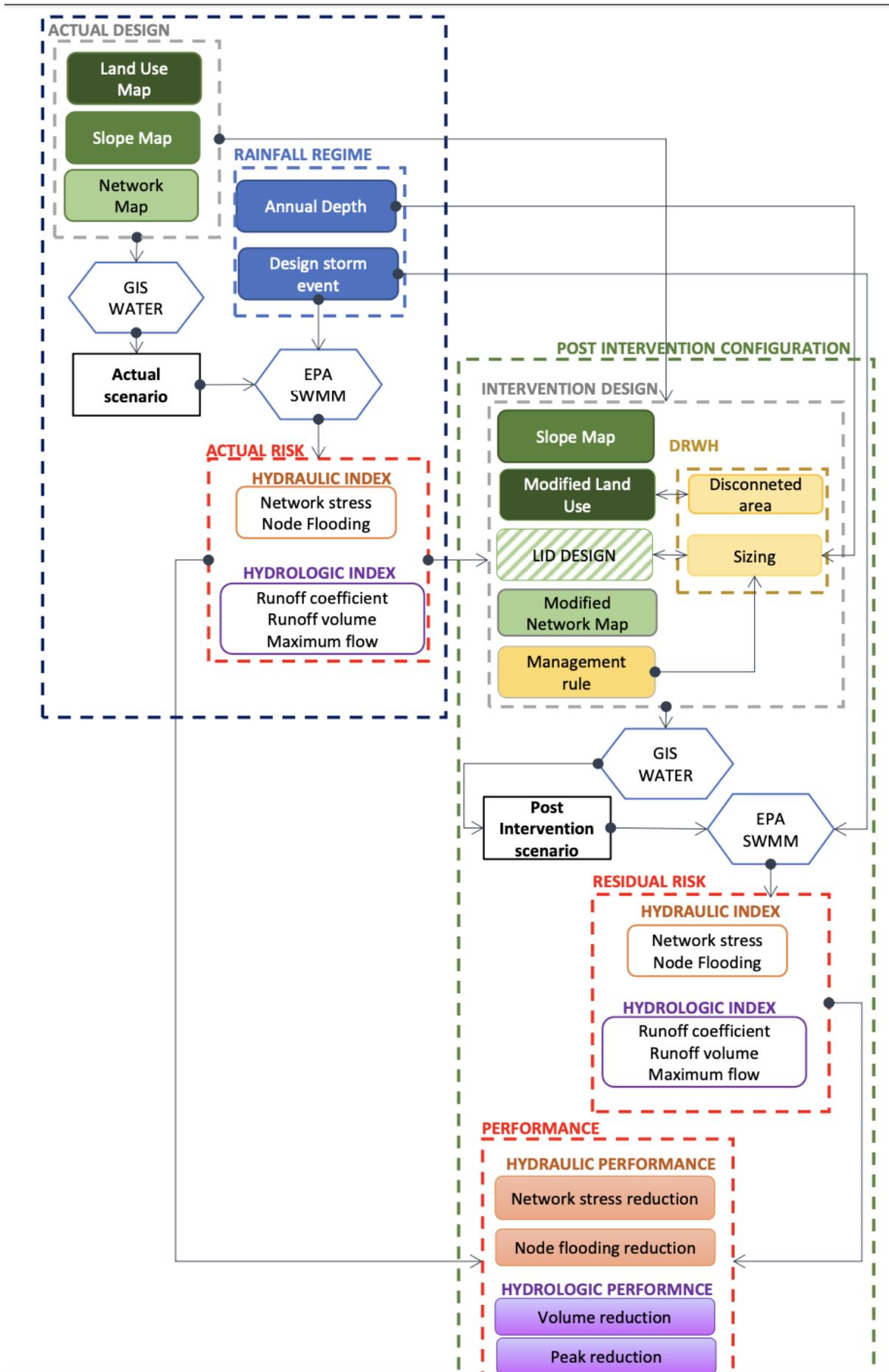
L'architecture globale de la plateforme consiste en cinq niveaux :

The architecture of the platform



Les caractéristiques principales du réseau de drainage sont les précipitations qui représentent le facteur principal du système. Y sont également associées les interventions de réduction des risques, les solutions existantes, ainsi que la création de règles de gestion spécifiques pour la

gestion du système de drainage ou pour les interventions en elles-mêmes. Ces piliers soutiennent le cœur du système fondé sur le modèle hydrologique-hydraulique de l'EPA. Par le biais de ce modèle, il est possible de performer des simulations pour les scénarios actuels, d'évaluer de risque d'inondation réel et simuler les scénarios post-intervention et donc du risque résiduel.

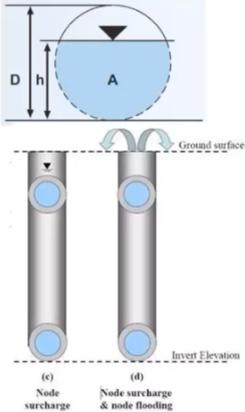


La méthodologie adoptée est brièvement décrite dans le schéma ci-dessus. Il est résumable en six étapes principales :

1. Analyse des zones urbaines et urbanisation croissante
2. Modélisation hydrologique-hydraulique
3. Analyse du risque hydraulique réel
4. Conception de l'intervention LID et modification de la zone urbaine
5. Modélisation hydrologique-hydraulique
6. Analyse des performances.

L'analyse de la zone urbaine et l'évaluation de l'urbanisation affectant le régime de précipitations sont les facteurs de contribution principaux à la modélisation hydrologique et hydraulique. Sur cette base, il est possible d'évaluer et de performer une véritable analyse de risque hydraulique. La deuxième phase intègre la conception des interventions de solutions fondées la nature qui doit inclure les mêmes informations en termes d'utilisation territoriale et de régimes de précipitation. Nous pouvons à nouveau avoir une modélisation hydrologique et hydraulique des résultats finaux. Puis viennent l'analyse des performances ou résultats. Cette analyse de risques en particulier est réalisée par le biais de deux indices qui peuvent décrire les conditions de fonctionnement hydraulique naturel.

→ The risk is analysed by two indexes describing [the network hydraulic functioning conditions](#):



THE NETWORK STRESS INDEX

$$NSI = \frac{N_{cond|0.8}}{N_{cond}}$$

where :

- ✓ $N_{cond|0.8}$ is the number of conduits that show maximum fulfilment greater than 0.8;
- ✓ N_{cond} is the total number of conduits.

THE NODE FLOOD INDEX

$$NFI = \frac{N_{nodes|flooded}}{N_{nodes}}$$

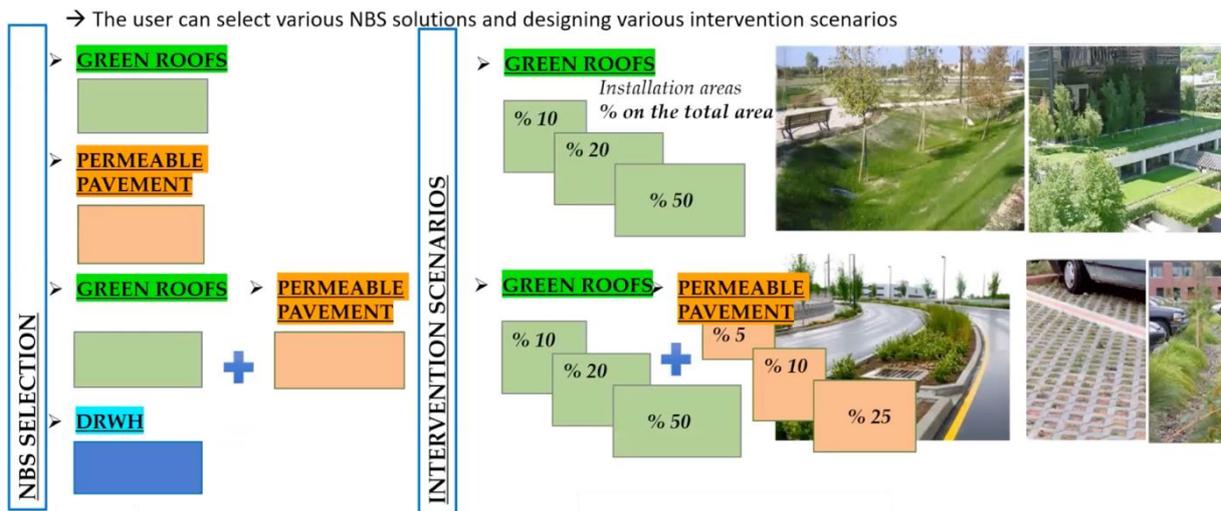
where :

- ✓ $N_{nodes|flooded}$ is the number of junctions that are flooded;
- ✓ N_{nodes} is the total number of junctions.

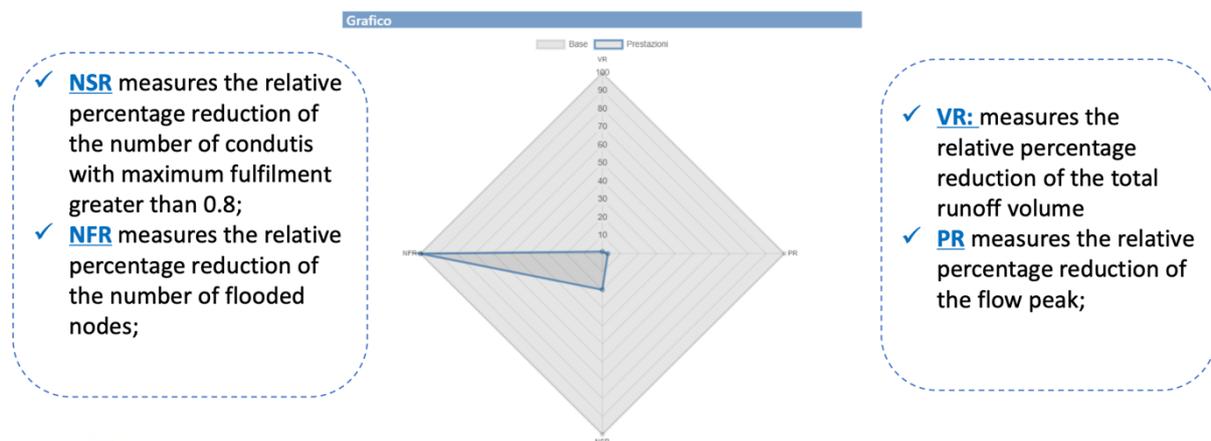
→ The analysis involves also the [hydrologic response at the catchment scale](#):

- ✓ Spatial analysis of runoff coefficient;
- ✓ Maximum flow peak and total runoff volume at the outlet section;

A gauche du schéma, une section hydraulique d'un pipeline dans des conditions optimales de surface libre et puis une représentation graphique du nœud qui est la jonction entre la surface où les inondations ont lieu et ce que l'on trouve en dessous de la surface avec le réseau de drainage. L'indice de pression sur le réseau est évalué comme le ratio entre le nombre de conduites dont le remplissage maximal est supérieur à 0,8 par rapport au nombre de conduites max total. L'indice de nœud d'inondation est évalué comme le ratio entre le nombre de jonctions qui sont inondées par rapport au nombre total de jonctions. En outre, la réaction hydrologique au niveau du bassin versant est analysée par le biais d'une analyse spatiale du coefficient de ruissellement et par le biais de l'évaluation du pic du débit maximum et du volume de ruissellement total au niveau du point de sortie.



L'utilisateur peut sélectionner plusieurs solutions (limitées car sur une plateforme) basées sur la nature. Le potentiel de ces plateformes s'élargit par une mise en œuvre actuelle qui représente un projet pouvant être capitalisé sur le projet précédent. Au sein de la version d'origine, il a été possible de mettre en œuvre des solutions de voitures vertes ainsi que de pavages perméables. Enfin, nous avons également des systèmes de recyclage de l'eau. Il est possible de définir le pourcentage d'installation par rapport à la zone totale. Les nombres d'options sont limités et dépendent de l'utilisation de ces caractéristiques et notamment du pourcentage de la phase initiale d'intervention mais dépendent aussi de la chronologie et des types de solutions d'atténuation.



En ce qui concerne l'analyse des risques résiduels, deux indices de performances peuvent être évalués et comparés les conditions du réseau en utilisant les index précédents et les réponses hydrologiques des bassins versants. Ont été mesurés les coefficients de réduction du pourcentage relatif du nombre de conduites avec un remplissage maximum. Ces représentations graphiques vous permettent d'avoir une visualisation rapide des bénéfices et des solutions sélectionnées.

✓ Analysis of specific and site-oriented design of NBS solutions

1 Camogli
Via Figari

3 Solarussa
Pilote project coLANDer



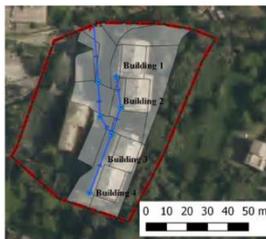
2 Campo dell'Elba
PEEP Bovalico

4 Tolone
Hyères



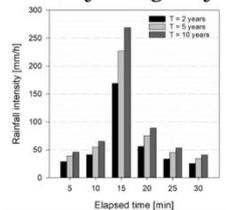
Les études de cas sont mises en œuvre au sein de cette plateforme où sont répertoriées des analyses faites sur des solutions spécifiques basées sur la nature et orientées par site. Ont été fournis des exemples pour chacun des territoires de nos partenaires qui se sont engagés dans ce projet. En voici quatre exemples ci-dessus.

1. Urban area analysis

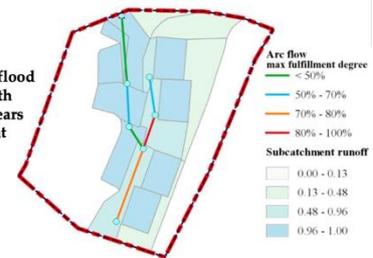


Land use	Camogli	
	Area [ha]	Area [%]
Roof	0.0745	23%
Road and parking	0.0909	27%
Tot Impervious area	0.1655	50%
Private garden	0.0701	21%
Green areas	0.0965	29%
Permeable parking	n.a. ¹	n.a. ¹
Permeable sidewalk	n.a. ¹	n.a. ¹
Tot Pervious area	0.1665	50%
Tot area	0.3320	100%

2. Hydrologic-hydraulic modelling



Map of the urban flood risk conditions with respect to the 10 years return period event



3. Actual hydraulic risk analysis

NSI (%)	NPI (%)
16.67 %	0.00 %

Table of actual risk indexes with respect to the 10 years return period event

Voici un exemple lié à ce qui est réalisé actuellement en Ligurie ainsi que les différentes étapes mises en œuvre pour cette étude de cas, en commençant par l'analyse des zones urbaines pour laquelle nous avons défini l'utilisation des sols et toutes les caractéristiques du système de drainage et d'évacuation des eaux. Dans une deuxième étape, les précipitations ont été modélisées grâce à des graphiques concentrés sur les périodicités pendant lesquelles nous avons élaboré un réseau d'évacuation des eaux. Le document 2 représente la carte des conditions de risque d'inondations basées sur une périodicité de dix ans, en dessous duquel sont établies les valeurs de stress hydraulique. Ce risque hydraulique est évalué de manière quantitative en utilisant le stress du réseau d'index par rapport à celui d'inondation.

4. LID intervention design

Results of the survey* run by means of relevant stakeholder evidence that the types of LID considered as the most interesting for system updates are **DRWH**

✓ **DRWHs** are designed for each building

Building – Case study	Q [m³]	D [m³]	S [m³]	S/Q [-]
Building 1 – Camogli	177.1	175.2	10	0.06
Building 2 – Camogli	176.2	175.2	10	0.06
Building 3 – Camogli	163.0	175.2	10	0.06
Building 4 – Camogli	166.6	175.2	10	0.06

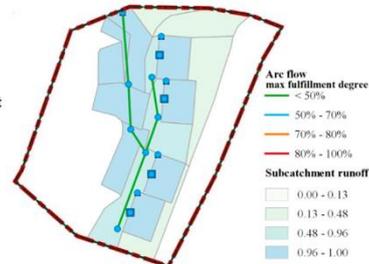
*Source: Piacentini, S.M.; Rossetto, R. Attitude and Actual Behaviour towards Water-Related Green Infrastructures and Sustainable Drainage Systems in Four North-Western Mediterranean Regions of Italy and France. *Water* 2020, 12, 1474.

5. Hydrologic-hydraulic modelling

Simulation are performed for two initial conditions of the DRWH systems corresponding to the **empty^a** or full tank hydraulic condition

^a**empty** the tanks have to be equipped with **RTC technology** that allows to pre-empty the tanks in case of a weather alert

Map of the residual urban flood risk conditions with respect to the 10 years return period event for empty tanks



Nous considérons le potentiel de l'élaboration d'intervention dans les zones concernées en prenant en compte la procédure qui part du bas vers le haut avec l'implication des citoyens dans cette approche, car elle est cruciale. La typologie imaginée la plus intéressante de l'intervention est représentée par le système d'évacuation des eaux domestiques grâce à des enquêtes auprès de toutes les parties prenantes de la zone. Les systèmes de création des eaux de pluie ont été spécifiquement élaborés pour chacun des ouvrages et des modélisations seront mises en œuvre après que ces solutions auront été mises en œuvre. Les conditions initiales, les conditions complètes et hydrauliques de la ville sont également prises en compte puisque l'objectif est d'être préparé aux événements de pluies conséquentes et intenses. Il faut pouvoir contrôler ces réservoirs, les ouvrages hydrauliques, avec une technologie en temps réel afin d'avoir un système préparé. Les réservoirs sont vidés en cas de ce type d'événement soudain. Cela donne un exemple clair de solutions à multiservice.

Les résultats

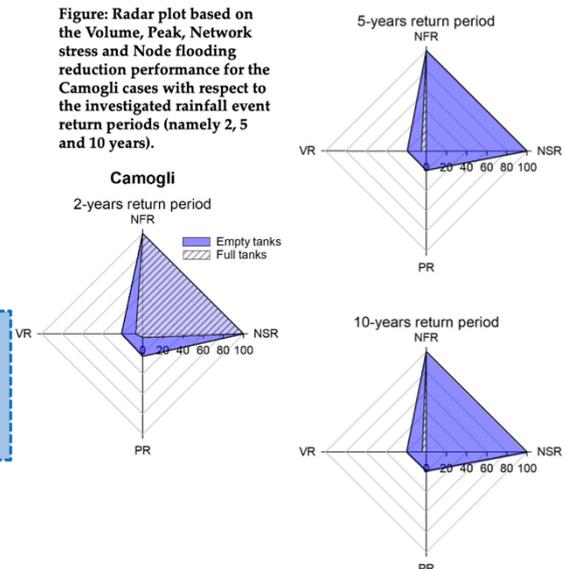
6. Performance analysis

✓ The performance analysis confirm that the DRWH systems are **able to significantly reduce the urban flooding risk** in case of **empty tank**;

✓ Similar behaviour is observed for the hydrologic performance: indeed, when **full tanks** is assumed as initial condition, the indexes concerning the hydrologic restoration are noticeable only for the 2-years return period event.

*These results can be very useful to promote **DRWH systems between decision makers**, since it introduces the **quantitative assessment of their hydraulic performance** by providing simple results which are necessary to fill the existing "gap" between **technical manuals and guidelines***

Figure: Radar plot based on the Volume, Peak, Network stress and Node flooding reduction performance for the Camogli cases with respect to the investigated rainfall event return periods (namely 2, 5 and 10 years).



L'analyse des performances est représentée par des tracés radars dont l'exemple ci-dessus confirme que les systèmes de capture des eaux domestiques ont permis de réduire de manière significative les risques d'inondations. Cela est maximisé si les réservoirs sont vides, sinon les performances sont observées sur des comportements similaires. Lorsque les réservoirs sont

pleins dans leur condition initiale, les index sur les conditions hydrologiques sont notables pour seulement une périodicité de deux années.

L'analyse des performances révèle que les systèmes de DRWH, soit le système de récupération de l'eau domestique, sont très utiles et devraient être promus au sein des décideurs afin de pouvoir introduire une évolution quantitative de la performance hydraulique de ces systèmes en fournissant des résultats simples. Ils sont nécessaires pour combler les lacunes existantes entre les manuels techniques et les orientations.

Pour conclure, les objectifs réalisés à travers le projet TRIG-Eau représentent le point de départ pour promouvoir la mise en œuvre de solutions basées sur la nature à l'échelle des bassins versants. Ces solutions ont de nombreux bénéfices pour les communautés qui doivent être prises en compte comme élément central afin de renforcer la résilience face aux inondations urbaines et d'avoir des services écosystémiques. Les effets du changement climatique ainsi que la croissance urbaine doivent être pris en compte dans l'élaboration de nos outils d'aide à la décision enfin d'aider de manière efficace la conception d'une vie plus résiliente.

Pierre Massis : Le programme TRIG-Eau est développé depuis plusieurs années en collaboration avec les pays frontaliers et les deux territoires insulaires précités. Les images de Sardaigne sont révélatrices de la vulnérabilité de tous les territoires de Méditerranée, touchés par ces inondations catastrophiques. Aujourd'hui, ce programme TRIG-Eau trouve-t-il une application de terrain sur une localité, rurale ou urbaine ? Avons-nous pu percevoir les premiers résultats du programme ?

Illaria Gnecco : Nous n'en sommes qu'à la première étape, mais cela permet d'avoir des exemples sur ces mesures directes de mise en œuvre de solutions basées sur la nature. Le programme dispose d'un réel soutien de la part des autorités locales dans la phase de planification, car nous avons non seulement besoin d'espace pour mettre en œuvre ces solutions mais aussi d'un soutien financier. Ces solutions sont efficaces uniquement si elles sont disséminées partout dans le bassin versant. Il n'est pas réaliste d'imaginer changer tous nos territoires en quelques années. L'objectif est de se concentrer sur les zones où il y a des problèmes de drainage, d'évacuation des eaux qui sont plus fréquents, et donc d'essayer d'imaginer à quel goulot d'étranglement et à quel premier niveau d'intervention nous devons agir pour réduire petit à petit la pression sur ces réseaux d'évacuation des eaux. L'idée finale est d'essayer d'être résilient, notamment parce que les scénarios de précipitations sont de plus en plus importants, amenés par les changements.

Pierre Massis : Vous introduisez donc une nouvelle donnée dans l'équation : le temps et l'espace sont nécessaires, autant que les financements. Les investissements ne doivent pas être neutres. Il est nécessaire de constamment bien recalibrer les infrastructures et l'écosystème pour faire en sorte d'abord d'être plus proche des solutions fondées sur la nature et d'avoir une réduction du risque, puisque le risque zéro n'existe pas. Souligner ce différentiel entre le risque acceptable et le risque résiduel est effectivement important. Aujourd'hui, le problème demeure que même dans le cadre du risque acceptable, l'inondation a lieu.

Illaria Gnecco : Malheureusement, oui. La population doit être consciente de ces réalités. Ce n'est qu'en informant la population sur ce qu'impliquent les risques acceptables qu'elle saura comment y faire face. Ce type d'interventions non structurelles est très important pour réduire les risques généraux.

Pierre Massis : Finalement, les présentations des différents orateurs ont toutes cette capacité à rendre compte que la rivière restera gagnante, malgré la construction de murs qui ne sont pas une solution pour les crues centennales. Quelle que soit l'échelle du territoire, les solutions sont posées mais il faut savoir rester humble et préparer les choses. Le programme TRIG-Eau est fondamental : il est situé dans une zone qui est dans une zone menacée par ces problèmes de pollution, de sécheresse et d'inondations.

Question de Amar Amir pour Marc-Manzana Garcia :

Vous avez présenté des solutions pour se protéger des inondations mais y a-t-il des solutions autres que le sacrifice d'une partie de la ville et notamment des terrains agricoles dans le deuxième projet ?

Pierre Massis : Le bon sens m'autoriserait à dire que s'il y avait d'autres solutions, elles auraient été mises en œuvre avant d'aller saisir des terrains publics. D'une certaine manière, la chance que rencontre la Confédération du Jucar est qu'il s'agit de terrains publics qui ne nécessitent qu'un accord avec la mairie. Cela est beaucoup plus difficile avec des terrains privés.

Illaria Gnecco : Réduire les risques a un coût. Il faut se souvenir qu'au départ, la zone qui était une zone naturellement inondable a été utilisée pour le développement urbain, pour l'urbanisation. A été utilisée une zone naturelle dont le fleuve ou la rivière a besoin pour sa fonction hydrologique naturelle. Bien sûr, on ne peut pas détruire nos constructions urbaines. En Ligurie, il y a de nombreux exemples où le fleuve a été complètement recouvert et aujourd'hui cela fait malheureusement partie du système du village en termes d'eau. Parfois, il n'y a pas de bonne façon pour créer des infrastructures comme des canaux de récupération des eaux pour diminuer le risque d'inondation. L'aménagement urbain doit être repensé tout en considérant des zones multiservices qui peuvent être inondées sous certaines conditions contrôlées. Notre approche doit être changée, on doit vivre avec les inondations de manière contrôlée pour pouvoir limiter les conséquences sur les êtres humains et sur l'économie de la zone urbaine.

Marc-Garcia Manzana : En Espagne, le régime d'autorisation est strict : quand on veut construire près de la rivière, il faut avoir une autorisation du Commissariat de l'eau. Le problème est que la loi date de 1985. Il n'y avait pas cette prévision auparavant. Entre temps, l'urbanisation a pris progressivement la place des rivières. Lorsque la rivière revient avec ses grandes crues, elle ne fait qu'essayer de récupérer cet espace perdu. En dehors de l'espace urbain, on essaie de récupérer ou de créer artificiellement des zones d'inondation. Il est vrai que cela semble être des solutions sur le court terme. Sur le long terme, c'est difficile. Il faut faire le bilan entre l'urbanisme existant et les inondations. Le plus difficile est de gérer les gens qui vivent près de la rivière. On pourrait gagner beaucoup de place pour la rivière mais le problème reste la disponibilité des terrains. Sans disponibilité terrain, c'est impossible. La grande expérience à Cuenca était sur une place publique, l'hôpital précité était public, le parc

inondable appartenait également à la mairie... Il est plus aisé d'opérer sur les espaces publics. Dans le deuxième exemple, les usines sont situées dans des zones municipales très dégradées. Bien sûr, certaines zones ne sont pas dégradées mais c'est la mairie qui doit les exproprier.

Pierre Massis : Il faut effectivement pour cela une puissance régaliennne.

Question d'Amina Jegham à Illaria Gnecco et Najet Aroua :

Outre les solutions techniques, il y a également le volet gestion de risques. Avec les changements climatiques, il est très difficile de quantifier les averses et par conséquent les ouvrages à projeter. Pour la gestion des fleuves transfrontaliers qui traversent des villes dans des pays différents, une action de protection du tissu urbain pourrait-elle causer la sécheresse dans un autre ?

Illaria Gnecco :

Non, puisque nous travaillons à différentes échelles, principalement sur les échecs hydrauliques du système de drainage et sur les inondations pluviales. Mais nous avons aussi des expériences dans un autre projet Interreg Concepto qui se concentrait sur le fleuve de la Roya, un grand fleuve développé principalement sur le territoire français et dont la dernière intersection est en Italie. Le fleuve est également une source importante en termes de ressource en eau pour les deux régions, c'est aussi une réserve intéressante pour l'électricité hydraulique notamment. La gestion de ces fleuves, de ces bassins transnationaux est vraiment essentielle puisque nous devons bien sûr réfléchir à la réaction du système dans son ensemble. La mise en place de solutions en amont nécessite de réfléchir aux effets en aval. Il est primordial d'avoir des autorités nationales souveraines qui ont un contrôle sur la gestion de ces différentes régions puisque le problème potentiel consisterait à déplacer les risques d'inondation en amont ou en aval en fonction de la solution choisie dans les différentes zones. C'est une grande problématique à laquelle nous devons encore répondre.

Pierre Massis : Le programme TRIG-Eau priorise la coopération interprovinciale frontalière avant même justement de favoriser les échanges de savoir-faire entre les régions.